



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΒΟΡΕΙΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ

Κάζα Τριάδα

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΒΟΡΕΙΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ

Κάζα Τριάδα

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Σταματάκης Μ., Καθηγητής

Καραγεώργης Α., Δ/ντής Ερευνών Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας

Πούλος Σ., Καθηγητής

Αθήνα, 2019

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΒΟΡΕΙΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Σταματάκης, Μ., Καραγεώργης, Α., Πούλος, Σ.

Σταματάκης, Μ.: Καθηγητής στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.

Καραγεώργης, Α.: Διευθυντής στο Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών,
Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας, Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας.

Πούλος, Σ.: Καθηγητής στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.

Κάζα Τριάδα

Αθήνα, 2019

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος που φέρει τον ίδιο τίτλο και συγκεκριμένα την ειδίκευση της ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ – ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ.

Ο τίτλος της εργασίας είναι: Γεω-περιβαλλοντική μελέτη υποθαλάσσιων ιζημάτων Βορείων Κυκλάδων

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη σύσταση και την προέλευση των ιζημάτων του πυθμένα των Βορείων Κυκλάδων. Η υπό εξέταση θαλάσσια περιοχή οριοθετείται από τα νησιά Τήνος, Μύκονος, Πάρος, Νάξος και Σύρος, ενώ η μελέτη στηρίζεται σε κοκκομετρικές, ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις. Τα αποτελέσματα εμπλουτίζονται με κοκκομετρικούς και γεωχημικούς χάρτες, δημιουργώντας έναν πλήρη γεω-περιβαλλοντικό οδηγό για την περιοχή των Βορείων Κυκλάδων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί απόρροια της συμβολής ενός μεγαλύτερου συνόλου ανθρώπων, των οποίων ο ρόλος ήταν καθοριστικός τόσο στην εξέλιξη όσο και στην πραγματοποίηση της.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον άνθρωπο που με καθοδηγούσε και με συμβούλευε συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας και συνεργασίας, τον καθηγητή κύριο Σταματάκη Μιχαήλ.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τον κύριο Καραγεώργη Άρη, διευθυντή στο Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, κυρίως για το ενδιαφέρον και την προθυμία που έδειξε, όπως επίσης και για την ουσιαστική συμβολή του σε ότι αφορά το πρακτικό μέρος της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, πρέπει να επισημάνω την καίρια βοήθεια του καθηγητή κύριου Πούλου Σεραφείμ και των Αναγνώστου Χρήστου και Σταυρακάκη Ιωάννας, προσωπικού του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου Κωνσταντίνο και Ορσαλία, καθώς και τους πιο στενούς μου φίλους, για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη που έλαβα, κατά τη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχο της συγκεκριμένης εργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός της προέλευσης του υλικού των ιζημάτων και η συσχέτιση τους με τη δυναμική του περιβάλλοντος και το γεωλογικό υπόβαθρο των νησιών που οριοθετούν την περιοχή μελέτης. Το πρακτικό μέρος της δεδομένης διπλωματικής εργασίας έλαβε χώρα στα εργαστηριακά τμήματα του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε), στα εργαστήρια του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και στα εργαστήρια του τμήματος Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η δειγματοληψία των ιζημάτων πραγματοποιήθηκε από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε) την περίοδο 1986 – 1987. Στην παρούσα μελέτη διεξήχθησαν ιζηματολογικές, ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις σε 75 δείγματα ιζημάτων, προερχόμενα από το θαλάσσιο χώρο των Βορείων Κυκλάδων. Πραγματοποιήθηκαν ιζηματολογικές αναλύσεις, για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής κατανομής των δειγμάτων, ορυκτολογικές αναλύσεις μέσω των μεθόδων XRD - SEM και της χρήσης στερεοσκοπίου, για τον προσδιορισμό των ορυκτών και των απολιθωμάτων, και χημικές αναλύσεις XRF για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων. Επίσης, προσδιορίστηκε το ποσοστό του ανθρακικού τμήματος των υπό εξέταση ιζημάτων. Από την αποτίμηση των παραπάνω αποτελεσμάτων οδηγούμαστε στη δημιουργία ενός πλήρους οδηγού, ο οποίος περιλαμβάνει ορυκτολογικούς πίνακες, γεωχημικούς χάρτες και χάρτες που προβάλλουν την κοκκομετρική κατανομή των ιζημάτων στη θαλάσσια περιοχή των Κυκλάδων, η οποία οριοθετείται από τα νησιά Τήνος, Μύκονος, Πάρος, Νάξος και Σύρος. Τέλος, επισημαίνεται η άμεση σύνδεση του υλικού με τη γεωλογία της περιοχής και του αυξημένου ανθρακικού ποσοστού στα δείγματα με την ύπαρξη ανθρακικών βιο-κοινοτήτων που ευνοούνται από το μικρό βάθος και την καλή οξυγόνωση της περιοχής.

Λέξεις κλειδιά: Κυκλάδες, Υποθαλάσσια Ιζήματα, XRD, XRF, SEM, Κοκκομετρία

ABSTRACT

The aim of the present study is to determine the origin of the sediment samples and to relate it with the environment dynamics and the geological background of the islands that define the study area. The practical part of this thesis took place in the laboratorial sections of the Hellenic Centre for Marine Research (H.C.M.R), at the laboratories of the Department of Geology and Geoenvironment of the National and Kapodistrian University of Athens and the laboratories of the Department of Chemical Engineering of the National Technical University of Athens. The sampling of the sediments was carried out by Hellenic Center for Marine Research (H.C.M.R.) from 1986 to 1987. In the present study were conducted sedimentological, mineralogical and chemical analyzes in 75 samples of sediments, derived from the marine area of North Cyclades. Sample analyzes were carried out to determine the particle size distribution of the samples, mineralogical analyzes using XRD-SEM methods and the use of stereoscopy, for the determination of minerals and fossils, and XRF analyzes to determine the main and trace elements. Furthermore, the percentage of the carbonate portion of the sediments, under examination, was determined. The evaluation of these results led to the creation of a comprehensive guide, which includes mineralogical tables, geochemists maps and maps highlighting the particle size distribution of sediments in the sea area of the Cyclades, which is bordered by the islands of Tinos, Mykonos, Paros, Naxos and Syros. Finally, the direct connection of the material with the geology of the area and the increased carbon content in the samples with the existence of carbonate bio-communities, which are favored by the low depth and good oxygenation of the area, should be noted.

Keywords: Cyclades, Marine sediments, XRD, XRF, SEM, Grain-size

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1	ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	11
1.1.1	ΚΛΑΣΤΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	14
1.1.2	ΑΥΘΙΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	16
1.1.3	ΒΙΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	17
1.2	ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ	19
1.3	ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ	21
1.3.1	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	22
1.3.2.	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	26
2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	31
2.1	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	31
2.1.1	ΤΗΝΟΣ	32
2.1.2	ΜΥΚΟΝΟΣ – ΔΗΛΟΣ – ΡΗΝΕΙΑ	32
2.1.3	ΣΥΡΟΣ	33
2.1.4	ΠΑΡΟΣ	34
2.1.5	ΝΑΞΟΣ	35
2.2	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	36
2.2.1	ΤΗΝΟΣ	36
2.2.2	ΜΥΚΟΝΟΣ	37
2.2.3	ΣΥΡΟΣ	38
2.2.4	ΠΑΡΟΣ	38
2.2.5	ΝΑΞΟΣ	39
2.3	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΙ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	40
2.3.1	ΚΛΙΜΑ	40
2.3.2	ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	45
2.3.3	ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	47
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	49
3.1	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	49
3.2	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	50
3.2.1	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	51
3.2.2	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	53
3.2.3	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	54
3.2.4	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ	56
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	57

4.1.	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ	57
4.2.	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ	62
4.3.	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	95
4.4.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ	105
4.5.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	106
4.1.1	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	106
4.1.2	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	107
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	132
7.1.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	132
7.2.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	134
7.3.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	141

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θάλασσα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης, καταλαμβάνοντας μια περιοχή 361.84 εκατομμυρίων km², η οποία αντιστοιχεί στο 71% του πλανήτη μας. Το μέσο βάθος των ωκεανών κυμαίνεται στα 3682.2 μ., ενώ ο συνολικός όγκος υδάτων έχει υπολογιστεί στα 1.332.4000 km³ (Charette & Smith, 2010). Βασιζόμενοι στα παραπάνω στοιχεία γίνεται κατανοητή η σημαντικότητα της θάλασσας στην καθημερινότητα και την εξέλιξη των ανθρώπων. Πιο συγκεκριμένα, με βάση στοιχεία του ΟΗΕ πάνω από 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι εξαρτώνται από τη θαλάσσια και παράκτια βιοποικιλότητα για την επιβίωση τους.

Οι ωκεανοί παίζουν καθοριστικό ρόλο στον τομέα της επικοινωνίας, το πεδίο του οποίου μπορεί να περιλαμβάνει τις ακτοπολικές μεταφορές, τα υποβρύχια καλώδια τηλεπικοινωνίας ακόμα και την οριοθέτηση του εναέριου χώρου. Ακόμα, ελέγχουν τον καιρό και το κλίμα, μέσω των ωκεάνιων ρευμάτων, επηρεάζοντας όχι μόνο το συνολικό περιβαλλοντικό καθεστώς της Γης, αλλά και τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά μεμονωμένων περιοχών. Επίσης, απορροφούν περίπου το 30% του διοξειδίου του άνθρακα, που προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες, περιορίζοντας την υπερθέρμανση του πλανήτη (Peng & Takahashi, 1993). Παρόλα αυτά, πρέπει να επισημανθεί ότι η σχέση της θάλασσας με το γενικότερο κλίμα χαρακτηρίζεται ως αμφίδρομη, αφού και η ίδια η θάλασσα επηρεάζεται από τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής, όπως το λιώσιμο των πάγων. Παράλληλα, οι ωκεανοί αποτελούν έναν τεράστιο ταμειυτήρα φυσικών πόρων, οι οποίοι περιλαμβάνουν τις ορυκτές πρώτες ύλες, την τροφή και τις διάφορες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, το δυναμικό της θάλασσας είναι σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο ανεκμετάλλευτο αλλά και ανεξερεύνητο, κυρίως εξαιτίας του εξειδικευμένου εξοπλισμού, που απαιτείται, και των δύσκολων συνθηκών, που επικρατούν σε τόσο μεγάλα βάθη. Παρόλη, λοιπόν, την εξάρτηση μας από τη θάλασσα, πάνω από το 80% του πυθμένα της δεν έχει καταγραφεί ούτε έχει εξερευνηθεί.

Μέχρι πρόσφατα, η χαρτογράφηση των ωκεανών είχε εφαρμοστεί μόνο σε ένα πολύ μικρό τμήμα του πυθμένα. Το 2016, όμως, στο φόρουμ με τίτλο «Future of Ocean Floor Mapping», που πραγματοποιήθηκε στο Μονακό, ο Yohei Sasakawa, Πρόεδρος του Ιδρύματος Nippon, πρότεινε τη σύναψη μιας συνεργασίας με τον οργανισμό GEBCO έχοντας ως στόχο την πλήρη χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα. Η πρωτοβουλία του Sasakawa είχε ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ενός παγκόσμιου έργου, στα πλαίσια του Γενικού Βαθυμετρικού Χάρτη των Ωκεανών (GEBCO), με στόχο την παραγωγή βαθυμετρικού χάρτη υψηλής ανάλυσης ολόκληρου του Παγκόσμιου Ωκεανού. Η έρευνα έχει ονομαστεί Seabed 2030 και αναμένεται να ολοκληρωθεί το έτος 2030, έχοντας στη διάθεση της δεδομένα τα οποία στη συνέχεια θα είναι διαθέσιμα σε όλους (Mayer et al., 2018).

Είναι δεδομένο ότι η τοπογραφία, το σχήμα και η δομή του θαλάσσιου βυθού παρουσιάζει μεγάλες χωρικές διαφοροποιήσεις, γεγονός που σχετίζεται άμεσα όχι μόνο με τις βιολογικές, γεωλογικές και χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα, αλλά και με την επιρροή που ασκεί τόσο η χέρσος όσο και η υπερκείμενη στήλη του νερού (Δασενάκης, 2015). Η συνεχής κίνηση των τεκτονικών πλακών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ιδιαίτερων μορφολογικών χαρακτηριστικών στο θαλάσσιο πυθμένα. Οι υποθαλάσσιες αυτές δομές έχουν οριστεί από το Διεθνές Υδρογραφικό Γραφείο και περιλαμβάνουν τις μεσωκεάνιες ράχες, τις τάφρους, τα νησιωτικά τόξα και τις λεκάνες (International Hydrology Bureau, 1953). Τέλος, ο πυθμένας αποτελείται από στρώματα ιζημάτων, η φύση των οποίων εξαρτάται άμεσα από παράγοντες όπως το βάθος, η απόσταση από την ακτή, η γεωλογία της περιοχής και οι βιολογικές διεργασίες.

1.1 Θαλάσσια ιζήματα

Τα θαλάσσια ιζήματα αποτελούνται από ένα μείγμα υλικών που αποτέθηκαν στο θαλάσσιο πυθμένα και προέρχονται από τη διάβρωση των ηπείρων, την ηφαιστειότητα, τη βιολογική παραγωγικότητα, τις χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο ωκεάνιο περιβάλλον ή ακόμα και από τα κοσμογενή απόβλητα. Οι συνεισφορές αυτών των πηγών ιζήματος στον θαλάσσιο πυθμένα ελέγχονται από τον άνεμο, την κυκλοφορία των ωκεανών και το βάθος του νερού. Οι παραπάνω τρεις παράγοντες καθορίζουν συνολικά τη μεταφορά, την εναπόθεση και τη συντήρηση κάθε τύπου ιζήματος (Seibold & Berger, 1982). Η διαδικασία της αυθιγένεσης παίζει, επίσης, σημαντικό ρόλο στην τελική σύνθεση των θαλάσσιων ιζημάτων. Οι διεργασίες, επομένως, που σχετίζονται με το σχηματισμό των θαλάσσιων ιζημάτων είναι η αποσάθρωση-διάβρωση, η μεταφορά, η απόθεση και η διαγένεση.

Η **αποσάθρωση** ως έννοια ταυτίζεται με την «καταστροφή» των πετρωμάτων. Περιλαμβάνει το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που οδηγούν στην αποσύνθεση και στον κατακερματισμό των πετρωμάτων, σχηματίζοντας νέο ιζημα στην ίδια θέση. Ο όρος **διάβρωση** αναφέρεται στη φυσική διαδικασία φθοράς που υφίστανται τα πρωτογενή υλικά (ιζημα, έδαφος, πέτρωμα) κατά τη μεταφορά τους από τον αέρα, το νερό, τον πάγο και τις βαρυτικές δυνάμεις (Troen et al., 2004). Η δυνατότητα διάβρωσης μιας περιοχής καθορίζεται από το έδαφος, τη βλάστηση, την τοπογραφία, το κλίμα και τις βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα (Jenny, 1980). Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα διάβρωσης του εδάφους είναι η υφή, το περιεχόμενο σε οργανική ύλη, η δομή και η διαπερατότητα. Πιο συγκεκριμένα, η αντοχή των μεμονωμένων σωματιδίων, η κατανομή του μεγέθους των κόκκων, το επίπεδο τάσης και η σχετική υγρασία που επικρατεί στα κενά των πετρωμάτων αποτελούν παραμέτρους που ελέγχουν τη θραύση των υλικών (Chavez & Alonso, 2003). Η βλάστηση είναι εξίσου σημαντική διότι αποτελεί το πιο αποτελεσματικό μέσο για τη σταθεροποίηση των εδαφών και τον έλεγχο της διάβρωσης, μειώνοντας την ταχύτητα ροής και αυξάνοντας την απορροφητική ικανότητα του εδάφους (Ivory et al. 2014). Η τοπογραφία, επίσης, επηρεάζει το δυναμικό της διάβρωσης. Το σχήμα και το μέγεθος του υδροκρίτη ταυτίζεται άμεσα με το ποσοστό και τον όγκο της απορροής, ενώ σχετικά με το ανάγλυφο, οι μεγάλες και απότομες κλίσεις αυξάνουν την ταχύτητα απορροής. Τέλος, βασικό ρόλο παίζει και το κλίμα. Η συχνότητα, η ένταση, η διάρκεια των βροχοπτώσεων αλλά και το μέγεθος της περιοχής, που εκδηλώνονται τα φαινόμενα, αποτελούν θεμελιώδεις παράγοντες για τον καθορισμό του ποσού της απορροής. Το νερό, επομένως, παίζει βασικό ρόλο στη θραύση των σωματιδίων λόγω της υψηλής πολικότητας, του χαμηλού ιξώδους και του μικρού μοριακού του όγκου (Miura & Yamagouchi, 1975). Τέλος, υψηλός κίνδυνος διάβρωσης παρατηρείται σε περιόδους εποχιακών θερμοκρασιακών αλλαγών.

Το δεύτερο στάδιο αφορά τους παράγοντες που ελέγχουν την **μεταφορά** του υλικού στη θάλασσα. Σύμφωνα με τον Twenhofel (1939), οι συντελεστές που σχετίζονται με τη μεταφορά του ιζήματος είναι: (1) το υδρογραφικό δίκτυο, (2) οι βροχοπτώσεις, που προκαλούν μεταφορά στους ποταμούς και κατολισθήσεις, (3) η διάβρωση των ακτών από τη δράση των κυμάτων, (4) ο πάγος, (5) η βιολογική δραστηριότητα, (6) ο άνεμος και (7) η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα υλικά που μεταφέρονται από τους 3 πρώτους παράγοντες, εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον και αποτίθενται κοντά στις ακτές. Αντίθετα, το υλικό που σχετίζεται με τους υπόλοιπους 4 παράγοντες, μπορεί να μεταφερθεί σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις πριν αποθεθεί στον θαλάσσιο πυθμένα.

Το τρίτη διαδικασία που συνεισφέρει στο σχηματισμό των θαλάσσιων ιζημάτων είναι η **απόθεση**. Η απόθεση σχετίζεται με την συγκέντρωση των μεταφερόμενων υλικών σε περιοχές μικρού ενεργειακού δυναμικού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η περιοχή αυτή ταυτίζεται με τον πυθμένα της θάλασσας. Η διαρκής απόθεση των κόκκων οδηγεί στη δημιουργία ιζηματογενών δομών (Tucker, 1991).

Τελευταίο στάδιο αποτελεί αυτό της **διαγένεσης**, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών μέσω των οποίων μια ιζηματογενής συσσώρευση (ασύνδετο ίζημα) μετατρέπεται σε συμπαγές ιζηματογενές πέτρωμα. Οι κύριες διαγενετικές διεργασίες είναι η οξειδοαναγωγή, η αυθιγένεση, η συγκόλληση, η διάχυση και η συμπαγοποίηση (Larsen & Chilingar, 1979).

Τα ιζήματα, επομένως, που αποτίθενται στη θάλασσα μπορούν να θεωρηθούν ως ένα ιστορικό αρχείο πληροφοριών για τη Γη αφού παρέχουν πληροφορίες για τους παγκόσμιους βιογεωχημικούς κύκλους. Η κατανομή των ιζημάτων συνδέεται άμεσα με τις βιολογικές και χημικές διεργασίες της περιοχής και επομένως πρέπει να εξετάζεται στα πλαίσια της θαλάσσιας γεωχημείας.

Η πρώτη λεπτομερής μελέτη των θαλάσσιων ιζημάτων πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 1870. Μια έρευνα ονομαζόμενη ως "Challenger expedition", υπό την ηγεσία των Murray και Renard, πήρε δείγματα από τον θαλάσσιο πυθμένα και περιέγραψε τα ιζήματα. Κατηγοριοποίησαν τα ευρήματά τους σε 5 κύριες ομάδες: κόκκινη άργιλο, ανθρακικά και πυριτικά ορυκτά, κονδύλους και ηφαιστειακό υλικό (Murray & Renard, 1981). Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ταξινόμηση που πραγματοποιείται και στη σημερινή εποχή. Ο τύπος των ιζημάτων κατηγοριοποιείται κυρίως με βάση την πηγή και τη σύνθεση τους. Τα τέλη της δεκαετίας του 1940, αποτελούν βασικό χρονικό σημείο της έρευνας των θαλάσσιων ιζημάτων, αφού εκείνη την περίοδο πραγματοποιήθηκε η πρώτη πυρηνοληψία. Λίγο αργότερα, σχεδιάστηκε ένα παγκόσμιο πρόγραμμα γεωτρήσεων για τους ωκεανούς, έχοντας ως αποτέλεσμα τη συνεχή συλλογή πυρήνων ιζημάτων από διαφορετικές θαλάσσιες τοποθεσίες.

Τα θαλάσσια ιζήματα, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς τρόπους, από τους οποίους θα αναλυθούν οι 2 πιο βασικοί. Ο πρώτος τρόπος αφορά το μέγεθος των κόκκων ενώ ο δεύτερος την προέλευση τους. Με βάση, λοιπόν, τον πρώτο τρόπο, η κατάταξη πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την κλίμακα Wentworth (**Πίνακας 1**). Η συγκεκριμένη κλίμακα εμφανίζεται στον παρακάτω πίνακα και περιλαμβάνει μια λίστα με μεγέθη κόκκων τα οποία αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες τάξεις και ονόματα. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η βαθμονόμηση της κλίμακας Wentworth είναι λογαριθμική, προκειμένου να καλύψει το ευρύ φάσμα των τάξεων μεγέθους κόκκων που εμφανίζονται στη περιβάλλον (Chotiros, 2017).

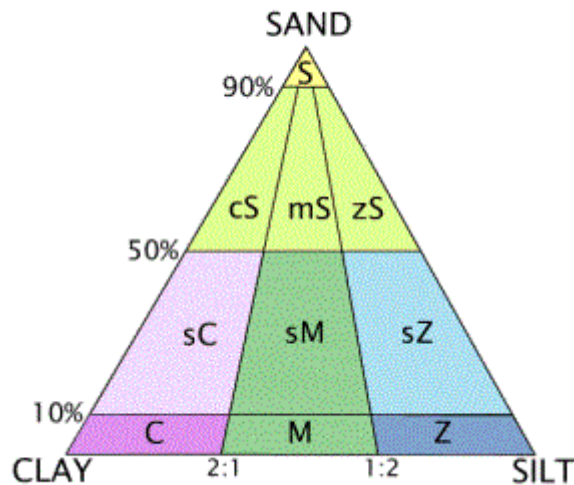
Πίνακας 1. Κατάταξη κατά μέγεθος των σωματιδίων ιζημάτων σύμφωνα με την κλίμακα Wentworth (1922)

Μέγεθος (mm)	Τάξεις	Όνομα ιζήματος
>256	Ογκόλιθος	ΧΑΛΙΚΙ (>2mm)
64-256	Τρόχαλος	
4-64	Χαλίκι	
2-4	Ψηφίδα	
1-2	Πολύ χονδρή άμμος	ΑΜΜΟΣ (2mm-62,5μm)
1/2 (0,5) -1	Χονδρή άμμος	
1/4 (0,25) – 1/2 (0,5)	Μέση άμμος	
1/8 (0,125) - 1/4 (0,25)	Λεπτή άμμος	
1/16 (0,0625) - 1/8 (0,125)	Πολύ λεπτή άμμος	
1/256 (0,0039) - 1/16 (0,0625)	Ιλύς	ΠΗΛΟΣ (<62,5μm)
< 1/256	Άργιλος	

Η παραπάνω ταξινόμηση με βάση το μέγεθος των κόκκων μπορεί να μας δώσει πληροφορίες όχι μόνο για την προέλευση των ιζημάτων αλλά κυρίως για τον τρόπο μεταφοράς τους στη συγκεκριμένη θέση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελούν τα ιζήματα των οποίων οι κόκκοι έχουν ίδιο μέγεθος. Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι έχουν μεταφερθεί μέσω του ανέμου ή των κυμάτων, ενώ αν παρατηρούσαμε διαφορετικά μεγέθη κόκκων θα υποθέταμε ότι μεταφέρθηκαν με τουρβιδιτικά ρεύματα ή παγετώνες (Τσιμενίδης, 2000).

Στην πραγματικότητα, όμως, το φυσικό ίζημα τείνει να εμπεριέχει κόκκους οι οποίοι καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μεγεθών. Με δεδομένο το παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι η κατάταξη των ιζημάτων σε πίνακα με 3 βασικές παραμέτρους είναι σαφώς πιο πρακτική. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται το τριγωνικό διάγραμμα του Folk (**Διάγραμμα 1**). Το τρίγωνο χωρίζεται σε διαφορετικές περιοχές, κάθε μία με το δικό της όνομα και περιγραφή, οι οποίες προκύπτουν από το συνδυασμό των ποσοστών άμμου, αργίλου και ιλύος που εμπεριέχονται στο ίζημα.

Διάγραμμα 1. Τριγωνικό διάγραμμα Folk (1954)



Κωδικός	Ονοματολογία
S	Άμμος
cS	Αργιλούχος άμμος
mS	Πηλούχος άμμος
zS	Ιλυούχος άμμος
sC	Αμμούχος άργιλος
sM	Αμμούχος πηλός
sZ	Αμμούχος ιλύς
C	Άργιλος
M	Πηλός
Z	Ιλύς

Η δεύτερη κατάταξη σχετίζεται με την προέλευση των κόκκων. Οι κόκκοι των ιζημάτων συνίστανται από τρία κύρια συστατικά, τα κλαστικά, τα βιογενή και τα αυθιγενή. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν καθαρά κλαστικά, βιογενή ή αυθιγενή ιζήματα, αλλά αποτελούνται πάντα από μια μίξη των παραπάνω συστατικών (Goldberg, 1963).

1.1.1 Κλαστικά ιζήματα

Ως κλαστικά, κατηγοριοποιούμε τα ιζήματα, των οποίων τα συστατικά έχουν μεταφερθεί με φυσικούς τρόπους από άλλες περιοχές και μπορεί να περιλαμβάνουν χερσογενές, ηφαιστειακό και κοσμογενές υλικό. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ιζημάτων εμπίπτει στη συγκεκριμένη κατηγορία, ενώ είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι συχνά παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό σε αργιλοπυριτικά ορυκτά (Broecker & Peng, 1982).

1.1.1.1 Χερσογενή ιζήματα

Τα χερσαίας προέλευσης ιζήματα προέχονται από τη διάβρωση και την αποσάθρωση πετρωμάτων σε κοντινές ή απομακρυσμένες περιοχές. Τα υλικά που συνθέτουν αυτά τα ιζήματα εισάγονται στο θαλάσσιο χώρο μεταφερόμενα μέσω του νερού, του ανέμου ή του πάγου και μπορούν να αναδιανεμηθούν στο ωκεάνιο περιβάλλον μέσω των ρευμάτων. Η συγκεκριμένη κατηγορία ιζημάτων παρατηρείται πιο συχνά κοντά στις ηπείρους και ειδικά κοντά σε εκβολές ποταμών και σε πολύ βαθιές περιοχές των ωκεανών. Τα αργιλικά ορυκτά αποτελούν την πιο συνήθη ομάδα ορυκτών στα χερσογενή ιζήματα και περιλαμβάνουν κυρίως τους τέσσερεις παρακάτω βασικούς τύπους: χλωρίτης, ιλλίτης, καολινίτης και σμεκτίτης (Hemming, 2007). Η σύνθεση των χερσογενών ιζημάτων εξαρτάται, συνεπώς, από το μητρικό πέτρωμα, το κλίμα και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν

στην περιοχή προέλευσης και από την κατανομή αυτών των ιζημάτων σε σχέση με τη γεωγραφική εναπόθεση των ποταμών και τους επικρατούντες ανέμους. Οι ποταμοί και οι παγετώνες μπορούν να φέρουν μεγάλα σωματίδια και να αποθέσουν μέχρι και 1010 τόνους ετησίως, ενώ οι άνεμοι αποθέτουν περίπου 108 τόνους πολύ μικρότερων σωματιδίων. Τέλος, τα χερσογενή ιζήματα, περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικές με τη ροή των ποταμών, τις πηγές προέλευσης του αποσαθρωμένου υλικού, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή, την τάση και τη διεύθυνση του ανέμου, καθώς επίσης την παγετώδη έκταση και την θέση των παγετώνων (Seibold & Berger, 1982).

1.1.1.2 Ηφαιστειακά ιζήματα

Τα ηφαιστειακά ιζήματα αποτελούνται από ορυκτά που προέρχονται από τη σκόνη και την τέφρα ηφαιστειακών εκρήξεων και εισέρχονται στο θαλάσσιο χώρο κυρίως με τη βοήθεια του ανέμου. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η απουσία/παρουσία της τέφρας, η σύσταση της, όπως και οι τρόποι μεταφοράς της είναι αρκετά δύσκολο να εντοπιστούν λόγω του εξαιρετικά μικρού μεγέθους των κόκκων (περίπου 1μm) και της ευρείας ταξινόμησης τους ως αργιλοπυριτικά ορυκτά (Scudder et al., 2016). Σε περίπτωση που εντοπιστούν, μας δίνουν πληροφορίες σχετικά με τις περιόδους και τις θέσεις έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας. Τέλος, παρατηρούνται, κυρίως, κοντά σε ηφαιστειακά νησιά, ενώ μετά από μεγάλες εκρήξεις κατανέμονται σε παγκόσμια κλίμακα.

1.1.1.3 Κοσμογενή ιζήματα

Τα κοσμογενή σωματίδια προέρχονται από το διάστημα, εισέρχονται μέσω της γήινης ατμόσφαιρας και προστίθενται στο ήδη υπάρχον ιζηματογενές αρχείο της γης. Μπορούν να διαχωριστούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα «κοσμικά σφαιρίδια» που οφείλουν τον σχηματισμό τους στην τήξη διαπλανητικής σκόνης, μεγέθους κόκκου άμμου, καθώς εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης με ταχύτητα περίπου 12 Km/sec, και οι αποθέσεις υλικού που προέρχεται από εκρήξεις αστεροειδών ή κομητών, οι οποίοι εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της Γης με ταχύτητα που κυμαίνεται από 11.2 έως 72 Km/sec και έχουν πυριτική ή μεταλλική σύσταση (Love & Brownlee, 1991).

Κάθε χρόνο, υπολογίζεται ότι συσσωρεύονται περίπου $4-6 \times 10^4$ τόνοι αυτών των σωματιδίων, με μέγεθος που κυμαίνεται από 0,1 έως 1mm (Alexander et al., 1963). Χαρακτηρίζονται από το τυπικό σφαιρικό τους σχήμα και από τα ιδιαίτερα γεωχημικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία περιλαμβάνουν υψηλά ποσοστά σε ^3He , Ir, Os και οργανικές ενώσεις που δεν είναι τυπικές στη Γη. Τέλος, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με πιθανές μεταβολές στον ρυθμό του κοσμογονικού «βομβαρδισμού», ενώ παράλληλα θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα τρόπο εκτίμησης του ρυθμού καθίζησης, υποθέτοντας ότι υπάρχει συνεχής συσσώρευση.

1.1.2 Αυθιγενή ιζήματα

Ως αυθιγενή ιζήματα χαρακτηρίζουμε συγκεκριμένες αποθέσεις που σχηματίζονται επιτόπου, χωρίς να έχει προηγηθεί μεταφορά με φυσικούς τρόπους από άλλες κοντινές ή και απομακρυσμένες περιοχές. Αναφερόμαστε, λοιπόν, σε ανόργανα υλικά, τα οποία κρυσταλλώνονται από το ίδιο το θαλάσσιο νερό και καθιζάνουν στη στήλη του νερού ή στο ίζημα (Broecker & Peng, 1982).

Στη δεδομένη κατηγορία εμπίπτουν οι εβαπορίτες, οι οποίοι αναφέρονται σε ιζηματογενείς αποθέσεις που προέρχονται κατά κύριο λόγο από την εξάτμιση και σχηματίζονται από την καθίζηση αλάτων σε κλειστές θαλάσσιες ή λιμναίες λεκάνες (Twenhofel, 1950). Η διαδικασία της εβαποριτώσεως επιτυγχάνεται σε περιπτώσεις όπου η εξάτμιση δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από την προσφορά υδάτων από τα υπόγεια νερά, τις βροχοπτώσεις ή τα νερά που προέρχονται από την ανοιχτή θάλασσα. Αποτέλεσμα των παραπάνω αποτελεί η αύξηση της αλμυρότητας και ο τελικός σχηματισμός αλμυρού νερού από το οποίο αρχίζει η καθίζηση των αλάτων. Οι εβαπορίτες μπορούν να σχηματιστούν σε θαλάσσιες λεκάνες ή λεκάνες συνδεδεμένες με τη θάλασσα, σε ηπειρωτικές λεκάνες, σε παράκτια Sabkha, από επιφανειακά νερά και τέλος από τα νερά των θερμών πηγών. Τα περιβάλλοντα απόθεσης των εβαποριτών χαρακτηρίζονται, επομένως, από βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και παραμέτρους, όπως η αλμυρότητα, το pH, η θερμοκρασία. Κύρια διαδικασία σχηματισμού τους αποτελεί η εξάτμιση, η οποία θεωρείται και η πιο σημαντική κινητήρια δύναμη στα εβαποριτικά συστήματα. Η αποδοτικότητα της εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον αέρα και την αλμυρότητα (Groeneveld et al., 2010; Sonnenfeld, 1984). Η αλμυρότητα θεωρείται, επίσης, βασικό χαρακτηριστικό προσδιορίζοντας το ποσό των διαλελυμένων αλάτων που εμπεριέχονται στο νερό. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το pH τέτοιου είδους συστημάτων παρουσιάζει χαρακτηριστικές διακυμάνσεις ενώ η θερμοκρασία κυμαίνεται από 20°C-70°C ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία βρίσκονται (Babel and Schreiber, 2014).

Τα κυριότερα ορυκτά που σχετίζονται με τους εβαπορίτες αναφέρονται στον **Πίνακα 2** μαζί με το χημικό τους τύπο και μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, τα εβαποριτικά άλατα (αλίτης, γύψος, ανυδρίτης) και τα εβαποριτικά ανθρακικά ορυκτά (ασβεστίτης, αραγωνίτης, δολομίτης):

Πίνακας 2. Ορυκτά και οι χημικοί τους τύποι που σχετίζονται με τους εβαπορίτες

Ορυκτό	Χημικός τύπος
Αλίτης	NaCl
Γύψος	CaSO ₄ H ₂ O
Ανυδρίτης	CaSO ₄
Ασβεστίτης	CaCO ₃
Αραγωνίτης	CaCO ₃
Δολομίτης	CaCO ₃ * MgCO ₃

Η συγκεκριμένη κατηγορία ιζημάτων περικλείει πληροφορίες που σχετίζονται με τις συνθήκες διαμόρφωσης του κλίματος και της λεκάνης, τη θέση και την ώρα του σχηματισμού τους, ενώ φέρουν, επίσης, πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη χημική σύνθεση του θαλασσινού νερού.

Βασικές αυθιγενείς αποθέσεις αποτελούν και οι μαγγανιούχοι (ή σιδηρομαγγανιούχοι) κόνδυλοι, οι οποίοι συναντώνται διάσπαρτοι στο θαλάσσιο πυθμένα και παρατηρούνται σε όλα τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη. Ο σχηματισμός τους οφείλεται στην καθίζηση μετάλλων που βρίσκονται είτε στο θαλασσινό νερό είτε στο νερό των πόρων των ιζημάτων (Kuhn, 2017).

Τα αυθιγενή υλικά θεωρούνται, επίσης, υποπροϊόντα υδροθερμικών δραστηριοτήτων. Ο σχηματισμός τους οφείλεται στην κυκλοφορία υδροθερμικών διαλυμάτων, τα οποία περιέχουν αυξημένες ποσότητες σε Mn και Fe, κατά μήκος ενός «αγωγού» μέσα στο φλοιό ή σε ένα περιορισμένο τμήμα της επιφάνειας του φλοιού. Κατά την εκτόνωση τους, τα μέταλλα έρχονται σε επαφή με το οξυγόνο που εμπεριέχεται στο θαλασσινό νερό, έχοντας ως αποτέλεσμα την οξείδωση και κροκίδωση τους. Στο τελευταίο στάδιο, πραγματοποιείται απόθεση, συγκεκριμένης ποσότητας, μεταλλικών ορυκτών, άμεσα συνδεδεμένων με το φορτίο των διαλυμάτων (Broecker & Peng, 1982).

1.1.3 Βιογενή ιζήματα

Βασικό συστατικό των θαλάσσιων ιζημάτων αποτελούν τα υλικά που συνδέονται, άμεσα ή έμμεσα, με βιολογικές δραστηριότητες. Αναφερόμαστε συνήθως σε βιοκλαστικά ιζήματα τα οποία δομούνται από βιολογικά παραγόμενο ανόργανο υλικό και συμπεριλαμβάνουν σκελετικά υπολείμματα μικροσκοπικών μονοκύτταρων και μακροσκοπικών πολυκύτταρων οργανισμών. Αν και οι θαλάσσιοι οργανισμοί είναι πολυάριθμοι και ποικίλοι, είναι γεγονός ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό είναι ικανό να συμβάλλει στη δημιουργία ιζημάτων. Η διάρκεια ζωής των περισσότερων από αυτούς τους οργανισμούς είναι της τάξης των εβδομάδων, έχοντας ως αποτέλεσμα τη συνεχή ροή των υπολειμμάτων τους προς το βυθό. Το λεπτόκοκκο, αυτό, υλικό συσσωρεύεται στο βυθό και σε βάθος χρόνου σχηματίζει χαλαρό ίζημα το οποίο περιέχει τουλάχιστον 30% κατά βάρος λεπτά διαμερισμένου βιογενούς υλικού. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ποσότητα του ανθρακικού υλικού που αποτίθεται στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι σχεδόν αποκλειστικά βιογενούς προέλευσης (Dasenakis, 2015; Schulz and Zabel, 2000).

Οι κυριότερες ανόργανες χημικές ενώσεις που παρατηρούνται στα βιογενή ιζήματα είναι το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2).

Κύριες πηγές ανθρακικού ασβεστίου, αποτελούν τα Τρηματοφόρα και τα Κοκκολιθοφόρα/ασβεστολιθικό ναννοπλαγκτόν (Coccolithophores/calcareous nannoplankton).

Τα Τρηματοφόρα είναι μονοκύτταροι ευκαριωτικοί οργανισμοί, ανήκουν στα πρωτόζωα και πιο συγκεκριμένα στην ομοταξία των ριζόποδων (Hedley, 1964). Τα περισσότερα είναι θαλάσσιοι οργανισμοί και μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές ομάδες, τα πλαγκτονικά και τα βενθονικά τρηματοφόρα. Οι βενθονικοί οργανισμοί ζουν στο βυθό (μέσα ή πάνω στο υπόστρωμα) και παρουσιάζουν έντονη βαθυμετρική κατανομή περιλαμβάνοντας περιοχές από τη νηριτική – υπονηριτική ζώνη μέχρι την κατώτερη βαθύαλη, σε πολύ μεγάλα βάθη. Τα παραπάνω καθιστούν τους βενθονικούς οργανισμούς ιδιαίτερα σημαντικούς περιβαλλοντικούς και παλαιοβαθυμετρικούς δείκτες (Murray, 1991). Αντίθετα με τους βενθονικούς, οι πλαγκτονικοί οργανισμοί επιπλέουν ελεύθερα στην επιφάνεια των ωκεανών, μετακινούνται παθητικά από τα θαλάσσια ρεύματα και παρουσιάζουν μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση (Oberhänsli, 1992). Το μεγαλύτερο μέρος των ειδών των Τρηματοφόρων αποτελούν οι βενθονικοί με ποσοστό που αγγίζει το 95%. Επίσης, τα περισσότερα απολιθωμένα Τρηματοφόρα έχουν ασβεστολιθικό κέλυφος, το

οποίο σχηματίζεται με την μετατροπή του συμφυρματοπαγούς κελύφους, όταν τα συμφύσματα και η συγκολλητική ύλη αποτελούνται από ασβεστολιθικό υλικό. Στο τοίχωμα του ασβεστολιθικού κελύφους οι κρύσταλλοι του ασβεστίτη μπορεί να είναι ακτινωτά διαταγμένοι κάθετα προς την επιφάνεια του κελύφους ή κοκκώδεις, διαταγμένοι ακανόνιστα, χωρίς προσανατολισμό. Τρηματοφόρα με πυριτικό και αραγωνιτικό κέλυφος σπανίζουν. Η έλλειψη αραγωνιτικών τρηματοφόρων οφείλεται στην αστάθεια του αραγωνίτη, ως ορυκτό, και στην εύκολη αντικατάσταση του από ασβεστίτη (Cushman, 1948; Συμεωνίδης, 2003).

Τα Κοκκολιθοφόρα είναι θαλάσσιοι μονοκύτταροι, φωτοσυνθετικοί, μαστιγοφόροι οργανισμοί. Βρίσκονται στη βάση της τροφικής αλυσίδας και χαρακτηρίζονται από την παραγωγή μικρών, λεπτών, περίτεχνων ασβεστιτικών πλακών (κοκκόλιθοι) κατά τη διάρκεια μίας ή περισσότερων φάσεων του κύκλου ζωής τους. Συμβάλλουν στη λειτουργία του παγκόσμιου κύκλου του άνθρακα, μέσω των διαδικασιών της φωτοσύνθεσης και της ασβεστοποίησης, καθώς χρησιμοποιούν τον άνθρακα για την παραγωγή οργανικού υλικού ενώ παράλληλα παράγουν CO₂ κατά την ασβεστοποίηση κοκκολιθών. Επομένως, παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος ενώ παρατηρείται η άμεση ανταπόκριση τους στις διακυμάνσεις του κλίματος. Επίσης, αποτελούν μια από τις κυριότερες ομάδες παραγωγής ανθρακικών ιζημάτων, λόγω του υψηλού ρυθμού αναπαραγωγής τους. Τα Κοκκολιθοφόρα συμβάλλουν στην παραγωγή των πελαγικών ανθρακικών ιζημάτων, τα οποία συνιστούν το 1/2 της επιφάνειας του πυθμένα των ωκεανών και το 1/3 της επιφάνειας της Γης (Malinverno et al., 2009).

Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) που εντοπίζεται στα βιογενή ιζήματα προέρχεται κυρίως από μικροοργανισμούς που ανήκουν στις κατηγορίες των διατόμων και των ραδιολαρίων.

Τα Διάτομα είναι μονοκύτταροι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί, οι οποίοι δημιουργούν ένα διαφανές κέλυφος από άμορφο πυρίτιο, ώστε να επιτυγχάνεται η διέλευση του ηλιακού φωτός, με τελικό σκοπό την φωτοσύνθεσή τους. Το πυριτικό αυτό κέλυφος διαιρείται σε δύο ίσα τμήματα, τα οποία συνδέονται τηλεσκοπικά (Julius, 2010). Όταν τα διάτομα πεθαίνουν, τα πυριτικά κελύφη τους καθιζάνουν στον πυθμένα λιμνών ή θαλασσών με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται κατά δισεκατομμύρια, σε περιπτώσεις ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών, δημιουργώντας σε βάθος χρόνου αποθέσεις διατομιτών. Το περιβάλλον απόθεσης των διατόμων καθορίζει το μέγεθος τους, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μικρότερα μεγέθη σε λιμναία συστήματα (Stamatakis et al., 2003). Οι διατομίτες, επομένως, συνδέονται άμεσα με πυριτικά ιζηματογενή πετρώματα, που αποτελούνται κυρίως από τα απολιθωμένα σκελετικά υπολείμματα διατόμων, κατά τη διάρκεια των Τριτογενών και Τεταρτογενών περιόδων (Paschen, 1986).

Τα ραδιολάρια ανήκουν στην κατηγορία των πλαγκτονικών οργανισμών και φέρουν πυριτικό κέλυφος σφαιρικού ή κωνικού σχήματος (Khabakov et al., 1959; Petrushevskaya, 1962). Έχουν πολύ μικρό μέγεθος, το οποίο κυμαίνεται από αρκετές δεκάδες μm μέχρι 1-3mm, με μέσο όρο από τα 100-800μm. Τα κελύφη των ακτινόζων, όπου και ανήκουν, έχουν επιμήκεις εύθραυστες βελόνες ή άκανθες ακτινοειδώς προβαλλόμενες από ένα κεντρικό χώρο. Η χημική ανάλυση του σκελετικού τους μέρους δείχνει την παρουσία 98% άμορφου πυριτίου και την ύπαρξη μικρών ποσοτήτων (1-4%) Mg, Ca, Al και Na (Anderson, 1983; Hurd & Takahashi, 1981). Είναι συνήθως άφθονα σε μικρά γεωγραφικά πλάτη και συσσωρεύονται στα βάθη των ωκεανών. Βασικό χαρακτηριστικό τους αποτελεί το γεγονός ότι είναι αδιάλυτα σε βαθιά θάλασσα (3000μ.), με αποτέλεσμα να σχηματίζουν κοκκινοκάστανο ίζημα (Ιλός Ακτινοζών) από το οποίο προκύπτει κατά τη διαγένεση το πέτρωμα που είναι γνωστό ως ραδιολαρίτης (χαλκηδονικός χαλαζίας).

Πρέπει να επισημανθεί, επίσης, ότι μέρος του διοξειδίου του πυριτίου μπορεί να προέρχεται από τους σπόγγους ή τα πυριτιομαστιγιωτά. Οι σπόγγοι θεωρούνται μια από τις πρώτες πηγές βιογενούς πυριτίου, ενώ το σώμα τους συγκροτείται από μάζες κυττάρων, βυθισμένων σε ζελατινώδεις υπόστρωμα. Ο σκελετός τους αποτελείται από μικροσκοπικές κρυσταλλικές βελόνες από άμορφο πυρίτιο, οι οποίες αποτελούν περίπου το 95% του καθαρού τους βάρους (Maldonado et al., 2010; Uritz et al., 2003). Τα πυριτιομαστιγιωτά είναι, επίσης, θαλάσσιοι πλαγκτονικοί οργανισμοί, οι οποίοι συμπεριφέρονται είτε ως φωτοσυνθετικοί είτε ως ετερότροφοι. Το εσωτερικό τους κέλυφος αποτελείται από ένα δίκτυο ράβδων πυριτίου, στα οποία υπάρχουν μικροποσότητες Al, Ca, Na, Cl, και Mg (Lipps, 1970). Τα κελύφη των πυριτιομαστιγιωτών συνιστούν μόλις το 1-2% των πυριτικών συστατικών που περιλαμβάνονται στα θαλάσσια ιζήματα.

Η χωρική κατανομή τους χερσογενούς υλικού σε σχέση με το βιογενές εξαρτάται κυρίως από το ποσοστό των χερσογενών εισροών και την απόσταση τους από τις εκβολές των ποταμών, την πρωτογενή παραγωγή των επιφανειακών υδάτων και το είδος της επιφανειακής κυκλοφορίας που επικρατεί στην περιοχή (Poulos, 2009).

1.2 Γεωχημεία θαλάσσιων ιζημάτων

Το υλικό που διαμορφώνει τον πυθμένα της θάλασσας έχει υποστεί μια περίπλοκη διαδρομή πριν αποτεθεί σαν θαλάσσιο στρώμα. Η συγκεκριμένη διαδρομή, που περιεγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, περιλαμβάνει διεργασίες όπως η διάβρωση και η μεταφορά. Η σύσταση, λοιπόν, των θαλάσσιων ιζημάτων συνδέεται άμεσα με διεργασίες που έλαβαν χώρα πολύ πριν φτάσει στο θαλάσσιο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, μόλις το ίζημα εισέρθει στο περιβάλλον της θάλασσας, τροποποιούνται περαιτέρω τα ορυκτολογικά και χημικά του χαρακτηριστικά. Η αντίδραση του θαλασσινού νερού με το στερεό υλικό, που στη δεδομένη περίπτωση είναι το ίζημα, ονομάζεται αλμυρόλυση (Κελεπερτζής και Μητρόπουλος, 2011).

Τα ιζήματα, που δομούν τον θαλάσσιο πυθμένα, λειτουργούν ως χώρος απόθεσης για τα βαρέα μέταλλα που εισάγονται στον θαλάσσιο περιβάλλον από την απορροή των ποταμών και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Forstner & Wittmann, 1981). Τα βαρέα μέταλλα στα υποθαλάσσια ιζήματα προέρχονται από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές, ενώ η κατανομή και η συσσώρευση του εξαρτάται από την υφή των ιζημάτων, την ορυκτολογική σύσταση, την οξειδωτική τους κατάσταση και από τους μηχανισμούς της μεταφοράς, της προσρόφησης και της απορρόφησης (Manahan, 2000). Ουσιαστικά, το ποσοστό των βαρέων μετάλλων και άλλων ιχνοστοιχείων που συγκρατούνται στα ιζήματα ελέγχεται όχι μόνο από φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, όπως το pH, οι συνθήκες οξειδοαναγωγής και η οξειδωτική κατάσταση των στοιχείων, αλλά και από τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων, όπως το μέγεθος των κόκκων και το περιεχόμενο τους σε οργανικό υλικό (Yu et al., 2001).

Χωρίζοντας τα ιζήματα, με βάση το μέγεθος των κόκκων τους, σε δύο βασικές κατηγορίες μπορούμε να παρατηρήσουμε καλύτερα που τείνουν να συγκεντρωθούν τα διάφορα μέταλλα. Τα χονδρόκοκκα ιζήματα (άμμος, χαλίκια) με διάμετρο πάνω από 50μm, χαρακτηρίζονται κυρίως από μία μίξη χαλαζία και αστρίων, ενώ τα λεπτόκοκκα ιζήματα (ιλύς και άργιλος), με διάμετρο κάτω από 50μm, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από αργιλικά ορυκτά, οργανική ύλη, σωματίδια από χαλαζία, ανθρακικά ορυκτά και αστρίους. Τα ιζήματα που αποτελούνται από ιλύ και άργιλο

παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα προσροφημένων μετάλλων σε σχέση με τα ιζήματα που είναι πλούσια σε χαλαζία, αστρίους και ανθρακικό υλικό (Zhang et al., 2014). Με βάση τους Förstner and Salomons (1984), το προτεινόμενο μέγεθος κόκκων για τη μελέτη του ολικού περιεχομένου σε μέταλλα είναι το κλάσμα κάτω των 63μm. Το συγκεκριμένο μέγεθος επιλέγεται για τους ακόλουθους λόγους:

1. Τα μέταλλα παρατηρούνται σε σωματίδια αργίλου και ιλύος,
2. Το συγκεκριμένο κλάσμα ταυτίζεται με το υλικό που μεταφέρεται σε αιώρημα,
3. Η υγρή κοσκίνιση δεν επηρεάζει τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και τέλος
4. Ο μεγαλύτερος αριθμός μελετών έχει πραγματοποιηθεί σε αυτό το κλάσμα, γεγονός που μας επιτρέπει περαιτέρω συγκρίσεις.

Το περιβαλλοντικό πλαίσιο στο οποίο εμπíπτουν τα ιζήματα, που είναι εμπλουτισμένα σε βαρέα μέταλλα, πρέπει να ερευνάται έχοντας υπόψιν τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται τα μέταλλα στο ίζημα, την ευκολία με την οποία μπορούν ανακυκλωθούν και να επιστρέψουν στην υδάτινη στήλη και τη διαθεσιμότητα τους στο σύνολο των φυτικών και ζωικών οργανισμών.

Τα βαρέα μέταλλα που εισέρχονται στο υδάτινο σύστημα, καταβυθίζονται στη στήλη του νερού και στη συνέχεια επικάθονται στον πυθμένα, αλληλοεπιδρώνοντας με τα ιζήματα. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας αποτελεί η δέσμευση τους από τα ιζήματα του θαλάσσιου πυθμένα. Η ενσωμάτωση των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους, οι οποίοι σχετίζονται με τους μηχανισμούς της προσρόφησης, της απορρόφησης και της καθίζησης.

Ως **προσρόφηση** αναφέρεται η διαδικασία κατά την οποία το προς δέσμευση μεταλλικό ιόν συγκρατείται στην επιφάνεια του στερεού, σχηματίζοντας σύμπλοκα εσωτερικής ή εξωτερικής σφαίρας χωρίς, όμως, να εισχωρήσει σε εσωτερικές θέσεις (Ντούλα, 2004). Κυρίαρχο ρόλο σε αυτή τη διαδικασία κατέχει η παρουσία πόρων στο ίζημα αφού με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η επιφάνεια προσρόφησης ανά μονάδα όγκου.

Ο δεύτερος μηχανισμός σχετίζεται με τη διεργασία της **απορρόφησης**. Με βάση την Ντούλα, Μ. (2004), κατά τη διαδικασία της απορρόφησης το μεταλλικό ιόν εισέρχεται και ενσωματώνεται στη δομή του ορυκτού καταλαμβάνοντας θέσεις στο πλέγμα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο συγκεκριμένος μηχανισμός σχετίζεται με ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος (πίεση, θερμοκρασία, pH), οι οποίες δεν αναμένονται στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Τέλος, η **καθίζηση** αναφέρεται στη δημιουργία σχηματισμών και επάλληλων στοιβάδων του μεταλλικού κατιόντος στην επιφάνεια των ορυκτών που αποτελούν το ίζημα. Η δεδομένη διεργασία επικρατεί όχι μόνο σε βασικές συνθήκες αλλά και σε περιπτώσεις μεγάλων συγκεντρώσεων του μετάλλου.

1.3 Θαλάσσια ρύπανση

Η Σύμβαση των Ηνωμένων Πολιτειών για το Δίκαιο της Θάλασσας ορίζει τη θαλάσσια ρύπανση ως (GESAMP, 1990):

«την απόθεση από τον άνθρωπο, αμέσως ή εμμέσως, ουσιών ή ενέργειας στο θαλάσσιο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων και των εκβολών ποταμών, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ή ενδέχεται να έχει ως αποτέλεσμα την επέλευση βλαβερών συνεπειών ή βλάβης στους βιολογικούς πόρους και στην θαλάσσια ζωή, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, παρακώλυση των θαλάσσιων δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των αλιευτικών και άλλων νόμιμων χρήσεων της θάλασσας, πτώση της ποιότητας του θαλάσσιου ύδατος και υποβάθμιση της αναψυχής».

Με βάση τον παραπάνω ορισμό γίνεται κατανοητό ότι η ρύπανση προέρχεται από ουσίες ή ενέργειες που εισάγει ο άνθρωπος. Ως εκ τούτου ο περιορισμός της είναι εφικτός, ελέγχοντας τις εισροές στο θαλάσσιο περιβάλλον (Frid & Caswell, 2017). Η μεγάλη οικονομική ανάπτυξη, η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση αποτελούν παραμέτρους που καθοδηγούν τις δραστηριότητες εκμετάλλευσης του θαλάσσιου πλούτου. Οι συνεχώς αυξανόμενες προσπάθειες εκμετάλλευσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, με σκοπό την κάλυψη των παγκόσμιων αναγκών, έχουν ως αποτέλεσμα την εισροή τεράστιων ποσοτήτων ρυπασμένων ουσιών που οδηγούν σε πληθώρα περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Οι ρύποι αναφέρονται σε ουσίες που προέρχονται από ανθεκτικές οργανικές ενώσεις, θρεπτικά συστατικά, υδρογονάνθρακες, ραδιενεργά απόβλητα, βαρέα μέταλλα, παθογόνα μικρόβια και στερεά απορρίμματα (Williams, 1996). Παρόλα αυτά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η επιβάρυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος σχετίζεται πολύ συχνά με φυσικούς παράγοντες. Για παράδειγμα η αυξημένη συγκέντρωση σε διάφορα χημικά στοιχεία και τέφρα, μπορεί να προέρχεται από ηφαιστειακή δραστηριότητα ή η αυξημένη συγκέντρωση ραδιενεργών στοιχείων από την απόπλυση ενός επιφανειακού κοιτάσματος ουρανίου.

Πρακτικά, οι περισσότεροι ρύποι αλληλοσυνδέονται και θέτουν σε κίνδυνο το θαλάσσιο περιβάλλον και τους οργανισμούς με τον ίδιο τρόπο και στην ίδια κλίμακα, ανεξάρτητα από την πηγή μόλυνσης (Islam & Tanaka, 2004). Ο έλεγχος της θαλάσσιας ρύπανσης αποτελεί άμεση ανάγκη για τη βιωσιμότητα και τη διατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των θαλάσσιων πόρων. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το πρόβλημα της μόλυνσης χαρακτηρίζεται από έντονες σχέσεις αλληλεξάρτησης, περίπλοκες αλληλεπιδράσεις, αβεβαιότητα, συγκρούσεις και περιορισμούς, καθιστώντας τον έλεγχο του προβλήματος αρκετά δύσκολο. Επιπλέον, η έλλειψη επιστημονικών γνώσεων σχετικά με τη θαλάσσια ρύπανση οδηγεί σε κενά τα οποία θεωρούνται από τα σημαντικότερα προβλήματα στην δημιουργία αποτελεσματικών στρατηγικών διαχείρισης για τον έλεγχό της (Williams, 1996).

Στα επόμενα δυο υποκεφάλαια αναλύονται οι βασικές κατηγορίες των ρύπων που οδηγούν στη μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και αναφέρονται οι τρόποι αξιολόγησης της θαλάσσιας ρύπανσης με σκοπό τον ενδεχόμενο έλεγχο και την αντιμετώπιση της.

1.3.1 Κατηγορίες θαλάσσιων ρύπων

Η ρύπανση συνδέεται άμεσα με χημικές ουσίες, όμως ανάλογα με τη φύση τους, οι ρύποι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως φυσικοί (θερμότητα, ραδιενέργεια, φως, σωματίδια, πλαστικά αντικείμενα, κ.α.), χημικοί ή βιολογικοί (π.χ. παθογόνοι μικροοργανισμοί). Με βάση την πηγή προέλευσης τους μπορούν να διακριθούν αρχικά σε αστικά, αγροτικά και βιομηχανικά απόβλητα, ενώ στη συνέχεια κάθε μια από τις κατηγορίες μπορεί να χωριστεί σε υγρά και στερεά λύματα. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να ταξινομηθούν σε διαλυμένους, βιοαποικοδομήσιμους και ανθεκτικούς (Beiras, 2018). Τα κυριότερα είδη ρύπων και οι επιπτώσεις που προκαλούν στο θαλάσσιο περιβάλλον παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν τον πιο σύνθετο περιβαλλοντικό ρύπο και η ρύπανση που προέρχεται από αυτούς θεωρείται ως μια από τις σημαντικότερες μορφές επιβάρυνσης. Η πετρελαϊκή ρύπανση άρχισε να δέχεται όλο και περισσότερη προσοχή από τα μέσα της δεκαετίας του '90, όταν αυξήθηκαν οι μετακινήσεις των δεξαμενόπλοιων λόγω της έντονης ζήτησης πετρελαίου. Τα παραπάνω οδήγησαν σε ναυτικά ατυχήματα τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα την διαρροή πετρελαίου στη θάλασσα (Islam & Tanaka, 2004).

Εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου προστίθενται κάθε χρόνο στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον από διαφορετικές πηγές (Clark, 1977). Η ρύπανση από υδρογονάνθρακες μπορεί να προκύψει είτε από λάθος είτε λόγω πρακτικών διαδικασιών που σχετίζονται με την παραγωγή, τη μεταφορά, την αποθήκευση, την επεξεργασία και τη χρήση τους στη θάλασσα ή στην ξηρά. Πιο συγκεκριμένα, πολύ συχνά η διαρροή πετρελαίου σχετίζεται με ναυτικά ατυχήματα δεξαμενόπλοιων, που προκύπτουν είτε κατά την υποθαλάσσια εξόρυξη είτε κατά την φόρτωση και εκφόρτωσή του πετρελαίου, όπως επίσης και με το χώρο επισκευής τους στα ναυπηγεία. Οι πετρελαιοκηλίδες που δημιουργούνται, στη δεδομένη περίπτωση, προκαλούν ιδιαίτερα σοβαρές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον και στα χερσαία οικοσυστήματα.

Η ρύπανση, όμως, από υδρογονάνθρακες δεν περιορίζεται μόνο στο ανθρώπινο λάθος, μπορεί επίσης να προέρχεται και από φυσικές πηγές. Η χερσαία διάβρωση επιφανειακών κοιτασμάτων που εμπεριέχουν υδρογονάνθρακες ή η διαρροή υδρογονανθράκων από το γεωλογικό υπόστρωμα στην υδάτινη στήλη, αποτελούν περιπτώσεις όπου οι ποσότητες απελευθερώνονται με πολύ αργό ρυθμό και τα οικοσυστήματα προσαρμόζονται και τελικά εξελίσσονται υπό την παρουσία πετρελαίου.

Συνολικά το ποσό του πετρελαίου που εισέρχεται στο θαλάσσιο περιβάλλον κυμαίνεται στους 1–3 εκατομμύρια τόνους το χρόνο (Beiras, 2018). Από το παραπάνω ποσοστό, το φυσικώς προερχόμενο πετρέλαιο υπολογίζεται σε περίπου 0,6 εκατομμύρια τόνους το χρόνο (Neff, 1979). Όσον αφορά τις ανθρωπογενείς εισροές, περισσότερο από το ήμισυ προέρχεται από χερσαίες πηγές, το ένα τέταρτο από τις θαλάσσιες μεταφορές και μόλις το 6% από πετρελαιοκηλίδες που προέρχονται από ατυχήματα (EEA, 2007).

Η εισαγωγή πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι αρκετά δύσκολο να ελεγχθεί λόγω των πολυάριθμων πηγών και της γεωγραφικής τους διασποράς (Horsfall et al., 1994). Ο ρυθμός

αποκατάστασης εξαρτάται άμεσα από τα χαρακτηριστικά της ρυπασμένης περιοχής και από το βαθμό της μόλυνσης (Yamamoto et al., 2003).

2. Βαρέα μέταλλα

Οι βιομηχανικές δραστηριότητες, που πραγματοποιούνται στην ξηρά, στη θάλασσα και στον αέρα, συμβάλλουν στη μόλυνση του θαλασσινού νερού και των οργανισμών με την εισαγωγή δυνητικά τοξικών ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον (Die'z, 2005; Maanan, 2008). Το θαλάσσιο περιβάλλον, επομένως, αποτελεί τον τελικό αποδέκτη βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων που προέρχονται από ατμοσφαιρικές και χερσαίες πηγές (Robson & Neal, 1997). Με βάση τον Davies (1978) τα οκτώ πιο τοξικά μέταλλα για τα θαλάσσια οικοσυστήματα είναι ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο άργυρος (Ag), το νικέλιο (Ni), το ο μόλυβδος (Pb), ο χαλκός (Cu), το χρώμιο (Cr) και ο ψευδάργυρος (Zn), καθώς και το ημιμέταλλο αρσενικό (As) και το αμέταλλο σελήνιο (Se), σύνολο δέκα.

Τα βαρέα μέταλλα, ως φυσικά στοιχεία, αποτελούν αναπόσπαστο συστατικό των θαλάσσιων οργανισμών και ιζημάτων σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Η συγκέντρωσή τους, επίσης, σε προσχωματικά κοιτάσματα. Οι προαναφερθείσες ανθρωπογενείς δραστηριότητες οδηγούν σε αύξηση των συγκεντρώσεων τους ξεπερνώντας τα φυσικά επίπεδα του υποβάθρου. Η συσσώρευση των βαρέων μετάλλων, στα υποθαλάσσια ιζήματα, ελέγχεται από βιολογικούς και γεωχημικούς μηχανισμούς και καθίσταται τοξική για τους ζώντες οργανισμούς. Η βιοσυσσωρευτική τους ικανότητα μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των ειδών ή ακόμα και να οδηγήσει τους οργανισμούς σε θάνατο (Szefer, 1995). Η επίδραση των βαρέων μετάλλων στους οργανισμούς συνδέεται άμεσα με τις μεταβολικές τους διαδικασίες στις οποίες συμμετέχουν συστατικά που περιέχουν θείο. Τα περισσότερα από τα βαρέα μέταλλα (π.χ. υδράργυρος, χαλκός, άργυρος) εμφανίζουν μεγάλη συγγένεια για τα άτομα του θείου και έχουν την ικανότητα να αλληλοεπιδρούν με σουλφυδρυλικές ομάδες πρωτεϊνών και ενζύμων των οργανισμών (Davies, 1978).

Η μόλυνση, επομένως, των ιζημάτων από βαρέα μέταλλα μπορεί να προκαλέσει δευτερογενή περιβαλλοντική μόλυνση, επηρεάζοντας το θαλάσσιο οικοσύστημα, το οποίο εν συνεχεία παρουσιάζει αρνητικό αντίκτυπο ακόμα και στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας (Bolton et al., 2004; Palma and Mecozzi, 2007).

3. Οργανική ρύπανση

Η οργανική ρύπανση σχετίζεται με λύματα πλούσια σε νεκρές οργανικές ενώσεις, τα οποία υπόκεινται σε βακτηριακή αποδόμηση (bacterial decay), μέσω της διεργασίας της οξείδωσης των οργανικών μορίων και την μετατροπή τους σε ανόργανα στοιχεία. Αναφερόμαστε, επομένως, σε αστικά, βιομηχανικά και οικιακά λύματα, όπως επίσης σε ζωικά υπολείμματα και σε στερεά/υγρά απόβλητα που προέρχονται από οικιακές συσκευές (Islam & Tanaka, 2004). Το συγκεκριμένο είδος ρύπανσης εντοπίζεται κυρίως σε πόλεις με μεγάλο πληθυσμό όπου το φορτίο βιομηχανικής ρύπανσης είναι μεγαλύτερο (Robson & Neal, 1997).

Τα οικιακά λύματα εμπεριέχουν μια πληθώρα μολυσματικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων παθογόνων, οργανικών ουσιών, βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων, τα οποία επιδρούν άμεσα ή έμμεσα στο περιβάλλον και στους οργανισμούς (Grillo et al., 2001). Λόγω της οργανικής κυρίως

φύσης τους υπόκεινται σε βακτηριακή αποδόμηση η οποία οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου, διαμορφώνοντας συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Αποτέλεσμα των καινούριων συνθηκών αποτελεί η ανάπτυξη αναερόβιων διεργασιών από βακτήρια, που παράγουν ενώσεις, όπως είναι το υδρόθειο (H_2S), η αμμωνία (NH_3) και το μεθάνιο (CH_4), τα οποία σε χαμηλές συγκεντρώσεις μετατρέπονται σε τοξικές για τους περισσότερους θαλάσσιους οργανισμούς (Islam & Tanaka, 2004). Οι περιοχές οι οποίες έχουν ρυπανθεί χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή βιοποικιλότητα, η οποία αυξάνει προοδευτικά μακριά από τη ρυπογόνο εστία. Επίσης, παρουσιάζονται μεταβολές στα είδη με εμφάνιση νέων ειδών ή υπερβολική ανάπτυξη ορισμένων από τα ήδη υπάρχοντα (Bonsdorff et al., 1997).

4. Ραδιενεργά απόβλητα

Το θαλασσινό νερό είναι φυσικά ραδιενεργό, εξαιτίας της παρουσίας ραδιοϊσοτόπων του 40K. Περιέχει, επίσης, ραδιοϊσότοπα των σειρών ουρανίου-ραδίου και θορίου, ενώ δέχεται μια συνεχή είσοδο του ραδιενεργού στοιχείου τριτίου (3H) λόγω της κοσμικής ακτινοβολίας. Παρόλα αυτά, στο θαλάσσιο περιβάλλον εισέρχονται και ραδιενεργές ουσίες, σε μικρότερες ποσότητες, οι οποίες σχετίζονται με τις ανθρωπίνες δραστηριότητες.

Η ανθρωπογενής ραδιενεργός μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος προέρχεται από διάφορες πηγές: απόρριψη ραδιενεργών αποβλήτων στη θάλασσα, απελευθέρωση από ατυχήματα, εισαγωγή από δοκιμές πυρηνικών όπλων και πυρηνικά ατυχήματα. Επιπλέον, σημαντική πηγή μόλυνσης αποτελεί η απόρριψη φυσικών ραδιενεργών υλικών από διεργασίες εξόρυξης και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου που λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Θα πρέπει, επίσης, να επισημανθεί και το ποσοστό των ραδιενεργών συστατικών που προέρχονται από ιατρικές, επιστημονικές και βιομηχανικές χρήσεις (Foyh, 2001).

Μετά την απελευθέρωση των ραδιενεργών αποβλήτων στην υδάτινη στήλη, τα ραδιοϊσότοπα είναι δυνατόν να μεταφερθούν στα ιζήματα του πυθμένα ελεγχόμενα από τις εξής διαδικασίες: i) προσρόφηση στη διεπιφάνεια νερού-ιζήματος, ii) απόθεση οργανικής ύλης μετά από αφομοίωση του ρύπου, iii) προσρόφηση από ανόργανες ενώσεις. Ο μηχανισμός που θα επικρατήσει θα εξαρτηθεί άμεσα από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού, του ιζήματος και του ραδιοϊσοτόπου. Το μέγεθος των κόκκων συχνά επηρεάζει έντονα τη συγκέντρωση των ραδιονουκλεϊδίων στα θαλάσσια ιζήματα. Μελέτες έχουν δείξει ότι η λεπτόκοκκη φάση των ιζημάτων που βρίσκονται σε αιώρηση, όπως τα αργιλικά ορυκτά, έχει την ικανότητα να προσροφά στην επιφάνεια των σωματιδίων μεγαλύτερη ποσότητα ραδιοϊσοτόπων από ότι τα πιο χονδρόκοκκα ιζήματα (Assinder et al., 1993; Bonnett et al., 1988; Clifton et al., 1997; Hetherington & Jefferies, 1974).

Βασικό σημείο στη ρύπανση από ραδιενεργά απόβλητα αποτελεί η πρόσληψη των ραδιοϊσοτόπων από θαλάσσιους οργανισμούς απευθείας από τα ιζήματα του πυθμένα ή μέσω της εξαγωγής τους από την υδάτινη στήλη (Brown et al., 2003). Το αρνητικό αντίκτυπο που έχουν τα ραδιενεργά απόβλητα στους ζώντες οργανισμούς και στο περιβάλλον έχει επισημανθεί ήδη από τις αρχές τις δεκαετίας του '20 (Lapp, 1979).

5. Θερμική ρύπανση

Η θερμική ρύπανση του θαλάσσιου χώρου σχετίζεται με τρία βασικά αίτια, στα οποία περιλαμβάνονται η αποχέτευση θερμού νερού που χρησιμοποιείται για ψύξη στην βιομηχανία, οι κλιματολογικές συνθήκες, όπως ο συνδυασμός εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών του αέρα, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με χαμηλά επίπεδα βροχοπτώσεων και τέλος, η ύπαρξη θολού νερού, το οποίο απορροφά πιο γρήγορα την ηλιακή ακτινοβολία. Σχετικά με την πρώτη περίπτωση, το νερό που καταλήγει στο υδάτινο περιβάλλον μπορεί να μην αυξάνει συνολικά τη θερμοκρασία των υδάτινων σωμάτων αλλά αυξάνει την τοπική θερμοκρασία γύρω από το σημείο διοχέτευσης του (Punetha, 2018). Η περιβαλλοντική αλλαγή που προκύπτει από τη θερμική ρύπανση επηρεάζει βασικές λειτουργίες των θαλάσσιων οργανισμών και του υδάτινου οικοσυστήματος γενικότερα. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλή θερμοκρασία μειώνει την περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο, αποτρέποντας τη διάχυση του στα κατώτερα στρώματα, και προκαλεί μεταβολή της φυσιολογίας των βιοκοινωνιών, με επικράτηση θερμόφιλων ειδών (Singh & Gupta, 2016).

6. Στερεά απορρίμματα (απόβλητα)

Θαλάσσια απορρίμματα ονομάζονται οποιαδήποτε εμμένοντα, κατασκευασμένα, επεξεργασμένα ή χρησιμοποιημένα από τον άνθρωπο στερεά υλικά που έχουν απορριφθεί εσκεμμένα, εγκαταλειφθεί ή χαθεί στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον. Το σημείο στο οποίο εντοπίζονται μπορεί να είναι είτε πολύ κοντά στην πηγή από την οποία προήλθαν ή να έχουν μεταφερθεί από πολύ μακρινές αποστάσεις μέσω των θαλάσσιων ρευμάτων και των ανέμων (Coe & Rogers, 1997).

Τα στερεά απόβλητα, ανάλογα με την φύση και την προέλευσή τους μπορούν να χωριστούν σε 3 βασικές κατηγορίες, οι οποίες περιλαμβάνουν τα **βυθοκορήματα** (dredging spoil), που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες στην ακτογραμμή και εμφανίζουν ιδιαίτερα σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον όταν τα ιζήματα που μεταφέρονται είναι ρυπασμένα, τα **βιομηχανικά στερεά απόβλητα**, που προέρχονται από διάφορες μεταλλευτικές δραστηριότητες και τα **στερεά απορρίμματα** (πλαστικά, χαρτί, γυαλί, καουτσούκ, ύφασμα κ.α.).

Από τα παραπάνω, τα στερεά απορρίμματα αποτελούν τη βασικότερη κατηγορία ρύπων που εισάγεται στο θαλάσσιο περιβάλλον (Stefatos et al., 1999). Τεράστιοι όγκοι πλαστικών απορρίπτονται καθημερινά σε παραλίες, λίμνες, κανάλια και άλλες μορφές υδάτινων μαζών. Το παραπάνω εντείνεται σε αναπτυσσόμενες περιοχές οι οποίες δεν έχουν αναπτύξει ρυθμίσεις για τη διάθεση των αποβλήτων. Η απόρριψη των στερεών αποβλήτων οδηγεί στην απελευθέρωση τοξικών ουσιών και στη δημιουργία μικροπλαστικών (plastic resin pellets, fragments, fibres), εγκυμονώντας έτσι σοβαρούς κινδύνους στο θαλάσσιο οικοσύστημα (Gregory, 1999).

Με βάση τα παραπάνω, πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε κατηγορία ρύπου έχει διαφορετική τοξικότητα σε διάφορα επίπεδα συγκεντρώσεων και επηρεάζει με συγκεκριμένο τρόπο διάφορες κατηγορίες οργανισμών. Σε περιπτώσεις ταυτόχρονης ύπαρξης πολλών ρύπων είναι πιθανό να εμφανιστούν φαινόμενα συνέργειας με πολλαπλάσια τοξικά αποτελέσματα.

7. Θρεπτικά συστατικά – Ευτροφισμός

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες επηρεάζουν έντονα, σχεδόν όλα, τα κύρια υδάτινα οικοσυστήματα μεταβάλλοντας δραματικά το ποσό των θρεπτικών ουσιών που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ο εμπλουτισμός των θαλάσσιων συστημάτων με στοιχεία όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το πυρίτιο (Si), επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων παγκοσμίως και παράλληλα ευνοεί την αύξηση του πληθυσμού των βακτηριδίων (Carpenter et al., 1998a ; Correll, 1998). Το ποσό της διάθεσης θρεπτικών συστατικών στα υδάτινα περιβάλλοντα σχετίζεται άμεσα με την πυκνότητα του ανθρώπινου πληθυσμού και τις χρήσεις γης (Caraco, 1995; Cole et al., 1993). Οι χερσαίες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που εντείνουν τη θαλάσσια ρύπανση αφορούν την έκπλυση αγροτικών εκτάσεων όπου έχει εφαρμοστεί λίπανση, την μεταφορά ουσιών από την καύση ορυκτών καυσίμων μέσω της βροχής και του χιονιού και τα ανεπεξέργαστα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα (Smith, 2003).

Ο υπερβολικός εμπλουτισμός των υδάτων με θρεπτικά στοιχεία οδηγεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού, προκαλώντας δυσανάλογη αύξηση ορισμένων οργανισμών και μείωση της διαφάνειας των νερών και της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός (Islam & Tanaka, 2004). Βασική συνέπεια της υπερπροσφοράς θρεπτικών στοιχείων αποτελεί η μεταβολή στη σύνθεση της βιοκοινωνίας, η οποία μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου επιφέροντας μοιραία την θανάτωση των ζώντων οργανισμών (Riegman, 1995).

1.3.2. Αντιμετώπιση θαλάσσιας ρύπανσης

Η εξάλειψη της θαλάσσιας ρύπανσης κινείται σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις. Η πρώτη κατεύθυνση αφορά την περιορισμό και την αντιμετώπιση της ρύπανσης στο θαλασσινό νερό ενώ η δεύτερη σχετίζεται με τη ρύπανση στα θαλάσσια ιζήματα.

Στην πρώτη κατηγορία η διασπορά των ρύπων στο θαλασσινό νερό εξαρτάται άμεσα από μια πληθώρα φυσικοχημικών και βιολογικών παραγόντων. Βασικό ρόλο στην μεταφορά του ρύπου παίζει όχι μόνο η γενική κυκλοφορία των υδάτων αλλά και οι μεταναστεύοντες οργανισμοί. Οι ρύποι προσλαμβάνονται από τους θαλάσσιους οργανισμούς, μέσω βιολογικών ενεργειών ή συσσωρεύονται στον πυθμένα της θάλασσας μέσω φυσικοχημικών διεργασιών, όπως η καταβύθιση, η προσρόφηση και η ιοντοανταλλαγή.

Η ρύπανση των θαλάσσιων ιζημάτων σχετίζεται κυρίως με την ικανότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να προσροφούν τους ρυπαντές. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1.2, «Γεωχημεία θαλάσσιων ιζημάτων», η λεπτόκοκκη φάση των αργίλων είναι αυτή που χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη δυνατότητα προσρόφησης. Στην αντιμετώπιση, επομένως, της θαλάσσιας ρύπανσης θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η αποφυγή της επαναιώρησης των ιζημάτων του πυθμένα που έχουν ήδη ρυπανθεί. Πριν, όμως, καταλήξουμε στις μεθόδους απορρύπανσης μιας θαλάσσιας περιοχής, θα πρέπει να γνωρίζουμε την περιβαλλοντική κατάσταση των ιζημάτων του θαλάσσιου πυθμένα.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, τα βαρέα μέταλλα αποτελούν φυσικά συστατικά των ιζημάτων. Παρόλα αυτά, την τελευταία δεκαετία, η συγκέντρωση τους έχει αυξηθεί λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Βασικά σημεία, λοιπόν, στην εκτίμηση της θαλάσσιας ρύπανσης

αποτελούν η διάκριση μεταξύ των φυσικών τιμών υποβάθρου και των ανθρωπογενών εισροών και η κατανόηση της μεταβολής των τιμών υποβάθρου από περιοχή σε περιοχή. Η αξιολόγηση του ποσοστού μόλυνσης των ιζημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί εφαρμόζοντας συγκεκριμένους δείκτες, όπως ο συντελεστής εμπλουτισμού (EF), ο βαθμός επιβάρυνσης (mCD) και τα κριτήρια ποιότητας των ιζημάτων (SQGs).

▪ Παράγοντας εμπλουτισμού (EF: Enrichment Factor)

Ο Παράγοντας Εμπλουτισμού χρησιμοποιείται ως δείκτης για την εκτίμηση της παρουσίας και της έντασης της ανθρωπογενούς επιβάρυνσης στα ιζήματα του θαλάσσιου πυθμένα. Ο προσδιορισμός των ανθρωπογενών επιδράσεων προϋποθέτει την καταγραφή του φυσικού επιπέδου των μετάλλων. Χρησιμοποιείται, επομένως, ένα στοιχείο αναφοράς, το οποίο πρέπει να είναι ιδιαίτερα σταθερό και η συγκέντρωσή του να μην μπορεί να μεταβληθεί ανθρωπογενώς. Βασικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε πολλές μελέτες είναι τα Al, Fe, Mn και Rb. Συγκεκριμένα το αργίλιο αποτελεί ένα στοιχείο το οποίο αντιστέκεται στις μεταβολές και έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία από διάφορους επιστήμονες (Barbieri, 2016). Παράλληλα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι για τον ορισμό των τιμών υποβάθρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν, επίσης, απολιθωμένα υδάτινα ιζήματα, πρόσφατες αποθέσεις σε μη ρυπασμένες περιοχές καθώς και μικροί χρονολογημένοι πυρήνες από την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης που παρέχουν ιστορικό αρχείο.

Ο Παράγοντας Εμπλουτισμού Ιζημάτων (Sediment Enrichment Factor) εκφράζεται ως εξής:

$$F = (Me_{\text{ιζημ}} / Re_{\text{ιζημ}}) / (Me_{\text{υποβ}} / Re_{\text{υποβ}})$$

όπου,

Me_{ιζημ}: συγκέντρωση μετάλλου στο ίζημα υπό μελέτη,

Re_{ιζημ}: συγκέντρωση στοιχείου αναφοράς στο ίζημα υπό μελέτη,

Me_{υποβ}: συγκέντρωση μετάλλου στο υπόβαθρο,

Re_{υποβ}: συγκέντρωση στοιχείου αναφοράς στο υπόβαθρο

Ο χαρακτηρισμός των ιζημάτων με βάση τον Παράγοντα Εμπλουτισμού κατηγοριοποιείται σύμφωνα με τον **Πίνακα 3** (Sutherland 2000, τροποποιημένος από Roussiez et al., 2006).

Πίνακας 3. Κατηγορίες ιζημάτων σύμφωνα με τον δείκτη εμπλουτισμού (EF)

EF τιμή	Επίπεδο επιβάρυνσης
0.5-1.5	Καθόλου – χαμηλή
1.5-5	Μέτρια
5-20	Σημαντική
2-40	Πολύ υψηλή
>40	Υπερβολικά υψηλή

Τα αριθμητικά αποτελέσματα σχετίζονται με τα διαφορετικά επίπεδα ρύπανσης. Οι τιμές $0,5 \leq EF \leq 1,5$ υποδεικνύουν ότι η συγκέντρωση ιχνοστοιχείων προέρχεται εξ ολοκλήρου από φυσικές διεργασίες. Εντούτοις, τιμές πάνω από 1,5 υποδεικνύουν ότι ένα σημαντικό μέρος των στοιχείων προέρχεται από άλλες πηγές, σημειακής ή μη ρύπανσης (Zhang & Liuc, 2002).

▪ Βαθμός Επιβάρυνσης (Degree of Contamination- C_d)

Για να διευκολυνθεί ο έλεγχος της ρύπανσης, ο Hakanson (1980) πρότεινε την εφαρμογή ενός εργαλείου που ονομάστηκε «Βαθμός Επιβάρυνσης - C_d ». Ο συγκεκριμένος δείκτης αναφέρεται ως το άθροισμα του συντελεστή μόλυνσης κάθε δείγματος και μπορεί να προσδιορίσει το βαθμό συνολικής μόλυνσης των επιφανειακών στρωμάτων σε ένα πυρήνα ή σε ένα χώρο δειγματοληψίας. Ο Βαθμός Επιβάρυνσης εκφράζεται ως εξής:

$$C_d = \sum_{i=1}^{i=n} CF$$

Ο Hakanson (1980), επίσης, κατηγοριοποιεί το βαθμό επιβάρυνσης στα ιζήματα ως εξής:

Πίνακας 4. Χαρακτηρισμός ιζημάτων σύμφωνα με το Βαθμό επιβάρυνσης (C_d)

C_d τιμή	Επίπεδο επιβάρυνσης
$C_d < 6$	Χαμηλή
6-12	Μέτρια
12-24	Σημαντική
$C_d > 24$	Υψηλή

Ο δείκτης mC_d είναι ένας τροποποιημένος παράγοντας ρύπανσης, ο οποίος εισήχθη με στόχο τον προσδιορισμό του βαθμού μόλυνσης. Υπολογίζεται, αθροίζοντας όλους τους παράγοντες μόλυνσης, για ένα δεδομένο σύνολο ρυπασμένων ιζημάτων, και διαιρώντας τους με τον αριθμό των αναλυθέντων ρύπων (Sivakumar, 2016).

$$mC_d = \Sigma CF / n$$

όπου,

n: συνολικός αριθμός των δειγμάτων,

ΣCF : μέση συγκέντρωση του υπό εξέταση μετάλλου.

Ο Βαθμός Επιβάρυνσης (mC_d) κατηγοριοποιείται με βάση τον **Πίνακα 5**.

Πίνακας 5. Κατηγορίες ιζημάτων σύμφωνα με τον τροποποιημένο Βαθμό Επιβάρυνσης (mC_d)

Τιμή	Βαθμός επιβάρυνσης
$mC_d < 1.5$	Μηδενικός προς χαμηλός
$1.5 < mC_d < 2$	Χαμηλός
$2 < mC_d < 4$	Μέτριος
$4 < mC_d < 8$	Υψηλός
$8 < mC_d < 16$	Πολύ υψηλός
$16 < mC_d < 32$	Ακραία υψηλός
$mC_d \geq 32$	Ιδιαίτερα ακραία υψηλός

▪ **Κριτήρια Ποιότητας Ιζημάτων (SQGs: Sediment Quality Guidelines)**

Πριν από τη δεκαετία του 1980, το επίπεδο μόλυνσης των ιζημάτων προσδιορίζονταν συγκρίνοντας τη συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας, που εμπεριέχεται σε ένα δείγμα, με τις φυσικές τιμές υποβάθρου ή με μια τιμή αναφοράς (reference value). Παρατηρήθηκε, όμως, ότι αυτή η μέθοδος δεν λάμβανε υπόψιν της τον παράγοντα των βιολογικών οργανισμών και την επίδραση τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η ανάγκη για βελτίωση της δεδομένης μεθόδου οδήγησε στην δημιουργία των Κριτηρίων Ποιότητας Ιζημάτων (SQGs), με σκοπό την αξιολόγηση της ποιότητας των ιζημάτων με βάση την πιθανότητα να παρουσιάζουν αρνητικές επιπτώσεις στους οργανισμούς (τοξικότητα). Από τότε έχουν καθιερωθεί αρκετά Κριτήρια Ποιότητας Ιζημάτων, τα οποία συμπεριλαμβάνουν διαφορετικά κριτήρια, παράγοντες και προσεγγίσεις με σκοπό την ενσωμάτωση ποικίλων συνθηκών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά την μόλυνση των ιζημάτων.

Σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με τον Burton (2002), μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες που αφορούν:

1. Εμπειρικό συσχετισμό για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων μόλυνσης ενός ιζήματος, κυρίως για βαρέα μέταλλα και αρσενικό.
2. Θεωρητικό συσχετισμό για την περιγραφή της βιοδιαθεσιμότητας των ρύπων, κυρίως για οργανικές ενώσεις.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα Κριτήρια Ποιότητας είναι τα ERL/ERM (Effects Range Low / Effects Range Median) και τα TEL/PEL (Threshold Effects Level / Probable Effects Level). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα παραπάνω κριτήρια ανήκουν και τα δύο στην πρώτη κατηγορία. Οι τιμές ERL/ERM αναπτύχθηκαν από τους Long et al. (1995) και τον οργανισμό USEPA (1996) και δημιουργήθηκαν με μοναδικό παράγοντα τις συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκε ότι είχαν αρνητικές επιδράσεις στους οργανισμούς. Οι τιμές TEL/PEL δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας συγκεντρώσεις που σχετίζονται με παρατηρούμενες (από πειράματα τοξικότητας) ή μη επιδράσεις στους οργανισμούς. Πιο συγκεκριμένα, το TEL αποτελεί μια τιμή συγκέντρωσης ρύπανσης στο ίζημα με βάση την οποία παρατηρήθηκε τοξική αντίδραση σε βενθικούς οργανισμούς. Το PEL είναι η συγκέντρωση στην οποία ένα μεγάλο ποσοστό του βενθικού πληθυσμού εμφανίζει μια τοξική αντίδραση. Συνοψίζοντας πρέπει να αναφερθεί ότι συγκεντρώσεις κάτω από τα ERL και TEL όρια αποτελούν τιμές που σπάνια μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς ενώ οι

ERM και PEL τιμές αποτελούν συγκεντρώσεις σε μέταλλα πάνω από τα οποίες είναι ιδιαίτερα πιθανό τα ιζήματα να είναι τοξικά για τους οργανισμούς. Στις ενδιάμεσες τιμές τα ιζήματα παρουσιάζουν κάποια πιθανότητα να έχουν αρνητικές βιολογικές επιπτώσεις.

Στον **Πίνακα 6** δίνονται τα κριτήρια για 5 μέταλλα (Long et al., 1995; MacDonald et al., 1996). Στον **Πίνακα 7** δίνεται ο χαρακτηρισμός των ιζημάτων ως προς τη ρύπανση από μέταλλα (USEPA).

Πίνακας 6. Οι τιμές ERL/ERM και TEL/ PEL που αντιστοιχούν σε τιμές βαρέων μετάλλων πάνω από τις οποίες υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στους ζωντανούς θαλάσσιους οργανισμούς

BAPEA ΜΕΤΑΛΛΑ	ERL	ERM	TEL	PEL
Cr	81.0	370	52.3	160
Cu	34.0	270	18.7	108
Ni	20.9	51.6	15.9	42.8
Pb	46.7	218	30.2	112
Zn	150	410	124	271

Πίνακας 7. Χαρακτηρισμός των ιζημάτων ως προς τη ρύπανση με βάση συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (USEPA)

BAPEA ΜΕΤΑΛΛΑ	Μη ρυπασμένο	Μέτριας ρύπανσης	Υψηλής ρύπανσης
Cr	<25	25-75	>75
Cu	<25	25-50	>50
Ni	<20	20-50	>50
Pb	<40	40-60	>60
Zn	<90	90-200	>200

Τα θεωρητικά διαμορφωμένα Κριτήρια Ποιότητας Ιζημάτων χρησιμοποιούν κατανομή ισορροπίας (equilibrium partitioning - EqP) για να περιγράψουν τη βιοδιαθεσιμότητα των ρύπων, που εμπεριέχονται στα ιζήματα, στους βενθικούς οργανισμούς. Η ποσότητα των ρύπων που επιστρέφει στο υδάτινο περιβάλλον και είναι διαθέσιμη στους βενθονικούς οργανισμούς, μπορεί να εκτιμηθεί λαμβάνοντας υπόψιν δυο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας σχετίζεται με τη συγκέντρωση των ρύπων στο ιζήμα και ο δεύτερος με τις ιδιότητες του ιζήματος. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρεί ότι ολόκληρο το ποσό του μολυσματικού διαλύματος μπορεί να προσληφθεί από τους οργανισμούς. Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου βασίζεται στην ακρίβεια της μέτρησης των συγκεντρώσεων των ρύπων και στην ακριβή περιγραφή του, προς αξιολόγηση, υδάτινου συστήματος (Thompson & Wasserman, 2016).

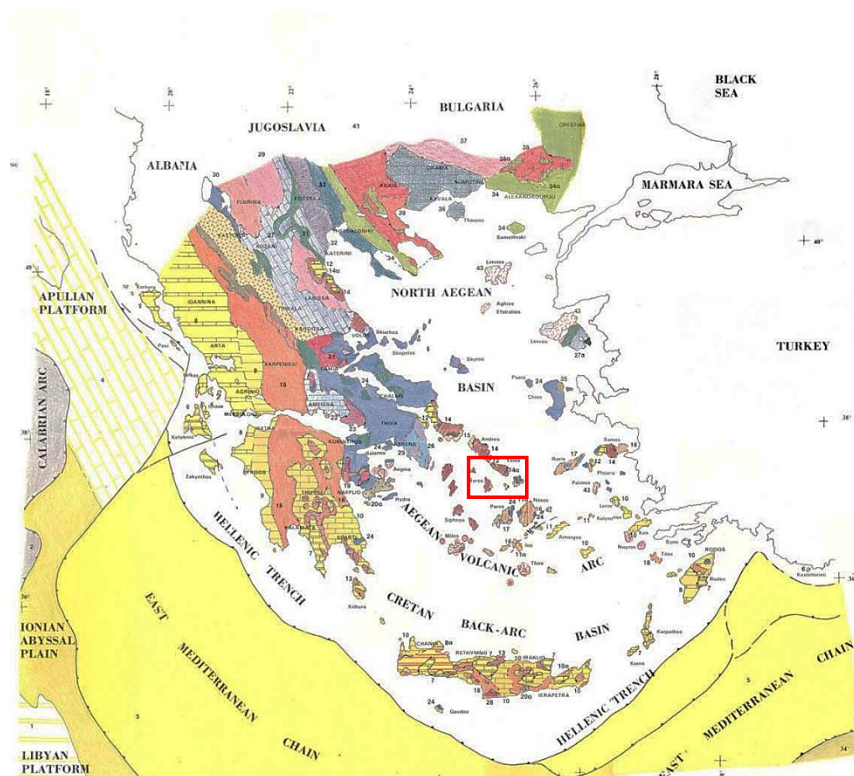
Τέλος, συγκρίνοντας τις δυο κατηγορίες, παρατηρούμε ότι αν και η πρώτη (Εμπειρική) είναι πιο απλή στη χρήση και μπορεί να προβλέψει τις τοξικές αντιδράσεις που μπορεί να προκληθούν στους οργανισμούς, είναι δύσκολο να διαχωρίσει τα αποτελέσματα σε περιπτώσεις που συνυπάρχουν πολλές μολυσματικές ουσίες. Αντίθετα, η δεύτερη κατηγορία κριτηρίων (Θεωρητική) μπορεί να προβλέψει τη βιοδιαθεσιμότητα αλλά είναι πιο δύσκολο να χρησιμοποιηθεί.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή μελέτης (**Χάρτης 1**) εντάσσεται στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή των Κυκλάδων και περιλαμβάνει τα νησιά Τήνος, Σύρος, Μύκονος, Δήλος, Νάξος και Πάρος. Ανήκει στο πλατό των Κυκλάδων και χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρά βάθη (<250μ.), διαφοροποιώντας την από τις υπόλοιπες περιοχές του Αιγαίου. Πιο συγκεκριμένα, το πλατό των Κυκλάδων διαχωρίζει τη σχετικά ρηχότερη περιοχή του Κεντρικού Αιγαίου (400-800μ. βάθος) από τη βαθύτερη περιοχή του Νοτίου Αιγαίου (1500–2500μ. – Κρητικό πέλαγος) (Lykousis, 2002).

Οι Κυκλάδες εντάσσονται στην ενδιάμεση Τεκτονομεταμορφική ζώνη και χαρακτηρίζονται από τεκτονομεταμορφικά γεγονότα του Κάτω Καινοζωικού, με τελικό μαγματισμό–ηφαιστειότητα στο Άνω Καινοζωικό. Ταξινομώντας τους σχηματισμούς που απαντώνται στο χώρο μελέτης, διακρίνουμε τις ενότητες των Βορείων Κυκλάδων στα νησιά Σύρος και Τήνος και των Νοτίων Κυκλάδων στα νησιά Πάρος και Νάξος. Οι παραπάνω δύο ενότητες ανήκουν στις κυανοσχιστολιθικές ενότητες, έχοντας ως ενοποιητικά στοιχεία τη μεταμόρφωση και τον τεκτονισμό. Παρόλα αυτά, διαφοροποιούνται στη λιθοστρωματογραφία, στο είδος των μεταλλοφοριών και στον προσανατολισμό της τεκτονικής δομής και του τεκτονικού ιστού. Στα νησιά Μύκονος, Πάρος και Νάξος, εμφανίζεται, ως τεκτονικά ανώτερη ενότητα η Κυκλαδική, συμπεριλαμβάνοντας έτσι το σύνολο των μη μεταμορφωμένων αλπικών πετρωμάτων (Παπανικολάου, 2014).



Χάρτης 1. Η περιοχή μελέτης, όπως αποτυπώνεται στο γεωτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας, κατά Παπανικολάου (2015)

2.1.1 Τήνος

Η Τήνος ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των βορείων Κυκλάδων και βρίσκεται νοτιοανατολικά της Άνδρου και βορειοδυτικά της Μυκόνου. Τοποθετείται περίπου 130 km νοτιοανατολικά της Αθήνας και καταλαμβάνει μια έκταση 195 km², αποτελώντας έτσι το τέταρτο σε μέγεθος νησί των Κυκλάδων.

Στην Τήνο μπορούν να διακριθούν τέσσερις τεκτονικές ενότητες, οι οποίες, από την οροφή προς τη βάση, είναι οι εξής: (1) Ενότητα Ακρωτηρίου, (2) Ανώτερη Ενότητα, (3) Ενότητα Κυανοσχιστολίθων και (4) Ενότητα Βάσης.

Η **Ενότητα Ακρωτηρίου** παρατηρείται μόνο στο νότιο μέρος της Τήνου και αποτελείται από Τριαδικής ηλικίας γρανιτικά πετρώματα (αμφίβολοι, παραγνεύσιοι) που μεταμορφώθηκαν κατά το Ανώτερο Κρητιδικό (Soukis & Stockli, 2013). Η συγκεκριμένη ενότητα είναι επωθημένη πάνω στη σχετικά αυτόχθονη ενότητα των Βορείων Κυκλάδων και διαχωρίζεται από την, υποκείμενη, Ανώτερη Ενότητα με το ρήγμα αποκόλλησης της Βάρης (Ring et al., 2003).

Ως **Ανώτερη Ενότητα** θεωρούμε το μεταμορφωμένο κάλυμμα των οφιολίθων του Η2, αφού στο υπόλοιπο μέρος της Τήνου δεν διακρίνεται η ανώτερη τεκτονικά ενότητα, πιθανώς λόγω διάβρωσης (Bonneau et al., 1980). Το μεταμορφωμένο οφιολιθικό κάλυμμα είναι περιορισμένης έκθεσης και χαρακτηρίζεται από μια αλληλουχία σχηματισμών, περίπου 250μ., η οποία περιλαμβάνει σερπεντινίτες, μετα-γάββρους, φυλλίτες και αμφιβολίτες. Η ηλικία των οφιολίθων κυμαίνεται από το Ιουρασικό έως το Ανώτερο Κρητιδικό και έχει τεκμηριωθεί από την ηλικία των μετα-γάββρων, η οποία προσδιορίστηκε στα 80Ma (Bulle et al., 2010).

Η ενδιάμεση τεκτονική ενότητα, **Ενότητα Κυανοσχιστολίθων**, εμφανίζεται στο μεγαλύτερο μέρος της Τήνου και αποτελείται από μάρμαρα, μετα-τόφφους, μετα-ιζήματα και μετα-λάβες βασικής σύστασης (Paranikolaou, 1978). Ουσιαστικά, αναφερόμαστε στην ενότητα των Βορείων Κυκλάδων, η οποία χαρακτηρίζεται από μεταμορφωμένα κυανοσχιστολιθικά πετρώματα υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών (HP/LT). Στη συγκεκριμένη ενότητα, παρατηρούνται, επίσης, τρεις ορίζοντες μαρμάρων. Ο κατώτερος ορίζοντας ονομάζεται ορίζοντας Πανόρμου και το πάχος του ξεπερνά τα 200μ., ο ενδιάμεσος ορίζοντας ονομάζεται ορίζοντας Πύργου και ο ανώτερος, ορίζοντας Μαργλά. Το πάχος των δυο τελευταίων οριζόντων κυμαίνεται στα 170μ. (Melidonis, 1980).

Η κατώτερη ενότητα ή αλλιώς **Ενότητα Βάσης** εμφανίζεται στη βορειοδυτική πλευρά της Τήνου και αποτελείται από μάρμαρα και μεταπηλίτες (Avigad & Garfunkel, 1989).

Τέλος, το 4% της επιφάνειας του νησιού καταλαμβάνεται από λιμναίες, θαλάσσιες, χερσαίες και χειμάρριες αποθέσεις, οι οποίες διακρίνονται από κάτω προς τα πάνω σε τρία βασικά στρώματα: Στρώματα μαργαϊκού ασβεστολίθου, στρώματα ψαμμίτη και αλλουβιακές αποθέσεις.

2.1.2 Μύκονος – Δήλος – Ρήνεια

Η Μύκονος τοποθετείται στο κεντρικό Αιγαίο, στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Βρίσκεται νοτιοανατολικά της Τήνου και η συνολική της επιφάνεια αγγίζει τα 86,125 km². Μαζί με τη Δήλο και τη Ρήνεια αποτελούν ένα ενιαίο νησιωτικό σύμπλεγμα με συνολική έκταση 105,481 km² και μήκος ακτογραμμής 89 km.

Η Μύκονος και η Δήλος αποτελούνται κυρίως από μονζογρανίτη τύπου I, ο οποίος χρονολογείται στα 10 – 13 Ma, ηλικία μικρότερη από τον γρανίτη της Τήνου (14 Ma). Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Ν. Μύκονος – Ν. Ρηνεία (Αυδής, 2004), στη Μύκονο και στη Δήλο παρατηρούνται πλουτώνια πετρώματα (γρανίτες-γγρανοδιορίτες), ενώ σε σχέση με τα ορυκτά εμφανίζονται ως κύρια ο χαλαζίας, οι άστριοι, τα πλαγιόκλαστα, ο βιοτίτης και ο αμφίβολος και ως δευτερεύοντα ο ορθίτης και ο τιτανίτης. Χαρακτηριστικό, επίσης, ορυκτό της Μυκόνου είναι ο βαρύτης, ο οποίος εμφανίζεται σε φλέβες στο γρανίτη στο ανατολικό και βόρειο τμήμα του νησιού. Στη νήσο Ρήνεια, όπως και στη Μύκονο, εμφανίζονται μιγματιτικοί παραγνεύσιοι. Και τα τρία νησιά ανήκουν στην Κυανοσχιστολιθική Κυκλαδική Ζώνη. Πιο συγκεκριμένα, η **ενότητα Βάσης** χαρακτηρίζεται από μια ακολουθία δολομίτη-φυλλίτη-χαλαζίτη ηλικίας Ανώτερο Τριαδικό–Κατώτερο Κρητιδικό, η οποία καλύπτεται τεκτονικά από μια μετα-ηφαιστειογενή ακολουθία. Η συγκεκριμένη ακολουθία αποτελείται από οφιόλιθους ηλικίας Ανώτερου Κρητιδικού.

2.1.3 Σύρος

Η Σύρος ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων και τοποθετείται στο κεντρικό τους σημείο. Αποτελεί το μεγαλύτερο, σε πληθυσμό, νησί των Κυκλάδων και έχει έκταση 84 km².

Το μεγαλύτερο μέρος της Σύρου αποτελείται από πετρώματα της Κυκλαδικής Κυανοσχιστολιθικής Ενότητας (Cycladic Blueschist Unit). Μπορούν, όμως, να διακριθούν τέσσερις τεκτονικές ενότητες, οι οποίες, από την οροφή προς τη βάση, είναι οι εξής: (1) Ενότητα Κάμπου, (2) Ενότητα Καστρί, (3) Ενότητα Πύργος και (4) Ενότητα Κόμητο – Βάρης.

Η **Ενότητα Κάμπου** αποτελείται από μετα-γάββρους, μετα-βασάλτες, μετα-ηφαιστειακά και σερπεντινιακούς σχιστόλιθους. Η παραπάνω ακολουθία πυριγενών πετρωμάτων παρεμβάλλεται από μάρμαρα στη Χερσόνησο Παλος στο βόρειο μέρος της Σύρου. Η εκλογιτική μεταμόρφωση έχει καταγραφεί με ζεύγη τιμών πίεσης/θερμοκρασίας 19–24 kbar/500–580°C (Gitahi, 2004; Holley et al., 2004; Trotet et al., 2001b), ενώ με βάση τη χρονολόγηση γρανάτη, η ηλικία της έχει υπολογιστεί στα 52Ma (Lagos et al., 2007).

Οι **Ενότητες Καστρί και Πύργος** χαρακτηρίζονται από ηφαιστειο – ιζηματογενή πετρώματα και μάρμαρα. Βασικό διαφοροποιητικό στοιχείο των δύο ενότητων αποτελεί η ύπαρξη δολομιτικών μαρμάρων στην ενότητα Πύργος. Σχετικά με την ηλικία τους, η ενότητα Πύργος εμφανίζει ηλικία απόθεσης των μαρμάρων 330–350Ma, λόγω της ύπαρξης μικροαπολιθωμάτων (Foraminiferous Forschiidae), ενώ η χρονολόγηση μετατόφων στην οροφή της ενότητας Καστρί μας δίνει την ηλικία των 243 ± 2 Ma. Τα πετρώματα και των δύο ενότητων έχουν μεταμορφωθεί κατά την κυανοσχιστολιθική μεταμόρφωση 8-17 kbar/350–500°C, ενώ σε αντίθεση με την ενότητα Καστρί, στην ενότητα Πύργος είναι εμφανής η ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση (Trotet et al., 2001b).

Στη βάση της κολώνας τοποθετούνται οι ορθογνεύσιοι της **Βάρης**, στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, και του **Κομήτου** στο νοτιοδυτικό τμήμα. Το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προήρθε ο ορθογνεύσιος της Βάρης, είναι ένας πλουτωνικός γρανίτης, ο οποίος χρονολογείται στα 240–243 Ma (Keay, 1998; Tomaschek et al., 2003). Η ηλικία του γνευσίου του Κομήτου είναι 300 Ma με βάση χρονολόγηση ζirkονίων (Tomaschek et al., 2008). Σύμφωνα με το χάρτη, φύλλο Ν. Σύρος, που δημοσιεύθηκε από το ΙΓΜΕ (Dixon, 1968; Hecht, 1977) παρατηρείται συχνά στους γνεύσιους η παραγένεση αλβίτη – χαλαζία – φεγγίτη – κλινοζωισίτη -γγρανάτη – καλιούχου άστριου.

Στη Σύρο παρατηρείται η Άνω Ηωκαινική κυανοσχιστολιθική μεταμόρφωση με ζεύγη τιμών πίεσης/θερμοκρασίας 12 kbar/550°C και η ανάδρομη Μειοκαινική πρασινοσχιστολιθική φάση με 4-9 Kbars/400-500°C.

2.1.4 Πάρος

Η Πάρος τοποθετείται στο κεντρικό Αιγαίο και ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Με βάση την έκταση που καταλαμβάνει (196,308 Km²), η Πάρος αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων.

Σχετικά με τη γεωλογία, η Πάρος, σύμφωνα με τον Παπανικολάου (1977; 1978; 1979; 1982) και τον χάρτη (φύλλο N. Πάρος) που έχει δημοσιευθεί από το ΙΓΜΕ, δομείται από τέσσερις ενότητες, οι οποίες από την οροφή προς τη βάση είναι οι εξής: (1) Ενότητα Μάρμαρα, (2) Ενότητα Δρυού, (3) Ενότητα Μαραθίου και (4) Υπόβαθρο Νοτίων Κυκλάδων.

Τεκτονικά ανώτερη είναι η **ενότητα Μάρμαρα** (Κυκλαδική ενότητα), η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των αμεταμόρφωτων αλπικών πετρωμάτων, με χρονολογημένο το άνω Κρητιδικό και το κάτω Μειόκαινο.

Στη Νότια Πάρο εμφανίζεται η **ενότητα Δρυού** με χρονολογημένο το Πέρμιο με *Gymnocodium* και *Stafella* (Papanikolaou, 1980). Αποτελείται από βασικά εκρηξιγενή πετρώματα και φυλλίτες, ενώ είναι μεταμορφωμένη σε χαμηλή πρασινοσχιστολιθική φάση με σερικήτη, χλωρίτη, αλβίτη.

Η **ενότητα Μαραθίου** αποτελεί τοπική ονομασία της ενότητας Νοτίων Κυκλάδων, στο νησί της Πάρου. Στη συγκεκριμένη ενότητα επικρατούν νηριτικά μάρμαρα σε μεγάλο πάχος με σμύριδα (μετα-βωξίτες). Στη βάση της κολόνας (Πέρμιο – Τριαδικό) εμφανίζονται μαρμαρυγιακοί και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι με ενδιαστρώσεις από πελαγικά μάρμαρα με *silex*. Στην ουσία αποτελεί ένα μεταμορφωμένο ηφαιστειο-ιζηματογενές σύμπλεγμα το οποίο τοποθετείται κάτω από την ανθρακική πλατφόρμα. Στην οροφή της κολόνας παρατηρούνται μεταμορφωμένοι κλαστικοί σχηματισμοί μικρού πάχους, οποίοι μπορούν να χαρακτηριστούν συνολικά ως μετα-φλύσχης (Ηώκαινο). Η ενότητα Μαραθίου χαρακτηρίζεται από HT/LP μεταμόρφωση και διεισδύσεις γρανιτών.

Το **υπόβαθρο των Νοτίων Κυκλάδων** θεωρείται η τεκτονικά κατώτερη ενότητα της Πάρου και περιλαμβάνει γρανίτες και ορθογνεύσιους προ-Αλπικής ηλικίας. Ακόμα, πρέπει να επισημανθεί η ύπαρξη νεότερων γρανιτικών διεισδύσεων του Μειόκαινου, από το πρόσφατο αλπικό ηφαιστειακό τόξο, μέσα στους Παλαιοζωικούς γρανιτογνεύσιους.

Στην Πάρο εμφανίζονται, επίσης, οι οφιόλιθοι του H4, πάνω από το παλαιοαλπικό τμήμα της Κυκλαδικής ενότητας και στη συνέχεια παρατηρείται η επίκλυση, η οποία στο συγκεκριμένο νησί εντοπίζεται στο Βαρρέμιο. Πάνω από τα Κρητιδικά στρώματα της Κυκλαδικής ενότητας εμφανίζεται η αλλόχθονη μόλασσα του Κατώτερου Μειοκαίνου.

2.1.5 Νάξος

Η Νάξος, όπως και τα υπόλοιπα προαναφερθέντα νησιά, ανήκει στις Κυκλάδες και τοποθετείται περίπου στο κεντρικό τους σημείο. Βρίσκεται νότια της Μυκόνου και ανατολικά της Πάρου, ενώ αποτελεί το μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων έχοντας έκταση 429,79 Km².

Η Νάξος δομείται γεωλογικά από τρεις ενότητες, οι οποίες, από την οροφή προς τη βάση, είναι οι εξής: (1) Κυκλαδική Ενότητα, (2) Ενότητα Νοτίων Κυκλάδων και (3) Υπόβαθρο Νοτίων Κυκλάδων.

Η **Κυκλαδική ενότητα** χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μη μεταμορφωμένων αλπικών πετρωμάτων και συμπεριλαμβάνει στην οροφή της την αλλόχθονη τεκτονισμένη μόλασσα ηλικίας Κατώτερου Μειόκαινου. Στη Νάξο έχει χρονολογηθεί το Πέρμιο (Marks & Schuiling, 1965) και το Κάτω Μειόκαινο (Negris & Boussac, 1914).

Στη συνέχεια εμφανίζεται η **ενότητα των Νοτίων Κυκλάδων**, η οποία έχει παρόμοια λιθοστρωματογραφική διάρθρωση με το νησί της Πάρου. Στη Νάξο, όμως, είναι γνωστά τα τριαδικά μάρμαρα (Negris, 1915; Durr & Flugel, 1979), τα κοιτάσματα σμύριδας (Papavasiliou, 1914; Παπασταματίου, 1951) και οι ισοκλινείς πτυχές των μαρμάρων – σχιστολίθων σε διεύθυνση Β-Ν (Bonneau et al., 1978). Σχετικά με τις μεταμορφικές φάσεις, παρατηρείται μια διαδοχή από την Άνω-Ηωκαινική κυανοσχιστολιθική φάση, με πίεση άνω των 10 Kbars και θερμοκρασία 450-480 °C, σε ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική, με πίεση 5-7 Kbars και θερμοκρασία 500-700 °C. Ακόμα, πρέπει να επισημανθεί το φαινόμενο της διείδυσης γρανιτών και η χαρακτηριστική περίπτωση του μειγματίτη της Νάξου, οι οποίες χρονολογούνται με ραδιοχρονολογήσεις ως Μειοκαινικές (Altherr et al., 1982; Wijbrans & McDougall, 1988). Τέλος, σύμφωνα με το φύλλο Ν. Νάξου που δημοσιεύθηκε από το ΙΓΜΕ (Jansen, 1968, 1969, 1970) η Δυτική Νάξος χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη γρανοδιοριτών ηλικίας Ανώτερου Μειοκαινού, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από τα εξής ορυκτά: χαλαζίας, καλιούχος άστριος, πλαγιόκλαστο, βιοτίτης, κερροσίλβη, κλινοπυρόξενος, τιτανίτης.

Ως κατώτερη ενότητα θεωρείται το **υπόβαθρο των Νοτίων Κυκλάδων**, το οποίο χαρακτηρίζεται κυρίως από μιγματίτες και λευκογενεύσιους (Reischmann, 1998). Επίσης, στη Νάξο έχει προσδιοριστεί η ηλικία των σχιστοποιημένων γρανιτών, επιβεβαιώνοντας έτσι την Παλαιοζωική ηλικία τόσο της μεταμόρφωσης όσο και του όξινου μαγματισμού.

2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι Κυκλάδες αποτελούν ένα νησιωτικό σύμπλεγμα, το οποίο χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από πετρώδη και άδεντρα εδάφη. Τα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων είναι ορεινά με χαμηλά, σχετικά, ύψη οροσειρών. Στην περιοχή μελέτης που εξετάζεται στη δεδομένη εργασία, το ψηλότερο όρος παρατηρείται στη Νάξο. Ο Δρυός έχει υψόμετρο 1.004μ. και αποτελεί και το ψηλότερο όρος των Κυκλάδων. Στη συνέχεια ακολουθεί το νησί της Πάρου με τον Προφήτη Ηλία στα 771μ. και το όρος Τσικνιάς στην Τήνο με υψόμετρο 713μ. Στη Σύρο και στη Μύκονο παρατηρούνται ακόμα χαμηλότερα ύψη, στα όρη Πύργος και Προφήτης Ηλίας ο Βορνιώτης, με υψόμετρο 442μ. και 372μ. αντίστοιχα.

Το ύψος των ετήσιων βροχοπτώσεων στις Κυκλάδες, όπως αναλύεται στο κεφάλαιο 2.4., είναι αρκετά χαμηλό, γεγονός που δεν ευνοεί ούτε τον σχηματισμό υπόγειων υδροφόρων οριζόντων ούτε την εμφάνιση επιφανειακών υδάτων. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί, ότι η παραπάνω κατάσταση είναι αλληλένδετη με τη γεωλογική δομή και την πετρογραφική σύσταση του εδάφους των νησιών, όπως αυτή εξετάσθηκε στο κεφάλαιο 2.1.

Επομένως, σε ορισμένα νησιά, όπως η Πάρος και η Νάξος, η παρουσία εκτεταμένων ασβεστολιθικών πετρωμάτων (μαρμάρων) ευνοεί τον σχηματισμό καρστικών υδροφόρων οριζόντων και την ύπαρξη πηγών. Αντίθετα, άλλα νησιά παρουσιάζονται σχεδόν τελείως άνυδρα, λόγω της εκτεταμένης ύπαρξης στεγανών σχιστολιθικών πετρωμάτων. Στα επόμενα υποκεφάλαια θα αναλυθούν ξεχωριστά, για κάθε νησί της περιοχής μελέτης, τα μορφολογικά και υδρογραφικά στοιχεία.

2.2.1 Τήνος

Η Τήνος έχει έκταση 195 km² και το σχήμα της είναι επιμήκες τριγωνικό με τη μεγαλύτερη πλευρά του νησιού να έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η υψηλότερη κορυφή του νησιού, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι το όρος Τσικνιάς, ενώ ακολουθούν το Μεσοβούνι 647μ. και το όρος Πράσα 614μ. Το νησί της Τήνου χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό, ενώ τα πεδινά τμήματα του σχηματίζονται κυρίως στις εκβολές των κοιλάδων. Βασιζόμενοι στην εργασία του Λειβαδίτη, 2001, το παραπάνω δικαιολογείται από το γεγονός ότι η επιφάνεια που βρίσκεται μεταξύ των ισοϋψών 100 και 400 αποτελεί το 61% του νησιού και μόνο κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό (29%) είναι πεδινή.

Η μορφολογική εικόνα της Τήνου έχει διαμορφωθεί επηρεαζόμενη από την εξάπλωση των λιθολογικών σχηματισμών, την τεκτονική και το κλίμα που επικρατεί στο νησί. Χαρακτηριστικά του κλίματος, όπως η υψηλή υγρασία και οι σφοδροί άνεμοι, προκαλούν έντονη χημική εξαλλοίωση και κυψελώδη αποσάθρωση στους σχιστόλιθους και στους γρανίτες (Θεοχαράτος, 1978). Βασικό χαρακτηριστικό του νησιού, αποτελεί η έντονη ασυμμετρία που παρατηρείται ανάμεσα στο ΝΔ και το ΒΑ τμήμα εκατέρωθεν του κύριου υδροκρίτη που εμφανίζεται κατά μήκος της Τήνου και συμπίπτει με τον άξονα των πτυχώσεων (Παπανικολάου, 1978). Κατά τον Λειβαδίτη, 2001, ο υδροκρίτης είναι ασύμμετρα τοποθετημένος, πλησιέστερα στις νοτιοδυτικές ακτές, και διαχωρίζει δύο περιοχές με διαφορετικές μορφές ανάγλυφου. Η βορειοδυτική περιοχή χαρακτηρίζεται ως ομαλή λοφώδης ενώ η νοτιοδυτική ως ορεινή με έντονο ανάγλυφο, υψηλές κορυφές και μεγάλες κλίσεις κλιτύων. Η ασυμμετρία αυτή σχετίζεται άμεσα με τον προσανατολισμό των τεκτονικών ασυνεχειών και πτυχώσεων των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, όπως επίσης και με τις μικρής κλίσης ρηξιγενείς ζώνες που χαρακτηρίζουν το νησί (Αναγνώστου, 2009).

Το υδρογραφικό δίκτυο της Τήνου αποτελείται από 123 ποταμούς-χείμαρρους περιοδικής ροής, ενώ ο κύριος υδροκρίτης έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και χωρίζει το νησί σε βόρειο και νότιο τμήμα. Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο τμήματα δεν περιορίζονται μόνο στο μορφολογικό κομμάτι, όπως αυτό αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο, αλλά επεκτείνονται και στο υδρολογικό. Στο βόρειο κομμάτι παρατηρούνται 11 λεκάνες απορροής και δίκτυα σαφώς μεγαλύτερης τάξης από αυτά του νότιου. Επίσης, τα δίκτυα στο βόρειο μέρος έχουν σχεδόν κυκλικό σχήμα και δημιουργούν πολλούς κλάδους αλλά μικρού μήκους. Η παραπάνω εικόνα, φαίνεται να αλλάζει τελείως στο νότιο τμήμα, όπου εμφανίζονται 9 λεκάνες απορροής και η μεγαλύτερη τάξη δικτύου που παρατηρείται είναι η 3η. Επιπλέον, τα δίκτυα είναι επιμήκη και οι κλάδοι λιγότεροι αλλά μεγαλύτερου μήκους. Αριθμώντας τους κλάδους των ποταμών κατά Α. Strahler προκύπτουν τα εξής: 409 κλάδοι 1ης τάξης, 93 κλάδοι 2ης τάξης, 19 κλάδοι 3ης τάξης, 3 κλάδοι 4ης τάξης και 1 κλάδος 5ης τάξης. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα τρία μεγαλύτερα υδρογραφικά δίκτυα είναι, κατά φθίνουσα σειρά, της Κολυμπήθρας, του Πανόρμου και της Λιβάδας και τροφοδοτούνται από πηγές, έχοντας ως αποτέλεσμα συνεχόμενη ροή σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

2.2.2 Μύκονος

Το νησί της Μυκόνου γεωμορφολογικά χαρακτηρίζεται ως λοφώδης ημιορεινό με υψόμετρα που κυμαίνονται μεταξύ 27μ.-50μ περίπου, ενώ κοντά στις ακτές δεν υπάρχουν μεγάλες επίπεδες επιφάνειες. Παρόλη τη χαμηλή υψομετρική εικόνα που παρατηρείται στο νησί, η επιφάνεια του παρουσιάζει και ψηλότερες κορυφές, όπως αυτή του Προφήτη Ηλία του Βορνιώτη στα 372μ. και του Προφήτη Ηλία του Ανωμερίτη στα 341μ.

Η διεύθυνση των κλίσεων σε γενικές γραμμές είναι προς τα δυτικά-νοτιοδυτικά (θάλασσα) και η κλίση του φυσικού εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 1:2 (κατ'οριζ) έως 1:5 (κατ'οριζ). Με βάση τον Σπυρόπουλο, 2010, στη Μύκονο παρατηρούνται 2 ζώνες μικρών κλίσεων. Η πρώτη ζώνη τοποθετείται ανατολικά της Χώρας και το μεγαλύτερο μέρος της επιφανειακής απορροής της ρέει προς την περιοχή της Μαραθιάς. Η δεύτερη περιοχή μικρών κλίσεων βρίσκεται στην περιοχή της Άνω Μεράς, περιβάλλεται από λόφους και η απορροή της γίνεται από αρκετά ρέματα μικρού μήκους και χωρίς ιδιαίτερο βάθος.

Η υδροφορία του νησιού προέρχεται από την κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης και οι υδροφόροι που σχηματίζονται είναι περιορισμένης δυνατότητας και υπό πίεση. Επομένως, το υδρογραφικό δίκτυο της Μυκόνου είναι μη μόνιμης ροής με διεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά και καθορίζεται από ρήγματα και διακλάσεις. Επίσης, σύμφωνα με την εργασία «Μορφολογική ανάλυση παράκτιας ζώνης με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών—Εφαρμογή: Ν. Μύκονος», η Μύκονος αποτελείται από 106 λεκάνες απορροής, όπου οι 41 από αυτές δεν περιέχουν υδρογραφικά δίκτυα ενώ οι υπόλοιπες 65 περικλείουν τα αντίστοιχα υδρογραφικά δίκτυα και αντανakλούν τις κλιματικές, τις λιθολογικές και τεκτονικές ιδιαιτερότητες της περιοχής που αποστραγγίζουν. Η συνολική έκταση των λεκανών απορροής είναι 86,32km², ενώ παρατηρούνται υδροκρίτες μέχρι 6ης τάξης. Οι κεντρικές κοίτες του υδρογραφικού δικτύου έχουν διεύθυνση ροής προς όλες τις κατευθύνσεις και στη συνέχεια εκβάλλουν στα νερά του Αιγαίου πελάγους. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το δενδροειδούς μορφής υδρογραφικό δίκτυο οφείλει το σχηματισμό του όχι μόνο στη μικρή τροφοδοσία νερού από τις λίγες βροχοπτώσεις αλλά και στην παρουσία εναλλαγών στρωμάτων από γρανίτες, γρανοδιორίτες, και μεταμορφωμένα μαγματικά πετρώματα ισχυρής συνοχής, τα οποία εμφανίζουν μικρή υδροπερατότητα. Το

παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μικρής επιφανειακής απορροής και τη δημιουργία κλάδων που συνδέονται μεταξύ τους με ακανόνιστη διακλάδωση.

2.2.3 Σύρος

Το ανάγλυφο της Σύρου χαρακτηρίζεται γεωμορφολογικά ως λοφώδες – ημιορεινό με μικρές κοιλάδες και μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικές περιοχές. Το βόρειο τμήμα του νησιού είναι πιο ορεινό και άγονο σε σύγκριση με το νότιο, με απότομες πλαγιές και στενές ρεματιές. Επίσης, το βόρειο μέρος χαρακτηρίζει από έντονο ανάγλυφο, γεγονός που δικαιολογείται από την εμφάνιση, σε αυτό, των υψηλότερων κορυφών της Σύρου (Πύργος, 442 μ. και Σύριγγα, 434 μ.). Αντίθετα, το νότιο τμήμα, εμφανίζει χαμηλότερο ανάγλυφο με εύφορες μικρές κοιλάδες και με υψηλότερη κορυφή αυτή του Άξαχα στα 319μ. Συνοψίζοντας, η Σύρος κυριαρχείται από μεγάλες μορφολογικές κλίσεις με μικρή ανάπτυξη ορεινών όγκων σε γενική διεύθυνση βορράς – νότος, εικόνα που αλλάζει στο νότιο τμήμα, αφού οι μορφολογικές κλίσεις αποκτούν σαφώς μικρότερες τιμές (Σκουλάτος, 2016).

Το υδρογραφικό δίκτυο στο νησί της Σύρου παρουσιάζει σχετικά μικρή ανάπτυξη στο βόρειο κομμάτι, ενώ στο νότιο η ανάπτυξη είναι πιο εκτεταμένη λόγω ευνοϊκότερων συνθηκών. Με βάση τη Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κυκλάδων που πραγματοποιήθηκε το 2001, η Σύρος χωρίστηκε σε 82 υδρολογικές λεκάνες. Η λεκάνη του Γαλησσά θεωρείται η μεγαλύτερη έχοντας έκταση 10,463 km², ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι έχει διατηρηθεί ανεμπόδιση η φυσική απορροή των υδάτων στο κεντρικό της δίκτυο που καταλήγει στη θάλασσα.

2.2.4 Πάρος

Το νησί της Πάρου έχει έκταση 195km² και το σχήμα του είναι ελλειψοειδές, μειούμενο προς το Βορρά. Ο μέγιστος άξονας του νησιού έχει διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και ταυτίζεται με τον άξονα της βασικής οριογραμμής του. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το μέγιστο υψόμετρο του νησιού είναι στα 771μ. και συμπίπτει με το όρος του Προφήτη Ηλία. Γεωμορφολογικά, το έδαφος της Πάρου χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό και κατά κύριο λόγο πετρώδες. Εξάιρεση αποτελεί μέρος των περιοχών που βρίσκονται στα ανατολικά του νησιού, στις κοινότητες Μάρπησσας και Αρχίλοχου (Γαβαλάς, 2015; Γαϊτάνης, 2007).

Από υδρολογικής άποψης, η Πάρος παρουσιάζει ένα πολυσχιδές υδρογραφικό δίκτυο αποτελούμενο από ρεματιές, χειμάρρους και ρυάκια, τα οποία, ως επί το πλείστον, διαθέτουν μήκος της τάξης των μερικών χιλιομέτρων. Το υδρογραφικό δίκτυο έχει φορά προς το νότο με τελικό αποδέκτη τη θάλασσα του Αιγαίου. Η ροή, άμεσα σχετιζόμενη με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στο νησί, εμφανίζεται κυρίως την χειμερινή – υγρή περίοδο. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι παρατηρείται έντονη διαφοροποίηση ανάμεσα στις βορειοανατολικές και δυτικές περιοχές, οι οποίες θεωρούνται σαφώς φτωχότερες υδρολογικά. Τέλος, βασιζόμενοι σε στοιχεία του Δήμου Πάρου, το νησί διαθέτει 21 υδρολογικές λεκάνες με συνολική έκταση 139,28km².

2.2.5 Νάξος

Η Νάξος, όντας το μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων, έχει συνολική έκταση 442km². Ο μεγαλύτερος άξονας της έχει μήκος 33km και ταυτίζεται με τη διεύθυνση Β-Ν, ενώ το μέγιστο πλάτος της από Ανατολικά προς Δυτικά είναι 24km (Galanos, 2001). Επίσης, στο νησί της Νάξου εμφανίζονται τα μεγαλύτερα υψόμετρα από την περιοχή μελέτης, με το μεγαλύτερο να ταυτίζεται με το όρος Ζεϋς στα 1004μ. Στη συνέχεια ακολουθούν οι ορεινοί όγκοι Κόρωνος με μέγιστο υψόμετρο στα 998μ. και Φανάρι στα 888μ. (Πολέμης, 2010).

Το νησί της Νάξου μπορεί να χαρακτηριστεί ως ορεινό – ημιορεινό, ενώ στα βασικά χαρακτηριστικά, που συνθέτουν τη μορφολογία, της ανήκουν οι πολυσχιδείς χαραδρώσεις και το έντονα πολύμορφο και επικλινές έδαφος της. Με βάση τα φυσικογεωγραφικά της χαρακτηριστικά μπορεί να χωριστεί σε 3 μεγάλα τμήματα, το καθένα από τα οποία διαθέτει τα δικά του ιδιαίτερα γνωρίσματα. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στο ορεινό κομμάτι της Νάξου, το οποίο παρουσιάζει βαθιές χαραδρώσεις και καταλαμβάνει το Βορειοδυτικό, Βόρειο και Ανατολικό τμήμα του νησιού. Στη συνέχεια, θα πρέπει να αναφερθεί η ύπαρξη κλειστών κοιλάδων, μεταξύ των ορεινών όγκων, που εντοπίζονται στο εσωτερικό της Νάξου (λεκανοπέδιο Τραγαίας). Τέλος, η Τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει αλλουβιακές κοιλάδες με υψόμετρο κάτω από 20 μ., που εμφανίζονται κατά μήκος της Δυτικής ακτής και καταλήγουν ομαλά προς τη θάλασσα. Επομένως, καταλήγουμε στο γεγονός ότι η συνολική έκταση της Νάξου χαρακτηρίζεται από ένα ιδιαίτερο ανάγλυφο, το 30% του οποίου παρουσιάζεται ως ήπιο με μικρές κλίσεις και το υπόλοιπο 70% εμφανίζει κλίσεις από 10% έως 30%, ενώ, διάσπαρτα, κυρίως στις βορειοανατολικές περιοχές, οι κλίσεις ξεπερνούν το 30% (Μυλωνάς, 2012).

Το υδρολογικό δίκτυο στο νησί της Νάξου περιλαμβάνει μια πληθώρα χειμάρρων και πηγών. Οι χείμαρροι που έχουν καταγραφεί, είναι συνολικά 21 ενώ πρέπει να αναφερθεί και η ύπαρξη ενός ποταμού στην περιοχή του Λυώνα. Σχετικά με τους χείμαρρους αναφέρεται έντονη λειτουργία μετά τις ισχυρές βροχοπτώσεις των χειμερινών μηνών ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες περιορίζονται. Τέλος, με βάση τον Πολέμη, 2010, οι δέκα σημαντικότεροι χείμαρροι στη Νάξο θεωρούνται οι εξής: ο χείμαρρος Πλατύς, ο χείμαρρος του Κυνήδαρου, ο χείμαρρος της περιοχής Δαμαριώνα – Φιλοτίου και Σαγκρίου, ο χείμαρρος της περιοχής Φιλοτίου, ο χείμαρρος της περιοχής Σκαδού – Κορωνίδας και Μέσης, ο χείμαρρος της περιοχής Δανακού – Απειράνθου, ο χείμαρρος Κακόριακας, το ρέμα Χειμάρρου, ο χείμαρρος της περιοχής Κόρωνου και Σκαδού και ο χείμαρρος Λαγγάδια –Γέρακα.

2.3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΙ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.3.1 Κλίμα

Οι Κυκλάδες ανήκουν στην κλιματική ζώνη Α, η οποία χαρακτηρίζεται από κλιματολογικές συνθήκες που προσεγγίζουν το θαλάσσιο μεσογειακό κλίμα. Σε γενικές γραμμές, το παραπάνω μεταφράζεται σε υγρό κλίμα με ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια. Το Ετήσιο Θερμομετρικό Εύρος (ΕΘΕ, διαφορά μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου και του ψυχρότερου μήνα του έτους) αναφέρεται ως μέγιστο στην Άνδρο (15,42°C) και ως ελάχιστο στη Νάξο (12,80°C). Αντίστοιχα προκύπτει πως ο Δείκτης Ηπειρωτικότητας Κ ($K = [1,7(ΕΘΕ) / \eta\mu(\phi+10)] - 14$, όπου ϕ το γεωγραφικό πλάτος) είναι για την μεν Άνδρο 26,223 και για την Νάξο 19,951. Η μεν ψυχρότητα των χειμώνων επηρεάζεται κυρίως από την επίδραση των αντικυκλώνων της Ευρώπης και Δ. Ρωσίας, ενώ το καλοκαίρι οι μέγιστες θερμοκρασίες ελαττώνονται σημαντικά εξαιτίας των Ετησίων (μελτέμια) (Πολέμης, 2010).

Βασικό στοιχείο του κλίματος των Κυκλάδων αποτελεί η πολύ υψηλή υγρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με τις μέγιστες μέσες ετήσιες τιμές να εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα των Κυκλάδων (Πάρος, Νάξος, Ίος, Φολέγανδρος και Σίκινος). Ελάττωση της υγρασίας παρατηρείτε εκατέρωθεν του κεντρικού τμήματος, με τη χαμηλότερη μέση τιμή στις δυτικές Κυκλάδες (Κέα, Κύθνος και Σίφνος) (Πολέμης, 2010).

Είναι γνωστό ότι οι Κυκλάδες αποτελούν μια από τις ξηρότερες περιοχές της Ελλάδας, παρά την επίδραση της θάλασσας. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα υστερούν συγκριτικά απ' όλες τις υπόλοιπες νησιωτικές περιφέρειες της χώρας, τόσο του Ιονίου, όσο και του Αν. Αιγαίου. Στην περιοχή του κυκλαδικού συγκροτήματος τα ετήσια ύψη βροχής, αλλά και τα επιμέρους της ψυχρής περιόδου, εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές τους σε ορισμένα νησιά των ΝΑ Κυκλάδων και αυξάνουν κυκλικά γύρω από την περιοχή αυτή, ενώ για την ξηρή περίοδο η βροχή είναι σχεδόν παντού περιορισμένη και αυξάνει βαθμιαία από ΝΑ προς ΒΔ. Τα μικρά αυτά ύψη βροχής οφείλονται σε δυναμικούς, γεωγραφικούς και τοπογραφικούς παράγοντες, καθώς οι οροσειρές της Πελοποννήσου και της Κρήτης εμποδίζουν τους βροχοφόρους ανέμους να φτάσουν στα περισσότερα από τα νησιά των Κυκλάδων. Η χιονόπτωση και οι παγετοί θεωρούνται σπάνια φαινόμενα στις Κυκλάδες, με εξαίρεση τις ορεινές περιοχές της Άνδρου και λιγότερο της Νάξου, όπου σε υψόμετρα μεγαλύτερα από 600 m έχουμε περιστατικά χιονόπτωσης και παγετών σχεδόν κάθε χειμώνα (Πολέμης, 2010).

Θα πρέπει να αναφερθεί, επίσης, ότι οι Κυκλάδες χαρακτηρίζονται από πολύ δυνατούς ανέμους, καταγράφοντας περιπτώσεις όπου οι άνεμοι φθάνουν τα όρια της θύελλας. Γενικά επικρατούν οι ΒΑ-ΒΔ άνεμοι, ενώ ακολουθούν οι νότιοι και ΝΔ. Το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο οι βόρειοι άνεμοι εναλλάσσονται με τους νότιους. Κατά τη θερμή εποχή η καιρική κατάσταση είναι ομοιόμορφη και επικρατούν τα γνωστά μελτέμια (οι ετησίαι της αρχαιότητας), τα οποία είναι διεύθυνσης ΒΑ -ΒΔ, ανάλογα με τις επικρατούσες ισοβαρικές καταστάσεις, τη γεωγραφική θέση κάθε νησιού και τη γεωμορφολογία του. Σε ορισμένα νησιά, ιδίως στα μεγαλύτερα (Άνδρος, Τήνος, Νάξος κ.ά.), εμφανίζονται κατεβατοί άνεμοι μεγάλης σφοδρότητας, που προκαλούν θαλασσοταραχή (λευκές θύελλες) κοντά στις ακτές, ενώ λίγα χιλιόμετρα μακρύτερα επικρατούν άνεμοι ήπιας έντασης.

Στα επόμενα υποκεφάλαια αναλύεται το κλίμα κάθε νησιού της περιοχής μελέτης ξεχωριστά. Τα κλιματολογικά στοιχεία των νησιών μεμονωμένα επιβεβαιώνονται από κλιματολογικά δεδομένα

που προέρχονται από μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά τα κλιματολογικά δεδομένα του 2017.

Τήνος

Στην Τήνο έχουν εγκατασταθεί τρεις μετεωρολογικοί σταθμοί, στις περιοχές της Στενής, του Πύργου και της Κώμης. Από τους τρεις παραπάνω σταθμούς παρατηρούμε ότι η Τήνος διαθέτει τα βασικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά των Κυκλάδων έχοντας ως μέση θερμοκρασία 18.7°C το έτος 2017. Σχετικά με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, στην Τήνο καταγράφηκαν συνολικά, την προηγούμενη χρονιά, 266,2mm βροχής, ενώ οι μήνες Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος και Οκτώβριος ανήκουν στην ξηρή περίοδο. Το ίδιο έτος η μέση ταχύτητα των ανέμων άγγιξε τα 9.9km/h, ενώ η μέσος όρος των μέγιστων ταχυτήτων ήταν 77,2km/h. Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται αναλυτικά τα μηνιαία στοιχεία της θερμοκρασίας, των κατακρημνισμάτων και του ανέμου για το νησί της Τήνου το έτος 2017.

Πίνακας 8. Κλιματικά στοιχεία της νήσου Τήνου ανά μήνα για το έτος 2017 – Θερμοκρασιακά στοιχεία (°C), Σύνολο κατακρημνισμάτων(mm), Μέση και μέγιστη ταχύτητα ανέμων (km/h)

ΜΗΝΑΣ	MIN MEAN(°C)	MAX MEAN(°C)	MEAN (°C)	ΣΥΝΟΛΟ (mm)	ΜΕΣΟΣ (km/h)	ΜΕΓΙΣΤΟ (km/h)
1	11.7	7.3	9.7	123.0	10.7	67.6
2	14.4	10.7	12.5	9.2	9.9	72.4
3	16.1	11.6	13.8	51.4	8.6	59.5
4	19.1	13.2	16.0	1.6	6.5	74.0
5	23.1	17.4	20.0	25.8	6.5	64.4
6	28.2	21.6	24.7	6.6	7.0	62.8
7	29.6	23.9	26.7	0.0	14.5	77.2
8	28.4	23.5	26.0	0.0	18.9	75.6
9	27.4	21.5	24.2	0.0	6.9	54.7
10	22.2	17.8	19.6	0.0	14.6	61.2
11	17.2	13.0	15.4	16.8	5.6	43.5
12	16.0	11.8	14.1	31.8	9.2	72.4

Μύκονος

Από το 1967 ως το 1990 λειτούργησε ιδιωτικός μετεωρολογικός βροχομετρικός σταθμός στην θέση Κάστρο της Χώρας Μυκόνου. Τα τελευταία, όμως, χρόνια έχει εγκατασταθεί μετεωρολογικός σταθμός υπό την αιγίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) στον κρατικό αερολιμένα του νησιού. Η Μύκονος, λοιπόν, ως μέλος των Κυκλάδων, χαρακτηρίζεται από κλίμα παρόμοιο με αυτό των υπόλοιπων Κυκλάδων. Εκτίθεται σε ισχυρούς γενικά ανέμους και ο χειμώνας είναι σχετικά ήπιος, με έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως το χιόνι και η ομίχλη, να σπανίζουν (ανά 15ετία περίπου). Το καλοκαίρι είναι δροσερό με συχνούς ανέμους, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι τις ελάχιστες μέρες που επικρατεί άπνοια, ο θερινός καύσωνας γίνεται ιδιαίτερα αισθητός. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το προηγούμενο έτος η μέση θερμοκρασία που επικράτησε ήταν 18.7°C. Στην Μύκονο καταγράφηκαν, επίσης, 241.8mm βροχής, με εμφάνιση σχεδόν μηδενικών τιμών τον

Ιούλιο, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο, ενώ η μέση ταχύτητα των ανέμων άγγιξε τα 18.7km/h, με μέσο όρο μέγιστων ταχυτήτων 96,6km/h. Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται αναλυτικά τα μηνιαία στοιχεία της θερμοκρασίας, των κατακρημνισμάτων και του ανέμου για το νησί της Μυκόνου το έτος 2017.

Πίνακας 9. Κλιματικά στοιχεία της νήσου Μυκόνου ανά μήνα για το έτος 2017 – Θερμοκρασιακά στοιχεία (°C), Σύνολο κατακρημνισμάτων(mm), Μέση και μέγιστη ταχύτητα ανέμων (km/h)

ΜΗΝΑΣ	MAX MEAN(°C)	MIN MEAN(°C)	MEAN (°C)	ΣΥΝΟΛΟ (mm)	ΜΕΣΟΣ (km/h)	ΜΕΓΙΣΤΟ (km/h)
1	12.4	8.7	10.6	118.0	20.0	78.9
2	14.6	11.6	13	3.4	19.4	93.3
3	15.9	12.6	14.2	44.2	18.0	74.0
4	18.5	14.3	16.2	2.0	14.1	82.1
5	22.4	18.2	20.1	13.8	15.4	74.0
6	20.6	17.4	23.5	3.4	14.6	70.8
7	24.1	21.5	27.1	0.0	22.7	77.2
8	26.7	23.8	25.1	0.2	34.3	86.9
9	26.4	22.5	24.3	0.0	15.4	66.0
10	21.2	18.3	19.6	6.4	21.3	74.0
11	18.6	14.9	16.8	16.0	11.8	83.7
12	16.4	12.9	14.2	34.4	17.1	96.6

Σύρος

Στη Σύρο κυριαρχεί το ήπιο εύκρατο μεσογειακό κλίμα, το οποίο τείνει προς το θαλάσσιο. Παρουσιάζει ομοιότητες με το λεγόμενο Μεσογειακό κλίμα, εμφανίζοντας μικρές διαφορές μεταξύ ελάχιστων και μέγιστων τιμών θερμοκρασίας. Βασικά χαρακτηριστικά του κλίματος της Σύρου αποτελούν η μακρά ηλιοφάνεια, η σπανιότητα χιονιού και η ήπια θερμοκρασία. Λαμβάνοντας υπόψη κλιματολογικά δεδομένα του έτους 2017, παρατηρούμε ότι οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος ενώ θερμότερος ο Ιούλιος, με μέση θερμοκρασία 27.9°C. Βασιζόμενοι στα στοιχεία από τις βροχομετρικές παρατηρήσεις, συμπεραίνουμε ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στη Σύρο βρίσκεται σε χαμηλά με επίπεδα, με ετήσιες καταγραφές που αγγίζουν τα 264.6mm. Οι άνεμοι, τέλος, είναι κατά κύριο λόγο νότιοι, με ένταση τους καλοκαιρινούς μήνες (μελτέμια). Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται αναλυτικά τα μηνιαία στοιχεία της θερμοκρασίας, των κατακρημνισμάτων και του ανέμου για το νησί της Σύρου το έτος 2017. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι για τη Σύρο, δεν βρέθηκαν μηνιαίες μέγιστες και ελάχιστες μέσες τιμές όπως στα υπόλοιπα νησιά. Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται αναλυτικά τα μηνιαία στοιχεία της θερμοκρασίας, των κατακρημνισμάτων και του ανέμου για το νησί της Σύρου το έτος 2017.

Πίνακας 10. Κλιματικά στοιχεία της νήσου Σύρου ανά μήνα για το έτος 2017 – Θερμοκρασιακά στοιχεία (°C), Σύνολο κατακρημνισμάτων(mm), Μέση και μέγιστη ταχύτητα ανέμων (km/h)

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΑΝ (°C)	ΣΥΝΟΛΟ (mm)	ΜΕΣΟΣ (km/h)	ΜΕΓΙΣΤΟ (km/h)
1	8.9	145.4	8.9	37.0
2	11.7	5.2	9.8	40.7
3	13.3	46.8	7.2	37.0
4	15.6	3.4	5.9	27.8
5	20.2	10.8	6.7	29.6
6	25.5	0.0	5.3	25.9
7	27.9	0.0	10.6	33.3
8	27.2	0.2	12.4	35.2
9	24.2	7.8	6.1	31.5
10	18.8	4.8	8.5	37.0
11	15.0	40.2	5.0	29.6
12	13.3	0.0	9.0	42.6

Πάρος

Η Πάρος κατατάσσεται, από άποψη κλίματος, στον «εύκρατο» τύπο με ξηρά και ζεστά καλοκαίρια. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στο νησί της Πάρου για το έτος 2017 ήταν 18.7° C. Η ψυχρή εποχή του έτους χαρακτηρίζεται από την ηπιότητα των κλιματολογικών φαινομένων, με έντονες εκδηλώσεις, όπως ο παγετός, το χιόνι και το χαλάζι, να σπανίζουν. Η θερμή εποχή, δηλαδή η περίοδος από το Μάιο έως και τον Σεπτέμβριο, χαρακτηρίζεται από μέση θερμοκρασία 20 έως 27°C, λόγω των επικρατούντων βόρειων και βορειοανατολικών ανέμων, και συμπίπτει με την παντελή σχεδόν έλλειψη βροχοπτώσεων. Το μέσο ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων το προηγούμενο έτος ανήλθε στα 312.6mm. Η μέση ταχύτητα των ανέμων άγγιξε τα 14.6km/h, ενώ ο μέσος όρος των μέγιστων ταχυτήτων καταγράφηκε ως 85.3 km/h. Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται αναλυτικά τα μηνιαία στοιχεία της θερμοκρασίας, των κατακρημνισμάτων και του ανέμου για το νησί της Πάρου το έτος 2017.

Πίνακας 11. Κλιματικά στοιχεία της νήσου Πάρου ανά μήνα για το έτος 2017 - Θερμοκρασιακά στοιχεία (°C), Σύνολο κατακρημνισμάτων(mm), Μέση και μέγιστη ταχύτητα ανέμων (km/h)

ΜΗΝΑΣ	MAX MEAN(°C)	MIN MEAN(°C)	MEAN (°C)	ΣΥΝΟΛΟ (mm)	ΜΕΣΟΣ (km/h)	ΜΕΓΙΣΤΟ (km/h)
1	12.6	7.9	10.4	146.4	16.9	74.0
2	15.3	10.6	12.9	5.6	16.0	85.3
3	17.1	10.9	14.0	55.2	11.1	64.4
4	19.6	12.4	16.1	11.4	8.6	54.7
5	23.6	16.8	20.2	6.0	11.5	59.5
6	28.0	20.4	24.2	3.6	10.9	51.5
7	29.4	23.5	26.3	0.0	18.4	66.0
8	28.3	23.5	25.7	0.0	20.9	61.2
9	27.5	20.5	24.0	0.0	12.0	54.7
10	22.2	16.9	19.4	6.8	17.3	72.4
11	19.3	13.0	16.2	32.4	13.1	78.9
12	16.8	12.1	14.5	45.2	18.0	83.7

Νάξος

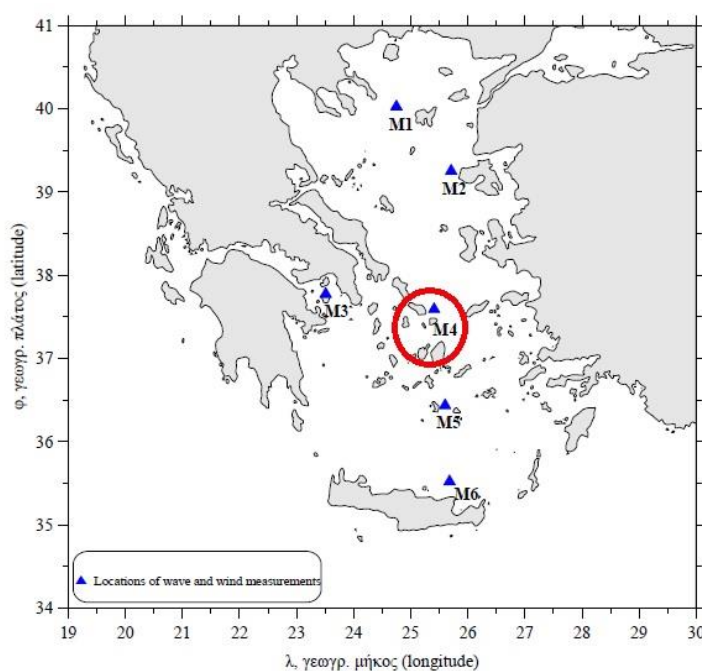
Στη Νάξο λειτουργούν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί, οι οποίοι υποστηρίζονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Ο πρώτος σταθμός έχει εγκατασταθεί στο Δημαρχείο του νησιού και οι μετρήσεις του για το έτος 2017 εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες. Ο δεύτερος σταθμός βρίσκεται στο χωριό Κυνίδαρος και οι μετρήσεις του σχετίζονται κυρίως με την ορεινό τμήμα του νησιού. Σε γενικές γραμμές το κλίμα της Νάξου θεωρείται μεσογειακό με ομαλές θερμοκρασίες και χαμηλό ετήσιο θερμομετρικό εύρος (διαφορά ανάμεσα στη μέση θερμοκρασία του θερμότερου και του ψυχρότερου μήνα του έτους). Το προηγούμενο έτος η μέση ετήσια θερμοκρασία καταγράφηκε ως 18.5 ° C. Θα πρέπει, επίσης, να αναφερθεί ότι ο χειμώνας στη Νάξο είναι ήπιος και η θερμοκρασία σπάνια κατεβαίνει κάτω από τους 10° C. Παρόλα αυτά, στις ορεινές περιοχές οι θερμοκρασίες μπορεί να είναι χαμηλότερες, ενώ πολύ συχνά παρουσιάζονται έντονες χιονοπτώσεις, διαφοροποιώντας την από τα προαναφερθέντα νησιά. Στην Νάξο, παρατηρούνται χαμηλές βροχοπτώσεις, με τη μέση ετήσια βροχόπτωση το 2017 να ανέρχεται στα 309.4 mm. Τέλος, έχουμε την εμφάνιση ισχυρών ανέμων, όπως και στα υπόλοιπα νησιά των Κυκλάδων, καταγράφοντας ως μέσο όρο μέγιστων ταχυτήτων τα 103.0 km/h. Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται αναλυτικά τα μηνιαία στοιχεία της θερμοκρασίας, των κατακρημνισμάτων και του ανέμου για το νησί της Νάξου το έτος 2017.

Πίνακας 12. Κλιματικά στοιχεία της νήσου Νάξου ανά μήνα για το έτος 2017 – Θερμοκρασιακά στοιχεία (°C), Σύνολο κατακρημνισμάτων(mm), Μέση και μέγιστη ταχύτητα ανέμων (km/h)

ΜΗΝΑΣ	MAX MEAN(°C)	MIN MEAN(°C)	MEAN (°C)	ΣΥΝΟΛΟ (mm)	ΜΕΣΟΣ (km/h)	ΜΕΓΙΣΤΟ (km/h)
1	12.3	8.2	10.4	122.8	16.1	103.0
2	14.7	10.8	12.7	2.0	20.0	86.9
3	16.0	11.8	14.0	63.2	15.9	74.0
4	18.5	13.3	16.0	17.6	12.4	64.4
5	22.7	17.3	20.0	7.0	12.6	67.6
6	26.8	21.2	24.1	3.8	10.9	54.7
7	28.1	23.6	25.8	0.0	18.2	69.2
8	26.8	23.4	25.1	0.0	20.3	69.2
9	26.6	21.2	24.0	0.0	11.9	57.9
10	21.3	17.6	19.4	4.4	19.5	74.0
11	18.8	13.2	16.1	30.0	11.5	82.1
12	16.4	12.4	14.5	58.6	19.0	95.0

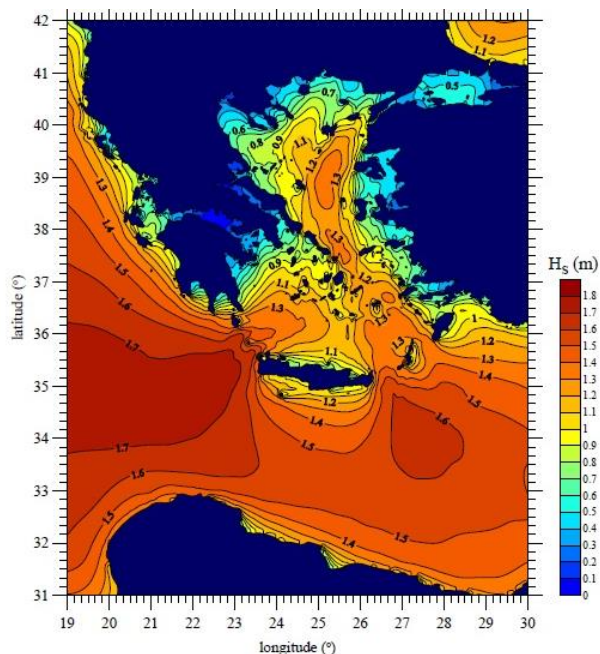
2.3.2 Κυματικά δεδομένα

Πληροφορίες για την κυματική ενέργεια στην περιοχή των Κυκλάδων, αντλήθηκαν από τον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών. Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας εμπίπτει στο σημείο μέτρησης M4 που αντιστοιχεί στην περιοχή της Μυκόνου. Η ακριβής θέση των μετρήσεων έχει γεωγραφικό πλάτος 37.51° και γεωγραφικό μήκος 25.46° , βρίσκεται σε βάθος 120μ., ενώ οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 6/1999 έως 9/2006. Στον **Χάρτη 2** διακρίνεται η θέση του σημείου M4 και με κόκκινο κύκλο οριοθετείτε η περιοχή μελέτης.

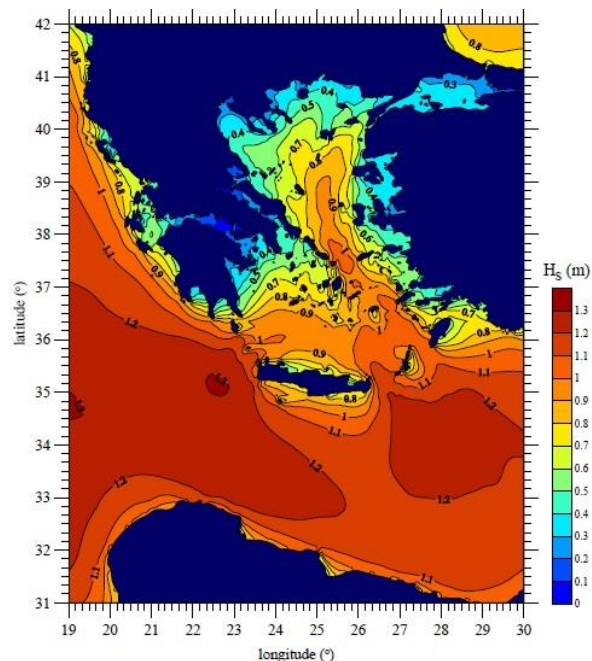


Χάρτης 2. Θέση σημείου μετρήσεων M4 (Σουκισιάν,2007)

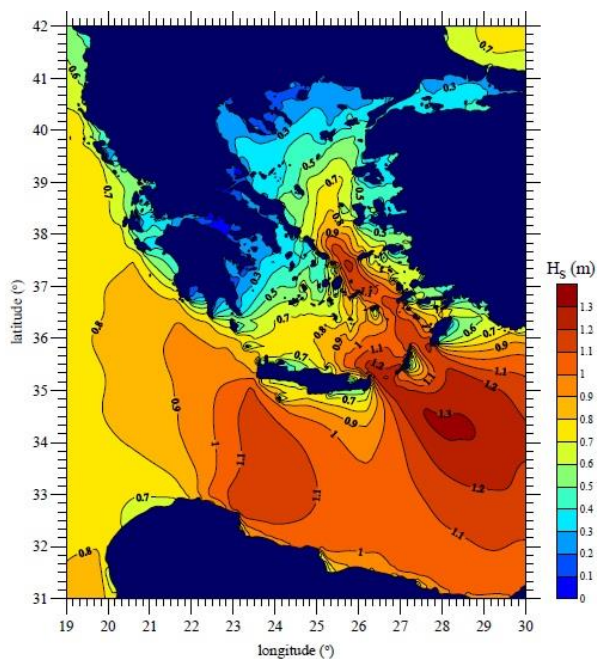
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του μέσου ύψους κύματος χωρίζονται σε 4 εποχές (Χειμώνας, Άνοιξη, Καλοκαίρι, Φθινόπωρο) και παρουσιάζονται στους παρακάτω χάρτες (Χάρτες 3, 4, 5, 6) ισοσταθμικών καμπυλών.



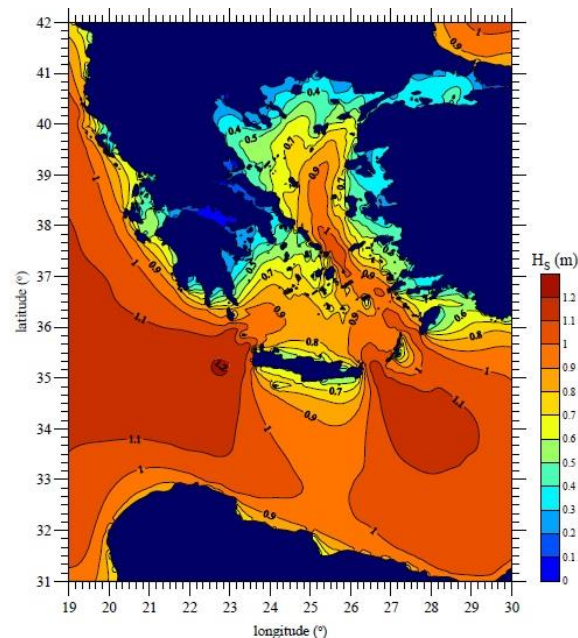
Χάρτης 3. Χωρική κατανομή του H_s το Χειμώνα (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) (Σουκισιάν, 2007)



Χάρτης 4. Χωρική κατανομή του H_s την Άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος) (Σουκισιάν, 2007)



Χάρτης 5. Χωρική κατανομή του H_s το Καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) (Σουκισιάν, 2007)



Χάρτης 6. Χωρική κατανομή του H_s το Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος) (Σουκισιάν, 2007)

Από τον **Χάρτη 3** συμπεραίνουμε ότι στην περιοχή μελέτης, το Χειμώνα η σημαντική τιμή του μέσου ύψους κύματος παίρνει τιμές από 0,8μ. έως 0,9μ. για τα νησιά της Τήνου και της Σύρου, 1.2μ.–1.3μ. για τη Μύκονο, 0.9μ.– 1.0μ. για τα νησιά της Πάρου και της Νάξου. Την Άνοιξη (**Χάρτης 4**) οι τιμές μεταβάλλονται ως εξής: 0.5μ.– 0.9μ. στην Τήνο, 0.5 μ.–0.6 μ. στη Σύρο, 0.8μ.– 1.0μ. στη Μύκονο και 0.6μ.–0.8μ. στην Πάρο και τη Νάξο. Το Καλοκαίρι (**Χάρτης 5**) παρατηρούνται τιμές από 0.4 μ.– 0.9 μ. στην Τήνο, 0.4 μ.– 0.5 μ. στη Σύρο, 0.8μ.– 1.0μ. στη Μύκονο, 0.4 μ.– 0.7 μ. στην Πάρο και 0.6 μ.– 0.9 μ. στη Νάξο. Το Φθινόπωρο (**Χάρτης 6**) εμφανίζονται σημαντικές τιμές μέσου ύψους κύματος ανάλογες με αυτές της Άνοιξης. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι στο νησί της Μυκόνου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες τιμές, ενώ στη Σύρο οι μικρότερες. Τέλος, με βάση τους χάρτες κατευθυντικότητας κυματισμού που εμπεριέχονται στον Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στη δεδομένη περιοχή, οι κυματισμοί διαδίδονται κατά κύριο λόγο με διεύθυνση Β–ΒΔ σε ετήσια βάση.

2.3.3 Ιζηματολογία

Στις Κυκλάδες τα ιζηματολογικά δεδομένα είναι αρκετά περιορισμένα και τα περισσότερα προέρχονται από εργασίες με έτος δημοσίευσης πριν το 2000. Όπως θα αναλυθεί και στις παρακάτω παραγράφους, οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο θαλάσσιο χώρο των Κυκλάδων σχετίζονται κυρίως με αναλύσεις μεγέθους κόκκων και ορυκτολογικές μελέτες. Η μόνη εργασία που υποβάλλει τα δείγματα σε γεωχημικές αναλύσεις είναι αυτή των Karageorgis, A. et al., 2016. Η συγκεκριμένη εργασία, είναι προσαρμοσμένη στη σύγχρονη εποχή, με ολοκληρωμένες ιζηματολογικές αναλύσεις και εμπλουτισμένους κοκκομετρικούς, βαθυμετρικούς και γεωχημικούς χάρτες.

Από τις πρώτες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή την περιοχή, αποτελεί η εργασία των Αναγνώστου, Τσορπατζόγλου και Σιούλα το έτος 1993. Η εργασία, με τίτλο «Τα σύγχρονα ιζήματα στις κεντρικές Κυκλάδες», δημοσιεύθηκε στα πρακτικά του 4ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, και αφορούσε τη μελέτη των ιζηματολογικών χαρακτηριστικών επιφανειακών ιζημάτων που προήλθαν από την υποθαλάσσια περιοχή μεταξύ των νησιών Σύρου, Σερίφου, Σίφνου και Αντιπάρου. Η κοκκομετρική ανάλυση των παραπάνω δειγμάτων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι φάσεις που επικρατούν είναι της άμμου, της αμμώδους ιλύος και της ιλυώδους άμμου. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι τα ιζήματα είναι πλούσια σε ανθρακικά υλικά, τα οποία προέρχονται κυρίως από τα σκληρά σκελετικά μέρη των βιογενών συστατικών.

Την ίδια περίοδο (1993), στο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, δημοσιεύθηκε η μελέτη των Βολάκη και Αναγνώστου με τίτλο «Η σύγχρονη ιζηματογένεση στο βόρειο τμήμα του πλατό των Κυκλάδων». Στη δεδομένη εργασία συλλέχθηκαν 34 επιφανειακά δείγματα από τον υποθαλάσσιο χώρο μεταξύ των νησιών Τήνου, Μυκόνου, Ρήνειας, Δήλου, Γυάρου και Σύρου. Στα δείγματα αυτά πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις, προσδιορισμός ανθρακικών και ορυκτολογικές αναλύσεις των αργιλικών ορυκτών. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα της ύπαρξης 3 φάσεων (άμμος, αμμώδης ιλύς και ιλυώδης άμμος), ενώ αναφέρει ότι η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από περιβάλλον υψηλής ανθρακικής, κυρίως βιογενούς, ιζηματογένεσης. Επίσης, αναφέρει χαρακτηριστικά ότι η ορυκτολογία της αργίλου ταυτίζεται απόλυτα με τα πετρογραφικά και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της νησιωτικής χέρσου.

Τέσσερα χρόνια μετά, το 1997, στο 5ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, οι Πεχλιβάνογλου, Κ. και Σουρή – Κουρούμπαλη, Φ., δημοσίευσαν την εργασία τους με τίτλο

«Ορυκτολογική μελέτη των επιφανειακών ιζημάτων του στενού Καφηρέας». Όλα τα δείγματα υποβλήθηκαν σε κοκκομετρικές και ορυκτολογικές αναλύσεις, ενώ σε κάποια από αυτά προσδιορίστηκε το συνολικό CaCO_3 , το ειδικό βάρος κόκκων, το περιεχόμενο νερό % και το πορώδες. Όπως και στις προηγούμενες 2 εργασίες, η μελέτη καταλήγει στην ύπαρξη υψηλού ποσοστού ανθρακικών συστατικών, βιογενούς κυρίως προέλευσης. Επίσης, αναφέρει την επικράτηση δυο ιζηματολογικών τύπων (αμμώδης αργιλο-ιλύς και άργιλο-ιλυώδης άμμος), ενώ με βάση τις ορυκτολογικές αναλύσεις αναγνωρίζει τα παρακάτω ορυκτά ως κυριότερα στα περισσότερα δείγματα: χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, χλωρίτης, μαρμαρυγίες, καολινίτης, ασβεστίτης, αραγωνίτης και σε ελάχιστα δείγματα Κ-άστριος. Τέλος, καταλήγει στο ότι «η κατανομή των κοκκομετρικών τύπων και των ορυκτών καθορίζεται από τη ποιότητα του χερσογενούς υλικού που παρέχεται στη περιοχή, σε συνδυασμό με την διεύθυνση και την ταχύτητα των περιοδικών ρευμάτων».

Το 1998, στο συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, παρουσιάστηκε και στην συνέχεια δημοσιεύθηκε στα πρακτικά του συνεδρίου η εργασία με τίτλο «Recent sediments in the south Cyclades marine area, Aegean Sea». Στη δεδομένη μελέτη, οι Anagnostou, Richter, Riedel και Trapp, υποβάλλουν 40 επιφανειακά δείγματα από τον υποθαλάσσιο χώρο των νοτίων Κυκλάδων (Μήλος, Πάρος, Νάξος, Ίος, Σίκινος, Φολέγανδρος) σε κοκκομετρικές και ορυκτολογικές αναλύσεις. Μετά το πέρας των αναλύσεων καταλήγουν στο γεγονός ότι τα ιζήματα είναι πλούσια σε ανθρακικά υλικά βιογενούς προέλευσης και η κοκκομετρική τους κατανομή σχετίζεται άμεσα με το βάθος. Παράλληλα, αναγνώρισαν στα δείγματα τους τα εξής αργιλικά ορυκτά: ιλλίτης, χλωρίτης, σμεκτίτης και καολινίτης. Τέλος, σε επόμενο στάδιο, συγκρίνοντας τα αργιλικά ορυκτά με το μέγεθος των κόκκων παρατήρησαν μείωση του σμεκτίτη και αύξηση του χλωρίτη καθώς το μέγεθος των κόκκων γινόταν πιο αδρομερές.

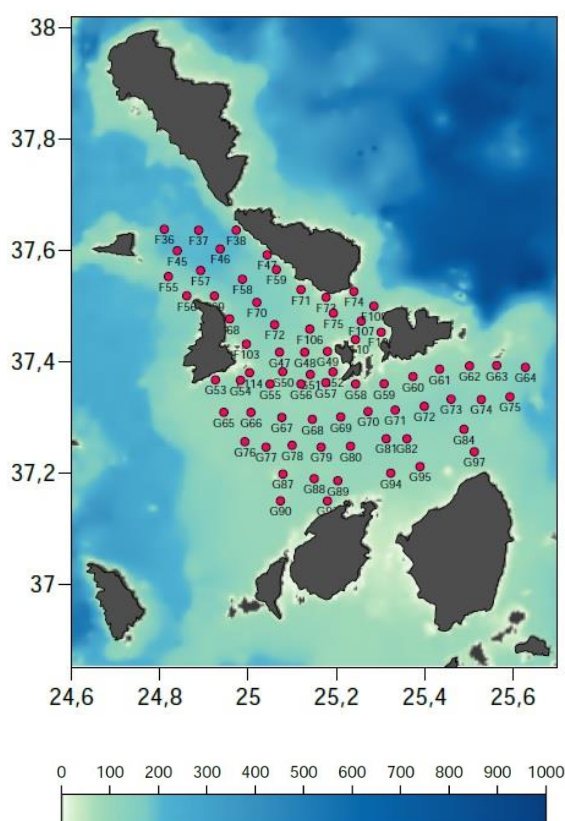
Η πιο πρόσφατη εργασία που σχετίζεται με το θαλάσσιο περιβάλλον των Κυκλάδων είναι των Karageorgis et al. με τίτλο «Geomorphology, sedimentology and geochemistry in the marine area between Sifnos and Kimolos islands, Greece». Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη εργασία για το θαλάσσιο χώρο μεταξύ της Σίφνου και της Κιμώλου, η οποία δημοσιεύθηκε το 2016 στα πλαίσια του 14ου συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας. Η συγκεκριμένη μελέτη αφορά την ανάλυση επιφανειακών ιζημάτων ως προς το μέγεθος των κόκκων, την ορυκτολογία και τη γεωχημεία, ενώ είναι εμπλουτισμένη με σύγχρονους κοκκομετρικούς, βαθυμετρικούς και γεωχημικούς χάρτες. Ένα από τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτή την εργασία είναι η σταδιακή μείωση του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων από το νότο προς το βορρά. Επίσης, αναγνώρισαν στα δείγματα μια σειρά από ορυκτά, στα οποία περιλαμβάνονται ο ασβεστίτης, ο Mg-ασβεστίτης, ο αραγωνίτης, ο δολομίτης, ο χαλαζίας, οι Κ-άστριοι, τα πλαγιόκλαστα και οι αμφίβολοι, ενώ, με βάση τη γεωχημεία, κατέληξαν στην ύπαρξη 3 ιζηματολογικών επαρχιών.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δειγματοληψία

Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν με το ωκεανογραφικό σκάφος ΑΙΓΑΙΟ του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) την περίοδο 1986 – 1987, ενώ οι δειγματοληψίες επιφανειακών ιζημάτων εκτελέσθηκαν με τη βοήθεια ανοξείδωτου δειγματολήπτη τύπου Reineck. Κατά τη δειγματοληψία τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σκεύη και αποθηκεύτηκαν στις αποθήκες του ΕΛΚΕΘΕ με σκοπό τη μελλοντική τους χρήση σε εργαστηριακές αναλύσεις.

Συλλέχθηκαν 78 δείγματα επιφανειακών ιζημάτων από τη θαλάσσια περιοχή των Βορείων Κυκλάδων. Το δίκτυο των σταθμών δειγματοληψιών φαίνεται στο βαθυμετρικό χάρτη (**Χάρτης 7**), ο οποίος δημιουργήθηκε μέσω του προγράμματος SURFER, ενώ η ακριβής θέση των σταθμών δειγματοληψιών επιφανειακών ιζημάτων και το αντίστοιχο βάθος νερού, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1** στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**.



Χάρτης 7. Βαθυμετρικός χάρτης περιοχής μελέτης όπου απεικονίζονται και οι δειγματοληπτικοί σταθμοί

3.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο ιζηματολογίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσίων Ερευνών, στα εργαστήρια του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και στα εργαστήρια του τμήματος Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, το διάστημα Φεβρουάριος 2017–Μάρτιος 2018.

Αρχικά, όλα τα δείγματα διασώθηκαν και αρχειοθετήθηκαν κατά αύξοντα αριθμό σε μια βάση δεδομένων στο Excel. Το συγκεκριμένο φύλλο περιλάμβανε το σύνολο των δειγμάτων, την ακριβή τους τοποθεσία, την ημερομηνία και την ώρα δειγματοληψίας, όπως επίσης και το αντίστοιχο βάθος. Στη συνέχεια, μέρος των δειγμάτων κονιοποιήθηκε και ομογενοποιήθηκε σε ηλεκτρικό μύλο με γουδί και μπάλες από αχάτη, ενώ το σύνολο των δειγμάτων μεταφέρθηκε σε νέα πλαστικά δοχεία δειγματοληψίας. Τα δείγματα προέβησαν σε χημικές, κοκκομετρικές και ορυκτολογικές αναλύσεις, οι οποίες θα αναλυθούν περαιτέρω στα επόμενα κεφάλαια.



Εικόνα 1. Ηλεκτρικός μύλος με αχάτινο γουδί



Εικόνα 2. Κονιοποιημένο δείγμα σε γουδί και μπάλες από αχάτη



Εικόνα 3. Παλαιά δειγματοληπτικά δοχεία



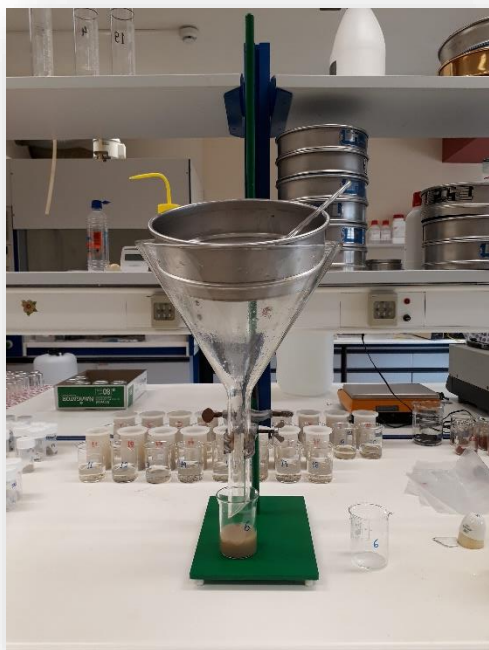
Εικόνα 4. Κονιοποιημένα δείγματα σε νέα πλαστικά δοχεία δειγματοληψίας

3.2.1 Κοκκομετρικές αναλύσεις

Η διαδικασία των κοκκομετρικών αναλύσεων αρχίζει με τη ζύγιση 2,5 – 3gr, σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας, του αρχικού, μη κονιοποιημένου, δείγματος. Στη συνέχεια, η ζύγιση καταγράφεται και το ζυγισμένο δείγμα τοποθετείτε σε γυάλινα ποτήρια ζέσεως, στα οποία προστίθενται 20ml Calgon. Το δείγμα μαζί με Calgon αφήνεται σε ηρεμία για, τουλάχιστον, 24 ώρες. Μετά από το προαναφερθέν χρονικό διάστημα το δείγμα υποβλήθηκε σε υγρό κοσκίνισμα, με τη χρήση κόσκινου διαμέτρου οπής 63 μ m (0.063mm).



Εικόνα 5. Ποσότητα δείγματος με 20ml Calgon σε γυάλινα ποτήρια ζέσεως



Εικόνα 6. Διαδικασία υγρού κοσκινίσματος



Εικόνα 7. Κόσκινο διαμέτρου οπής 63 μ m

Το κλάσμα του δείγματος με διάμετρο $<63\mu\text{m}$ οδηγήθηκε για ανάλυση στο Sedigraph. Η συγκεκριμένη συσκευή χρησιμοποιεί τη μέθοδο υπολογισμού του ρυθμού καθίζησης των κόκκων του ιζήματος, που ακολουθούν το νόμο του Stokes. Ο υπολογισμός αυτός συνίσταται στη συνεχή μέτρηση της απορρόφησης που υφίσταται μια δέσμη "μαλακών" ακτίνων-Χ, κατά τη διέλευση της μέσα από μια κυψελίδα στην οποία βρίσκεται το διάλυμα. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης το καταγραφικό τμήμα της συσκευής κατασκευάζει την αθροιστική καμπύλη των επί τοις εκατό λεπτότερων κόκκων που παραμένουν σε αιώρηση (Καραγεώργης, 1992).

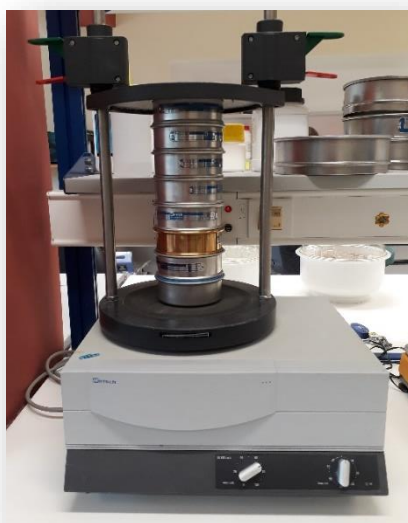


Εικόνα 8. Κεντρική μονάδα Sedigraph



Εικόνα 9. Υποδοχέας δειγμάτων

Το κλάσμα της άμμου ($>63\mu\text{m}$) μαζί με μια μικρή ποσότητα MilliQ, αφού ξηράνθηκε στους 60°C , αναλύθηκε με τη μέθοδο του ξηρού κοσκινίσματος. Η διαδικασία του ξηρού κοσκινίσματος προβλέπει τη χρήση μιας σειράς 7 κοσκίνων, διαμέτρου οπής 4.00mm , 2.00mm , 1.00mm , $500\mu\text{m}$, $250\mu\text{m}$, $125\mu\text{m}$ και $63\mu\text{m}$. Σε κάθε κόσκινο καταγράφηκε το βάρος του δείγματος, ζυγίζοντας το σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας.



Εικόνα 10. Μέθοδος ξηρού κοσκινίσματος

Από τις αθροιστικές καμπύλες του Sedigraph και το ποσοστό της άμμου (που είχε ήδη υπολογισθεί στην ανάλυση του ξηρού κοσκινίσματος), υπολογίστηκαν τα εκατοστιαία ποσοστά της ιλύος και της αργίλου για κάθε δείγμα.

3.2.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις

Οι ορυκτολογικές αναλύσεις συμπεριλαμβάνουν τον προσδιορισμό των ορυκτών των δειγμάτων με τις μεθόδους της περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ (X-ray Diffraction - XRD), του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (Scanning Electron Microscope - SEM) και του στερεοσκοπίου.

Η τεχνική ανάλυσης της περίθλασης ακτίνων-Χ απαιτεί τη χρήση δειγμάτων σε μορφή σκόνης με τελικό σκοπό τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών τους φάσεων. Για την αποφυγή λανθασμένων αποτελεσμάτων, το, ήδη, κονιοποιημένο δείγμα στον ηλεκτρονικό μύλο, τοποθετήθηκε σε αχάτινο γουδί και η διαδικασία κονιοποίησής του επαναλήφθηκε χειρωνακτικά. Το κονιοποιημένο και ομογενοποιημένο δείγμα τοποθετήθηκε σε πλαστικό δειγματοφορέα και η επιφάνεια του λειάνθηκε με τη βοήθεια σπάτουλας και ενός κομματιού γυαλιού, ώστε να αποφευχθούν τυχόν ανωμαλίες στην επιφάνεια, που θα επηρέαζαν το τελικό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια, ο δειγματοφορέας τοποθετήθηκε σε ειδική θέση στο μηχάνημα XRD τύπου Siemens D5005. Μετά την ανάλυση του δείγματος εξήχθη ακτινοδιάγραμμα, το οποίο αποτιμήθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων που περιλαμβάνονταν στο εκάστοτε δείγμα.



Εικόνα 11. Μηχάνημα XRD - Siemens D500



Εικόνα 12. Δειγματοφορέας και σπάτουλα λείανσης δείγματος

Σε δεύτερη φάση χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με σκοπό την εξέταση της μορφολογίας των κόκκων και την ταυτοποίηση των ορυκτών του δείγματος. Το SEM λειτουργεί όπως περίπου και το οπτικό μικροσκόπιο, όμως χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως, και εξάγει εικόνες υψηλού βαθμού διεύθυνσης. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι χρειάζεται ελάχιστη προετοιμασία δείγματος, αφού χρησιμοποιείται το αρχικό δείγμα ως έχει. Παρόλα αυτά, η προσεκτική προετοιμασία και η σωστή χρήση του μικροσκοπίου έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή εικόνων υψηλής ποιότητας και

αξιόπιστων φασματομετρικών πληροφοριών. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι στη δεδομένη περίπτωση, λόγω της ύπαρξης βιογενούς υλικού στα δείγματα, χρησιμοποιήθηκε επίστρωση από χρυσό.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε διοφθάλμιο στερεοσκόπιο με σκοπό την παρατήρηση της εξωτερικής μορφολογίας των κόκκων και την ταυτοποίηση του βιογενούς υλικού και των ορυκτών που συμπεριλαμβάνονταν στο εκάστοτε δείγμα. Το παρασκεύασμα δεν χρειάστηκε κάποια προετοιμασία, αφού χρησιμοποιήθηκε ως έχει.

3.2.3 Χημικές αναλύσεις

Οι χημικές αναλύσεις περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων των δειγμάτων με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-Χ (X-ray Fluorescence analysis - XRF). Στη συγκεκριμένη μέθοδο το δείγμα ακτινοβολείται με μια δέσμη ακτίνων-Χ, η οποία προκαλεί την εκπομπή δευτερογενών ακτίνων-Χ, που χαρακτηρίζονται ως φθορίζουσες. Η ενέργεια ή τα μήκη κύματος των εκπεμπόμενων ακτίνων-Χ, χρησιμοποιούνται για να αναγνωριστούν τα χημικά στοιχεία που υπάρχουν στο υπό ανάλυση δείγμα ενώ οι συγκεντρώσεις των στοιχείων καθορίζονται από την ένταση των ακτίνων - Χ. Για την εκτέλεση των παραπάνω αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε το κονιοποιημένο μέρος των δειγμάτων.

Πιο συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας 5,5gr Lithium Borates (LiT/LiM 67/33), 0,5gr Lithium Carbonate 99%, 0,5gr Ammonium Nitrate και 0,5gr κονιοποιημένου δείγματος. Τα αντιδραστήρια, στη συνέχεια, αναμίχθηκαν μαζί με το κονιοποιημένο δείγμα και αναδεύθηκαν με μια πλαστική σπάτουλα, τοποθετήθηκαν σε χωνευτήρια από πλατίνα και στο τέλος προστέθηκαν 4-5 σταγόνες από διάλυμα Lithium Bromide. Τα χωνευτήρια από πλατίνα μαζί με το υλικό τοποθετήθηκαν στο μηχάνημα τύπου Claisse - Fluxy, υποβάλλοντας το υλικό σε υψηλές θερμοκρασίες με σκοπό την τήξη του. Στο τέλος της διαδικασίας δημιουργήθηκαν ομογενή υαλοποιημένα δισκία (glass beads) στα οποία μετρήθηκαν τα κύρια στοιχεία.



Εικόνα 13. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων των δειγμάτων



Εικόνα 14. Ποτήρια ζέσεως που περιέχουν τα αντιδραστήρια μετά τη ζύγιση τους



Εικόνα 15. Δείγμα με 5 σταγόνες lithium bromide σε χωνευτήριο από πλατίνα



Εικόνα 16. Μηχάνημα Claisse - Fluxy

Σχετικά με τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας 1,25gr κερί και 5gr κονιοποιημένου δείγματος. Το κερί αναμείχθηκε με μια πλαστική σπάτουλα με το δείγμα και τοποθετήθηκε στο μηχάνημα τύπου Herzog. Με την εφαρμογή πίεσης δημιουργήθηκαν δισκία (pressed pellets) στα οποία μετρήθηκαν τα ιχνοστοιχεία του δείγματος.



Εικόνα 17. Υποδοχέας δείγματος



Εικόνα 18. Μηχάνημα πίεσης τύπου Herzog

Η σωστή εφαρμογή των παραπάνω δύο διαδικασιών στοχεύει στη δημιουργία ομογενών δισκίων, με επίπεδη και λεία επιφάνεια, χωρίς ανωμαλίες. Επίσης, τα δισκία πρέπει να έχουν το κατάλληλο πάχος ώστε να μπορεί να απορροφηθεί όλη η προσπίπτουσα δέσμη.



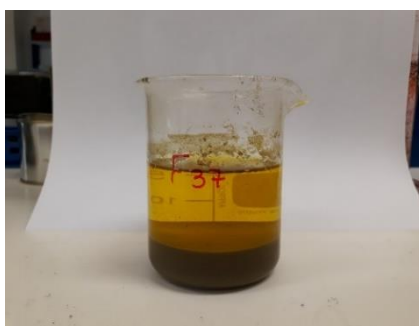
Εικόνα 19. Υποδοχέας υαλοποιημένων (glass beads) και πεπιεσμένων δισκίων (pressed pellets)

3.2.4 Προσδιορισμός ποσοστού ανθρακικών ορυκτών

Για τον προσδιορισμό των ανθρακικών επιλέχθηκαν 11 δείγματα, με βάση το ποσοστό τους σε ασβέστιο και πυρίτιο και την κατανομή τους στο χώρο μελέτης. Από το αρχικό δείγμα ζυγίστηκαν περίπου 40gr σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας και τοποθετήθηκαν σε ποτήρια ζέσεως. Σε αυτά προστέθηκε ποσότητα **HCl 10%** και αναδεύονταν, με μια πλαστική σπάτουλα, ανά 1 ώρα. Έπειτα αφέθηκαν σε ηρεμία για 24 ώρες. Μετά από το δεδομένο χρονικό διάστημα χύνονταν το υπερκείμενο μέρος και η διαδικασία επαναλαμβανόταν μέχρις ότου να σταματήσει να αναβράζει το δείγμα μετά την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος. Τα δείγματα ξεπλύθηκαν 3 φορές με MilliQ και τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 60°C ώστε να εξατμιστούν τα υγρά. Στη συνέχεια, ζυγίστηκε το βάρος τους σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας με τελικό σκοπό τον προσδιορισμό του ποσοστού των ανθρακικών που περιείχαν. Τα συγκεκριμένα δείγματα οδηγήθηκαν, επίσης, για χημικές, ορυκτολογικές και κοκκομετρικές αναλύσεις, ακολουθώντας τις διαδικασίες που αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια.



Εικόνα 20. Δείγμα ιζήματος σε ποτήρι ζέσεως με υδροχλωρικό οξύ



Εικόνα 21. Δείγμα ιζήματος σε ποτήρι ζέσεως μετά την αφαίρεση του υπερκείμενου υγρού



Εικόνα 22. Δείγμα ιζήματος σε ποτήρι ζέσεως μετά την εξάτμιση των υγρών

4 Αποτελέσματα - Συζήτηση

Στο δεδομένο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών, ορυκτολογικών, χημικών και μικροχημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Η καταγραφή των αποτελεσμάτων ολοκληρώνεται με τη χρήση διαγραμμάτων, πινάκων και εικόνων.

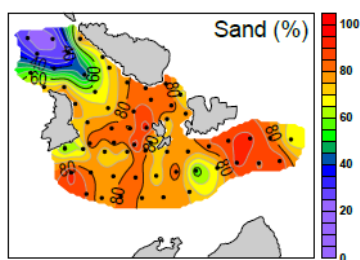
4.1. Κοκκομετρική ταξινόμηση ιζημάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων και παρουσιάζονται τα ποσοστά της άμμου, της αργίλου και της ιλύος κάθε δείγματος (**Πίνακας 13**). Από τα 78 δείγματα, αναλύθηκαν τα 60 λόγω έλλειψης επαρκούς ποσότητας υλικού των υπόλοιπων 17 δειγμάτων. Τα υπό εξέταση δείγματα προβάλλονται σε τριγωνικό διάγραμμα (**Διάγραμμα 2**) για την καλύτερη κατανόηση της κατανομής τους.

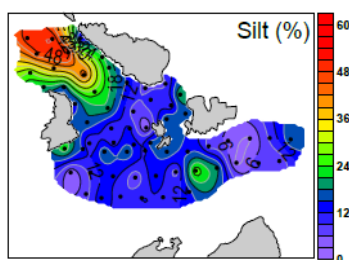
Πίνακας 13. Ποσοστά άμμου, ιλύος, αργίλου επί τοις 100 των υπό εξέταση δειγμάτων

Δείγμα	Sand %	Silt %	Clay %	Δείγμα	Sand %	Silt %	Clay %
F36	26,08	49,13	24,79	G52	73,92	14,08	11,99
F37	24,33	50,07	25,60	G53	59,79	22,99	17,22
F38	0,00	51,89	48,11	G54	64,76	14,33	20,91
F45	27,65	47,13	25,22	G55	71,91	17,45	10,64
F46	29,05	49,63	21,32	G56	73,04	17,19	9,77
F47	70,96	20,26	8,78	G57	83,21	10,50	6,30
F55	58,86	25,94	15,20	G58	76,74	16,38	6,88
F56	75,32	17,93	6,75	G59	80,42	13,52	6,07
F57	41,45	37,88	20,67	G60	85,74	7,18	7,07
F58	44,43	42,12	13,45	G61	90,49	4,20	5,31
F59	72,81	19,21	7,98	G62	91,96	2,53	5,51
F68	79,16	13,31	7,53	G63	84,96	8,61	6,43
F69	78,13	14,72	7,15	G64	66,35	17,18	16,47
F70	66,49	24,73	8,78	G65	93,17	2,58	4,25
F71	80,06	14,04	5,89	G66	80,62	9,47	9,91
F72	71,86	19,40	8,75	G67	78,38	12,37	9,25
F73	85,40	6,89	7,71	G68	86,15	6,05	7,79
F74	86,13	7,62	6,26	G69	71,23	14,14	14,63
F75	84,37	10,97	4,66	G70	84,75	7,10	8,15
F103	76,02	16,88	7,10	G71	57,20	25,74	17,07
F106	84,52	7,66	7,81	G72	69,83	18,66	11,52
F107	72,32	18,81	8,87	G73	92,74	1,97	5,30
F108	68,68	21,24	10,07	G74	85,33	7,29	7,38
F109	77,17	15,83	7,00	G75	89,97	5,90	4,13
F110	74,75	17,19	8,06	G76	85,75	7,46	6,79
F114	86,48	7,46	6,05	G77	76,35	13,98	9,67
G47	83,61	8,74	7,66	G78	82,87	9,40	7,73
G48	80,65	11,84	7,51	G79	79,28	11,73	8,99
G49	0,00	34,06	65,94	G80	78,77	11,26	9,97
G50	82,53	9,53	7,94	G81	75,52	13,18	11,30

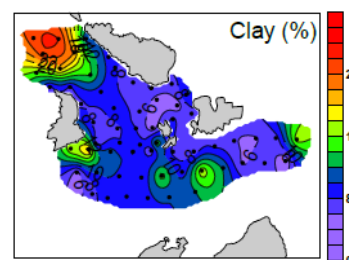
Η κατανομή των κόκκων προβάλλεται μέσω του προγράμματος SURFER στους επόμενους 3 χάρτες. Στους **Χάρτες 8, 9 και 10**, γίνεται κατανοητή η αντίθετη κατανομή που παρουσιάζουν οι κόκκοι άμμου σε σχέση με αυτούς τις ιλύος και της αργίλου. Παρατηρούμε, επομένως, ότι το κεντρικό τμήμα του πλατώ των Κυκλάδων κυριαρχείται από άμμο σε ποσοστά από 70 έως 95%, ενώ στις περιοχές αριστερά του χάρτη η κοκκομετρία σχετίζεται άμεσα με αυξημένα ποσοστά ιλύου και αργίλου.



Χάρτης 8



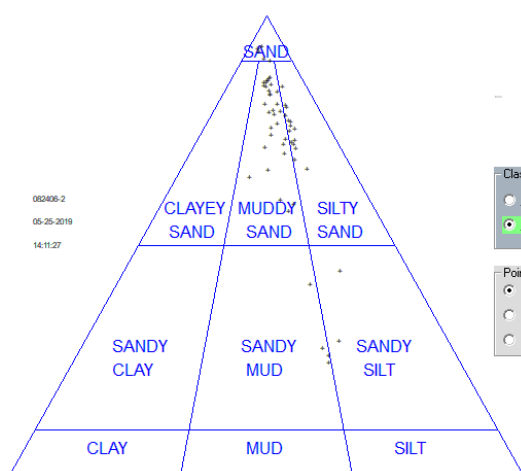
Χάρτης 9



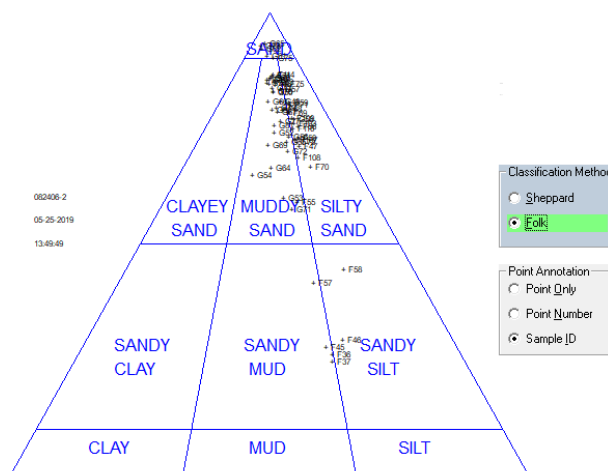
Χάρτης 10

Κοκκομετρική ταξινόμηση των δειγμάτων σε άμμο, ιλύ και αργίλο στην περιοχή μελέτης

Στη συνέχεια, τα δείγματα προβάλλονται στο τριγωνικό διάγραμμα του **Folk** με σκοπό την ταξινόμηση και την ονοματολογία τους. Για την καλύτερη κατανόηση της ταξινόμησης των δειγμάτων, έχουν δημιουργηθεί τα **Διαγράμματα 3 και 4**, με το πρόγραμμα SEDPLOT, όπου στο ένα εμφανίζονται μόνο τα σημεία των δειγμάτων ενώ στο δεύτερο απεικονίζονται και τα ονόματά τους. Τέλος, από τα διαγράμματα προκύπτει ο **Πίνακας 15**, όπου προβάλλεται η ονοματολογία του κάθε δείγματος με βάση την αναλογία τους σε άμμο, ιλύ και αργίλο.



Folk Sand-Silt-Clay Plot



Folk Sand-Silt-Clay Plot

Διαγράμματα 3, 4. Τριγωνικά διαγράμματα FOLK (άμμου, ιλύος, αργίλου). Στο αριστερό διάγραμμα προβάλλονται μόνο τα σημεία των δειγμάτων, ενώ στο δεξί αναφέρονται και τα ονόματά τους

Πίνακας 15. Ταξινόμηση των δειγμάτων κατά FOLK

Δείγμα	Folk class	Δείγμα	Folk class
F36	SANDY MUD	G52	MUDDY SAND
F37	SANDY MUD	G53	MUDDY SAND
F38	MUD	G54	MUDDY SAND
F45	SANDY MUD	G55	MUDDY SAND
F46	SANDY SILT	G56	MUDDY SAND
F47	SILTY SAND	G57	MUDDY SAND
F55	MUDDY SAND	G58	SILTY SAND
F56	SILTY SAND	G59	SILTY SAND
F57	SANDY MUD	G60	MUDDY SAND
F58	SANDY SILT	G61	SAND
F59	SILTY SAND	G62	SAND
F68	MUDDY SAND	G63	MUDDY SAND
F69	SILTY SAND	G64	MUDDY SAND
F70	SILTY SAND	G65	SAND
F71	SILTY SAND	G66	MUDDY SAND
F72	SILTY SAND	G67	MUDDY SAND
F73	MUDDY SAND	G68	<i>not classified</i>
F74	MUDDY SAND	G69	MUDDY SAND
F75	SILTY SAND	G70	MUDDY SAND
F103	SILTY SAND	G71	MUDDY SAND
F106	MUDDY SAND	G72	MUDDY SAND
F107	SILTY SAND	G73	SAND
F108	SILTY SAND	G74	MUDDY SAND
F109	SILTY SAND	G75	MUDDY SAND
F110	SILTY SAND	G76	MUDDY SAND
F114	MUDDY SAND	G77	MUDDY SAND
G47	MUDDY SAND	G78	MUDDY SAND
G48	MUDDY SAND	G79	MUDDY SAND
G49	MUD	G80	MUDDY SAND
G50	MUDDY SAND	G81	MUDDY SAND

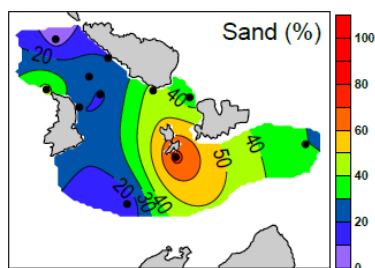
Βασιζόμενοι στα δεδομένα που εξήχθησαν από το πρόγραμμα SEDPLOT, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων (32) ανήκει στην κατηγορία της **πηλούχου άμμου** (MUDDY SAND). Η αμέσως επόμενη κατηγορία με τα περισσότερα δείγματα είναι αυτή της ιλυώδους άμμου με αριθμό 15 δειγμάτων. Τα δείγματα G61, G62, G65 και G73 αποτελούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από άμμο, ενώ τα δείγματα F38 και G49 από άργιλο. Τέλος, στην κατηγορία του αμμώδη πηλού αντιστοιχούν τα δείγματα F36, F37, F45 και F57 και στην κατηγορία της αμμώδους ιλύος τα F46 και F58.

Η διαδικασία της κοκκομετρικής ταξινόμησης των ιζημάτων, ολοκληρώνεται με 11 δείγματα (F37, F47, F56, F58, F68, F70, F73, F108, G58, G64, G78), τα οποία πρωτίστως είχαν επεξεργασθεί με υδροχλωρικό οξύ, με σκοπό τη διάλυση των ανθρακικών τους στοιχείων. Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων παρατίθεται στον **Πίνακα 16** και παρουσιάζουν τα ποσοστά της άμμου, της αργίλου και της ιλύος κάθε δείγματος.

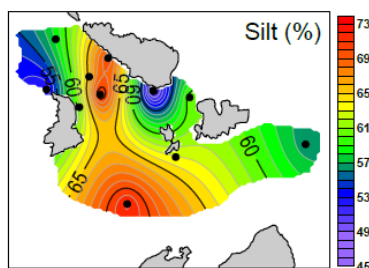
Πίνακας 16. Ποσοστά άμμου, ιλύος, αργίλου επί τοις 100 των υπό εξέταση δειγμάτων, μετά τη διάλυση των ανθρακικών συστατικών

Δείγμα	Sand %	Silt %	Clay %
F37	23,07	50,90	26,03
F47	69,60	21,21	9,19
F56	72,85	19,72	7,42
F58	40,94	44,76	14,30
F68	78,69	13,61	7,70
F70	65,40	25,54	9,06
F73	84,09	7,51	8,41
F108	68,15	21,61	10,25
G58	75,46	17,28	7,26
G64	65,16	17,78	17,05
G78	81,98	9,89	8,13

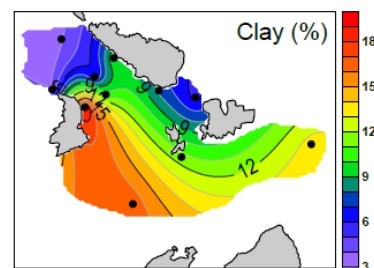
Οι χάρτες κατανομής των δειγμάτων (Χάρτες 11,12 & 13), με βάση την κοκκομετρία τους, έχουν δημιουργηθεί με τη βοήθεια του προγράμματος SURFER και παρατίθενται στη συνέχεια. Παρατηρούμε ότι το ποσοστό της ιλύος είναι εμφανώς αυξημένο σχεδόν σε όλο το πλατώ των Βορείων Κυκλάδων, με τα μικρότερα ποσοστά να εμφανίζονται στο ΝΑ τμήμα της Τήνου και στο ΒΑ τμήμα της Σύρου. Σχετικά με τα ποσοστά της αργίλου, τα μικρότερα παρατηρούνται στο στενό ανάμεσα στην Τήνο και τη Μύκονο και στο ΒΔ τμήμα της περιοχής μελέτης. Τέλος, μετά τη διάλυση των ανθρακικών συστατικών, τα ποσοστά της άμμου έχουν μειωθεί, ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται γύρω από την περιοχή της Μυκόνου.



Χάρτης 11



Χάρτης 12



Χάρτης 13

Κοκκομετρική ταξινόμηση των δειγμάτων σε άμμο, ιλύ και άργιλο στην περιοχή μελέτης μετά τη διάλυση των ανθρακικών συστατικών

4.2. Ορυκτολογική σύσταση ιζημάτων

Στο δεδομένο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι ορυκτολογικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Οι αναλύσεις αφορούν τον προσδιορισμό των ορυκτών που εμπεριέχονται στα δείγματα, μέσω της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και του διοφθάλμιου στερεοσκοπίου. Για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε μια σειρά δειγμάτων με βάση την κατανομή τους στην περιοχή μελέτης και τη χημική τους σύσταση.

- Με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, αναλύθηκαν 14 δείγματα (F36, F37, F46, F47, F55, F57, F58, F59, F70, F71, F108, G58, G64, G78) κονιοποιημένου, μη επεξεργασμένου υλικού και 8 δείγματα ιζήματος (F37, F47, F56, F58, F68, F70, F73, F108) τα οποία είχαν προσβληθεί από υδροχλωρικό οξύ (Πίνακας 17). Τα ακτινοδιαγράμματα που προέκυψαν, αποτιμήθηκαν μέσω του προγράμματος EVA και παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II.

Πίνακας 17. Ανάλυση XRD των υπό εξέταση, μη επεξεργασμένων, δειγμάτων

Δείγμα	Ορυκτά																
	QTZ	ILL	DOL	CLC	CAL	AB	ED	HL	ARG	EPH	ATH	SEP	GLN	TLC	GP	OR	ANO
F36																	
F37																	
F46																	
F47																	
F55																	
F57																	
F58																	
F59																	
F70																	
F71																	
F108																	
G58																	
G64																	
G78																	

Επεξηγηματικές σημειώσεις: **QTZ:** Χαλαζίας, **ILL:** Ιλλίτης, **DOL:** Δολομίτης, **CLC:** Κλινόχλωρο, **CAL:** Ασβεστίτης, **AB:** Αλβίτης, **ED:** Εδενίτης, **HL:** Αλίτης, **ARG:** Αραγωνίτης, **EPH:** Εφεσίτης, **ATH:** Ανθοφυλλίτης, **SEP:** Σεπιόλιθος, **GLN:** Γλαυκοφανής, **TLC:** Τάλκης, **GP:** Γύψος, **OR:** Ορθόκλαστο, **ANO:** Ανορθόκλαστο.

Πράσινο: Κύριο ορυκτό, **Πορτοκαλί:** Δευτερεύον ορυκτό, **Κόκκινο:** Ορυκτό σε πολύ μικρή ποσότητα

Μετά την εκτίμηση των παραπάνω ακτινοδιαγραμμάτων παρατηρούμε ότι σε γενικές γραμμές τα ορυκτά που εμφανίζονται στα δείγματα ιζημάτων είναι τα εξής: δολομίτης, χαλαζίας, ιλλίτης, κλινόχλωρο, ασβεστίτης, αλβίτης, εδενίτης, αλίτης, αραγωνίτης, εφεσίτης και σεπιόλιθος. Ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας και ο ιλλίτης αποτελούν τα ορυκτά με το μεγαλύτερο ποσοστό, ενώ ακολουθούν ο αλβίτης, το κλινόχλωρο και ο αλίτης. Στα δείγματα με αριθμό F36, F37, F46, F57, F58, F59, F71, F108 η ορυκτολογική εικόνα συμπληρώνεται από την ύπαρξη ανθοφυλλίτη, ο οποίος ειδικά στα 2 τελευταία δείγματα καταλαμβάνει αρκετά μεγάλο ποσοστό. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί και η ύπαρξη γλαυκοφανή στα δείγματα F57 και F70, τάλη στα F58, F59 και F70, γύψου στα F71, G58 και G78, ορθόκλαστο στο F108 και ανορθόκλαστο στο G58.

Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III**, παρατίθενται τα ακτινοδιαγράμματα των δειγμάτων που έχουν προσβληθεί από υδροχλωρικό οξύ. Για λόγους σύγκρισης, στα πέντε (F37, F47, F58, F70, F108) από τα οκτώ δείγματα που έχουν επιλεγεί, πραγματοποιήθηκαν και ορυκτολογικές αναλύσεις σε όλο το μέρος τους, πριν την αφαίρεση των ανθρακικών (**Πίνακας 18**). Τα ακτινοδιαγράμματα των οκτώ δειγμάτων που προέκυψαν με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων - Χ, αποτιμήθηκαν μέσω του προγράμματος EVA και παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 18. Ανάλυση XRD των υπό εξέταση, επεξεργασμένων με υδροχλωρικό οξύ, δειγμάτων

Δείγμα	Ορυκτά																	RCT
	QTZ	ILL	DOL	CLC	CAL	AB	ED	HL	ARG	EPH	ATH	SEP	GLN	TLC	GP	OR	ANO	
F37																		
F47																		
F56																		
F58																		
F68																		
F70																		
F73																		
F108																		

Επεξηγηματικές σημειώσεις: **QTZ:** Χαλαζίας, **ILL:** Ιλλίτης, **DOL:** Δολομίτης, **CLC:** Κλινόχλωρο, **CAL:** Ασβεστίτης, **AB:** Αλβίτης, **ED:** Εδενίτης, **HL:** Αλίτης, **ARG:** Αραγωνίτης, **EPH:** Εφεσίτης, **ATH:** Ανθοφυλλίτης, **SEP:** Σεπιόλιθος, **GLN:** Γλαυκοφανής, **TLC:** Τάλη, **GP:** Γύψος, **OR:** Ορθόκλαστο, **ANO:** Ανορθόκλαστο, **RCT:** Ριχτερίτης

Πράσινο: Κύριο ορυκτό, **Πορτοκαλί:** Δευτερεύον ορυκτό, **Κόκκινο:** Ορυκτό σε πολύ μικρή ποσότητα

Σύμφωνα με τα ακτινοδιαγράμματα, στα δείγματα, τα οποία είχαν προσβληθεί με υδροχλωρικό οξύ, αναγνωρίστηκαν τα εξής ορυκτά: χαλαζίας, εδενίτης, ιλλίτης, κλινόχλωρο, αλβίτης και εφεσίτης. Λόγω της απουσίας του ασβεστίτη, ο χαλαζίας καταλαμβάνει τη θέση του κυρίαρχου ορυκτού στα παραπάνω ιζήματα, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί ο ιλλίτης και ο αλβίτης με αρκετά μεγάλα ποσοστά. Στα δείγματα F37, F68, F70 και F73 εμφανίζεται ανθοφυλλίτης, στο F56 ριχτερίτης, στα F56, F58, F68 και F70 γλαυκοφανής, στα F56, F58 και F108 ορθόκλαστο και τάλη στα F73 και F108.

Στον **Πίνακα 19** επισημαίνονται με μπλε χρώμα τα ορυκτά που εμφανίζονται στα δείγματα (F37, F47, F58, F70, F108) μετά την επεξεργασία του υλικού με υδροχλωρικό οξύ και τη διάλυση του

ανθρακικού τους τμήματος. Παρατηρούμε, επομένως, ότι μετά την αφαίρεση των ανθρακικών συστατικών εμφανίζονται το ορθόκλαστο, ο ανθοφυλλίτης, ο γλαυκοφανής και ο τάλκης.

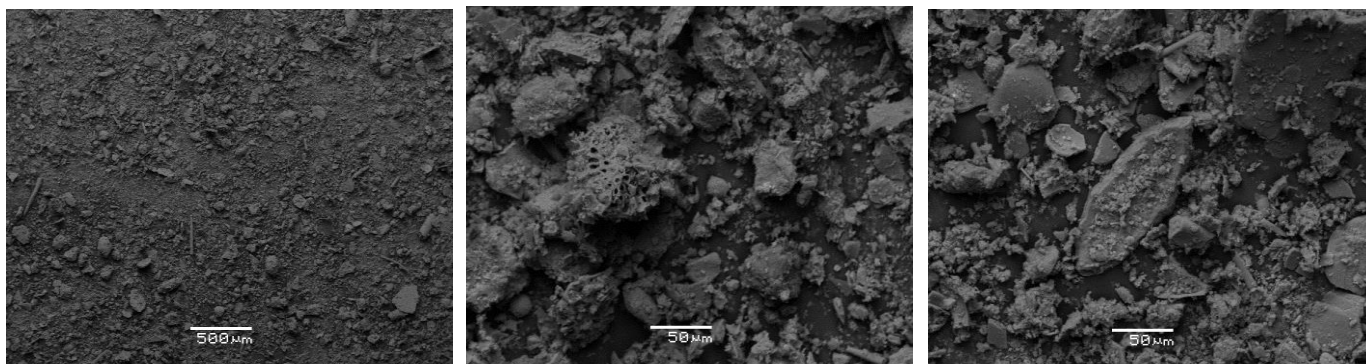
Πίνακας 19. Ορυκτά που εμφανίζονται μόνο μετά τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών

Δείγμα	Ορυκτά			
	ATH	GLN	TLC	OR
F37				
F47				
F58				
F70				
F108				

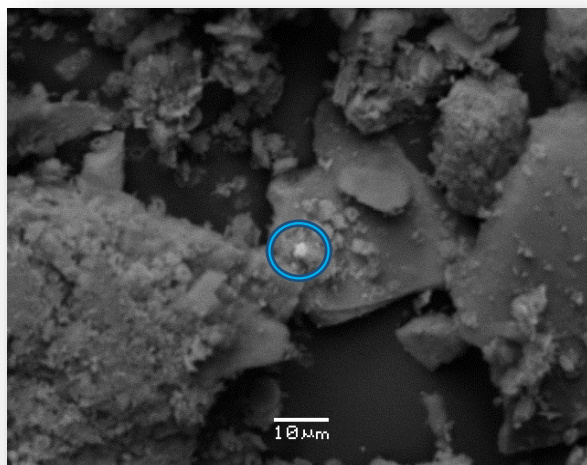
Επεξηγηματικές σημειώσεις: ATH: Ανθοφυλλίτης, GLN: Γλαυκοφανής, TLC: Τάλκης, OR: Ορθόκλαστο

- Για τη μέθοδο του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 δείγματα, εκ των οποίων τα 4 από αυτά είχαν προσβληθεί προηγουμένως με υδροχλωρικό οξύ, με σκοπό την απομάκρυνση των ανθρακικών τους στοιχείων. Βασικός γνώμονας για την επιλογή τους αποτέλεσε η υψηλή περιεκτικότητα τους σε πυρίτιο (Si) και ασβέστιο (Ca). Τα δείγματα που έλαβαν μέρος στη συγκεκριμένη μελέτη ήταν τα εξής: F46, F55, F58, F108, F114, G49, G65, G73 και τα F56, F68, F70, F56(*) αφού πρώτα είχαν επεξεργαστεί με υδροχλωρικό οξύ. Στη συνέχεια παρατίθενται εικόνες και ενδεικτικές χημικές αναλύσεις των επιλεχθέντων δειγμάτων με τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

ΔΕΙΓΜΑ F46

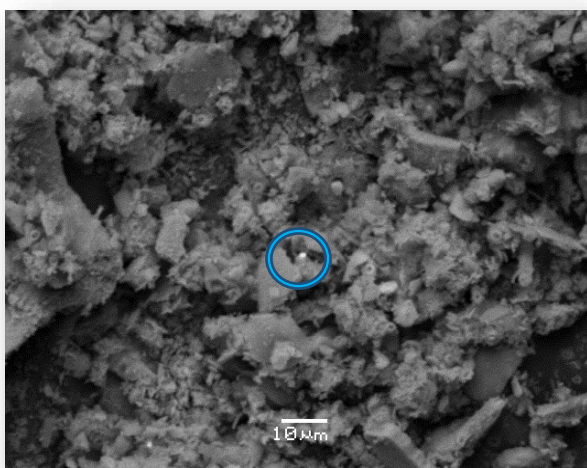


Εικόνες 23, 24, 25. Γενική μορφή δείγματος F46



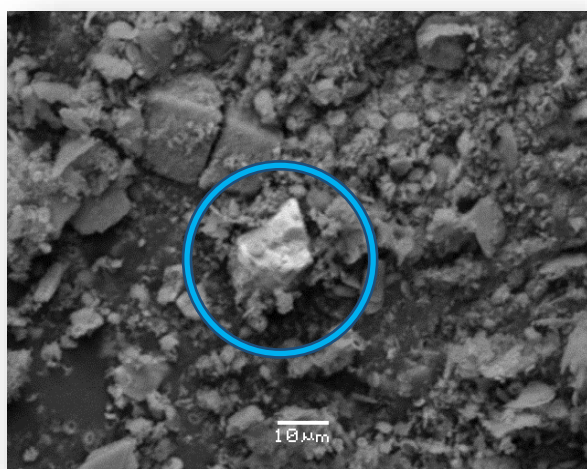
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	12.35
SiO ₂	26.39
K ₂ O	2.44
CaO	18.74
Fe ₂ O ₃	2.16
La ₂ O ₃	3.21
CeO ₂	7.33

Εικόνα 26. Μεμονωμένος κόκκος ορυκτού των σπανίων γαιών



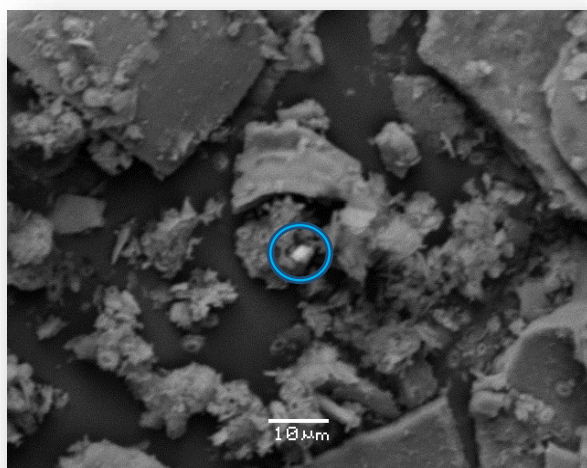
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	4.06
MgO	2.96
SiO ₂	10.15
K ₂ O	0.31
CaO	20.22
Fe ₂ O ₃	0.81
Cu ₂ O	1.45
ZrO ₂	9.22
La ₂ O ₃	8.79
CeO ₂	18.04

Εικόνα 27. Μεμονωμένος κόκκος ορυκτού των σπανίων γαιών



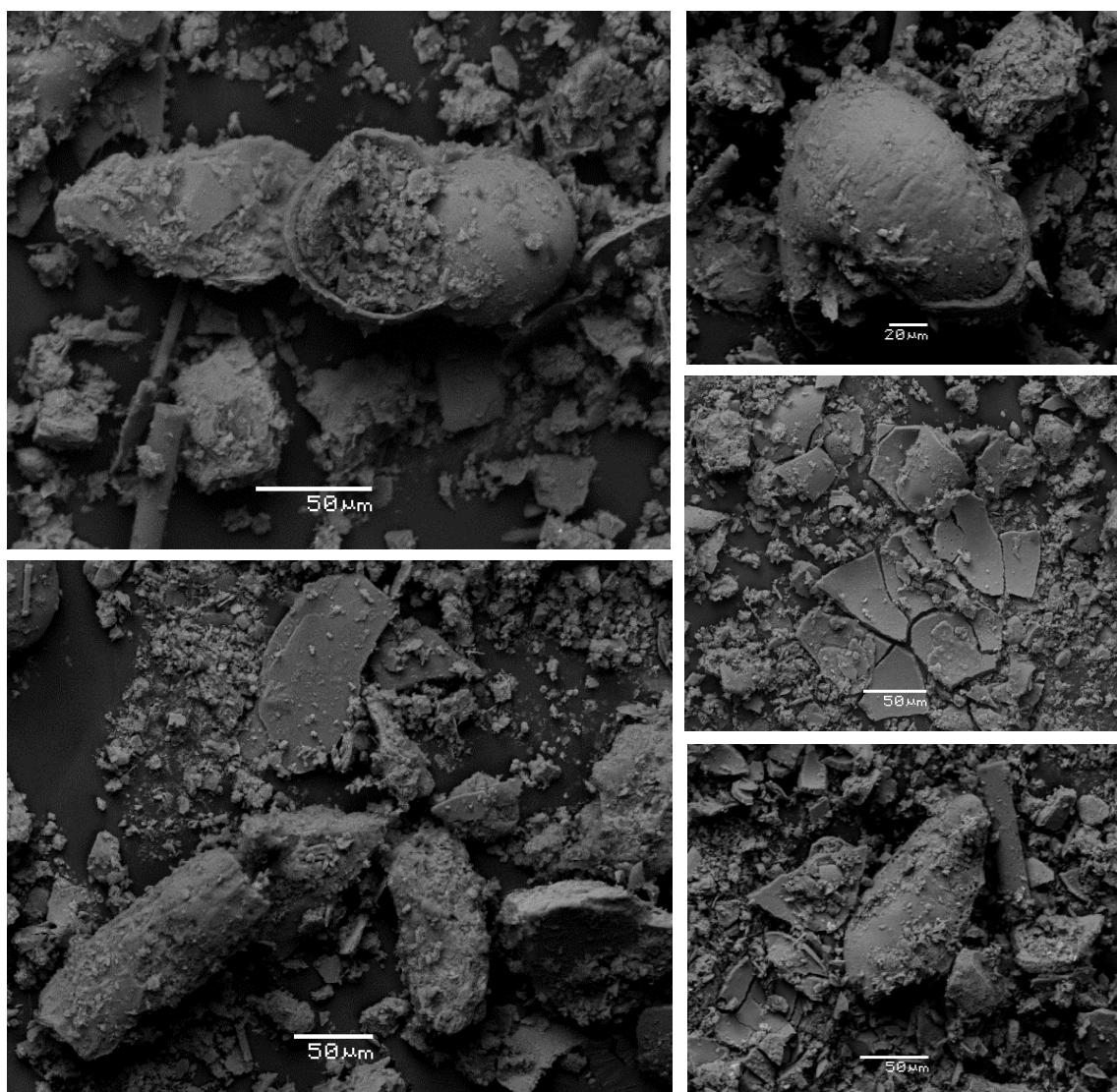
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	2.27
SiO ₂	3.22
CaO	7.33
Fe ₂ O ₃	82.90

Εικόνα 28. Κόκκος οξειδίου-υδροξειδίου του σιδήρου

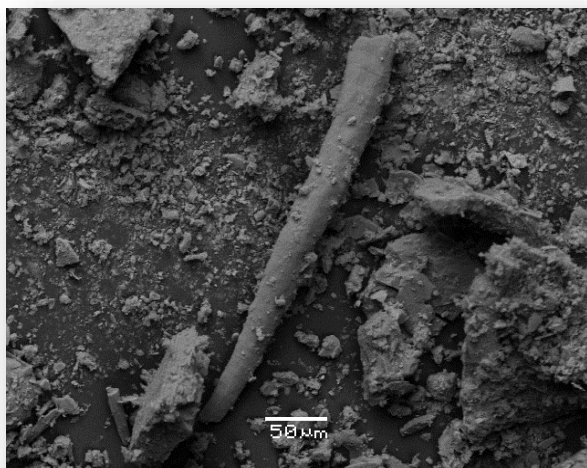


Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	5.94
MgO	3.00
SiO ₂	17.15
CaO	5.16
Fe ₂ O ₃	66.20

Εικόνα 29. Κόκκος οξειδίου-υδροξειδίου του σιδήρου

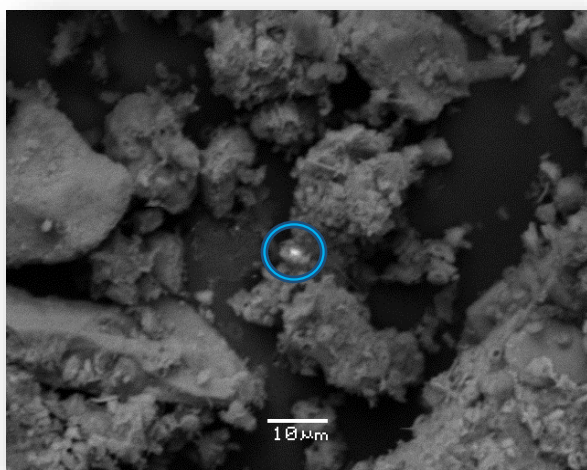


Εικόνα 30. Βιογενή ανθρακικά συστατικά του δείγματος F46



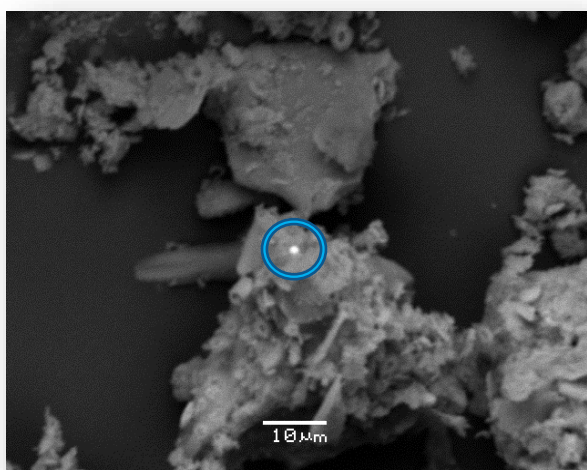
Εικόνα 31. Ασβεστιτική βελόνα

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
CO ₂	2.46
Al ₂ O ₃	0.47
MgO	2.83
SiO ₂	1.32
CaO	44.87



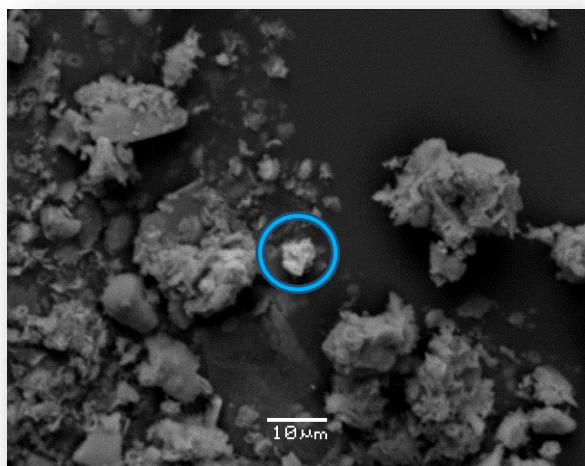
Εικόνα 32. Υπομικροσκοπικός στροντιούχος βαρύτης

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
CO ₂	11.73
Al ₂ O ₃	3.34
MgO	1.83
SiO ₂	14.18
SO ₃	6.52
K ₂ O	1.45
CaO	32.96
Fe ₂ O ₃	7.57
SrO	1.56
BaO	16.75



Εικόνα 33. Υπομικροσκοπικός κόκκος βαρύτη

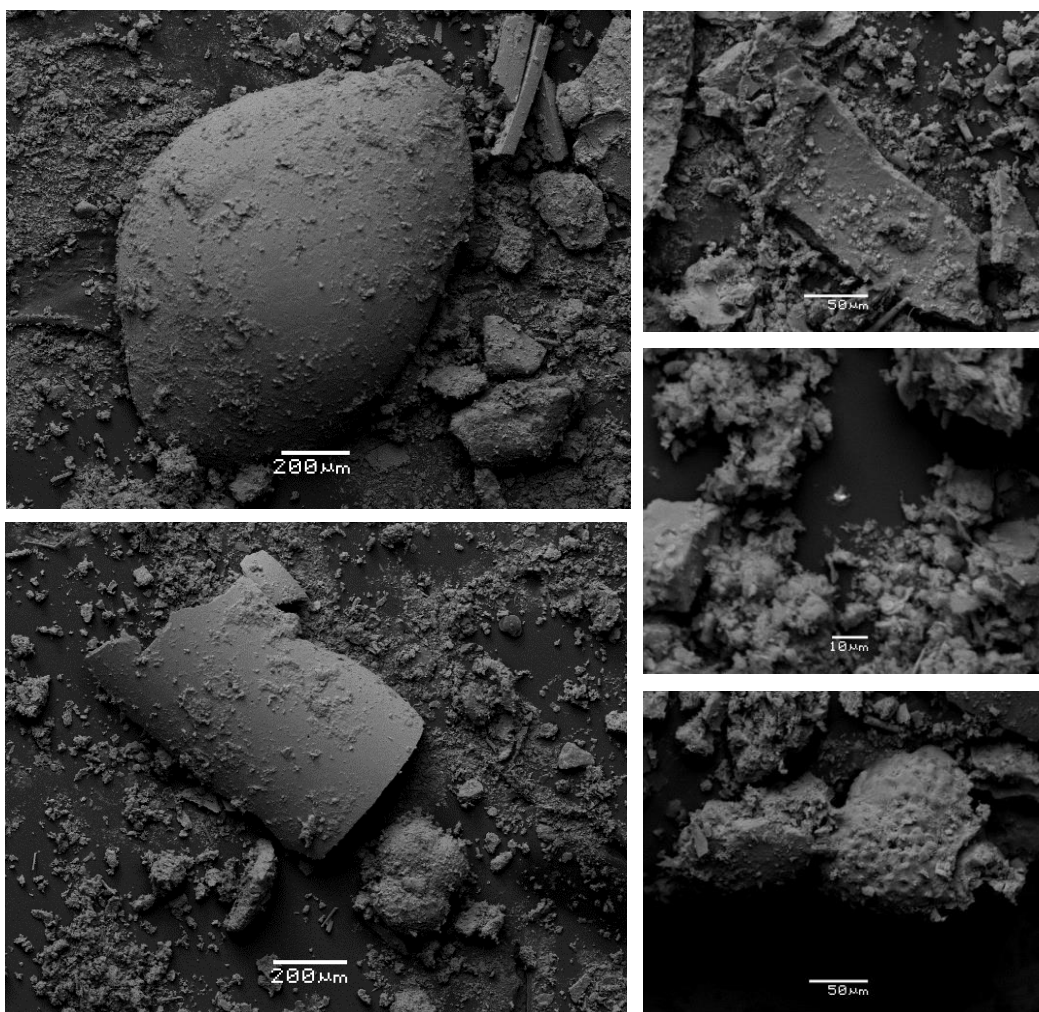
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
CO ₂	12.15
Al ₂ O ₃	4.20
MgO	2.73
SiO ₂	23.85
SO ₃	10.22
K ₂ O	0.61
CaO	10.85
Fe ₂ O ₃	1.69
BaO	16.06



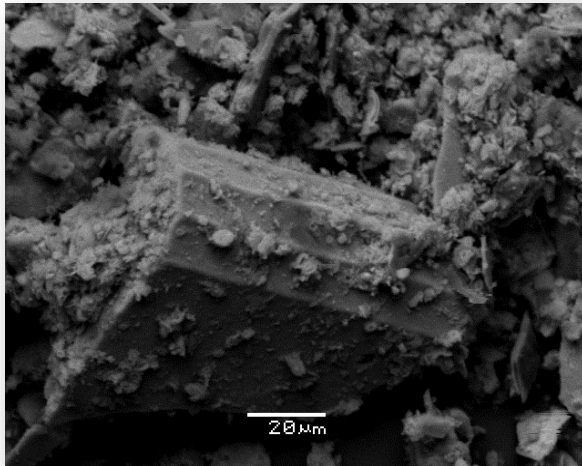
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Fe_2O_3	86.17

Εικόνα 34. Κόκκος γκαϊτίτη

ΔΕΙΓΜΑ F55



Εικόνα 35. Βιογενή ανθρακικά συστατικά του δείγματος F55



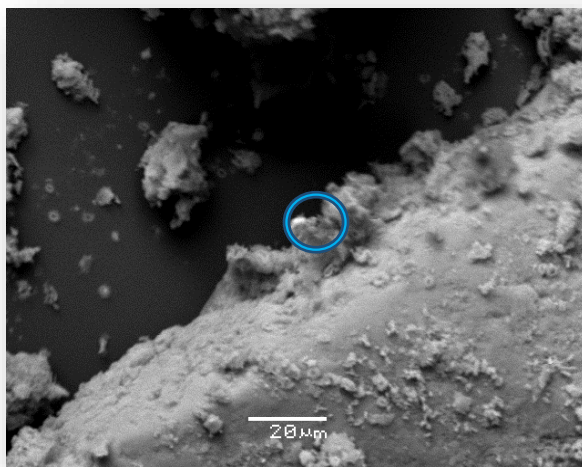
Εικόνα 36. Ασβεστιτικός κρύσταλλος

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
CO ₂	38.88
SiO ₂	1.42
CaO	54.69



Εικόνα 37. Κόκκος οξειδίων χαλκού - ψευδαργύρου

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Cu ₂ O	42.32
ZnO	30.24



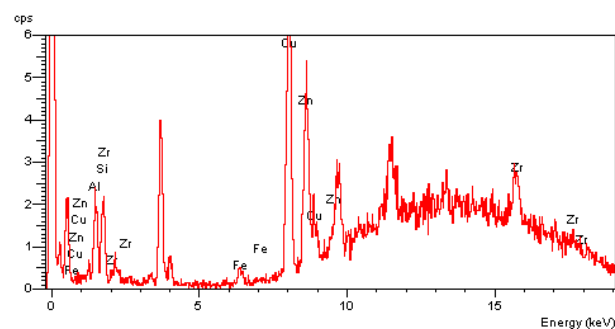
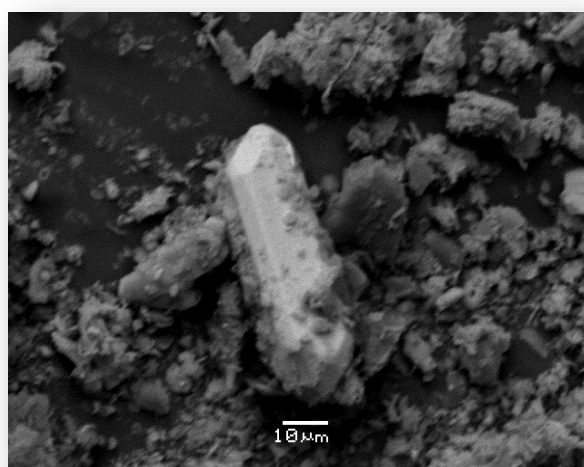
Εικόνα 38. Υπομικροσκοπικός βαρύτης που αναπτύσσεται σε ασβεστοπυριτικό υπόβαθρο

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
SiO ₂	4.20
SO ₃	29.64
CaO	5.48
BaO	44.38



Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al_2O_3	6.00
SiO_2	13.03
SO_3	18.28
CaO	7.63
Fe_2O_3	1.39
Cu_2O	1.96
BaO	33.56

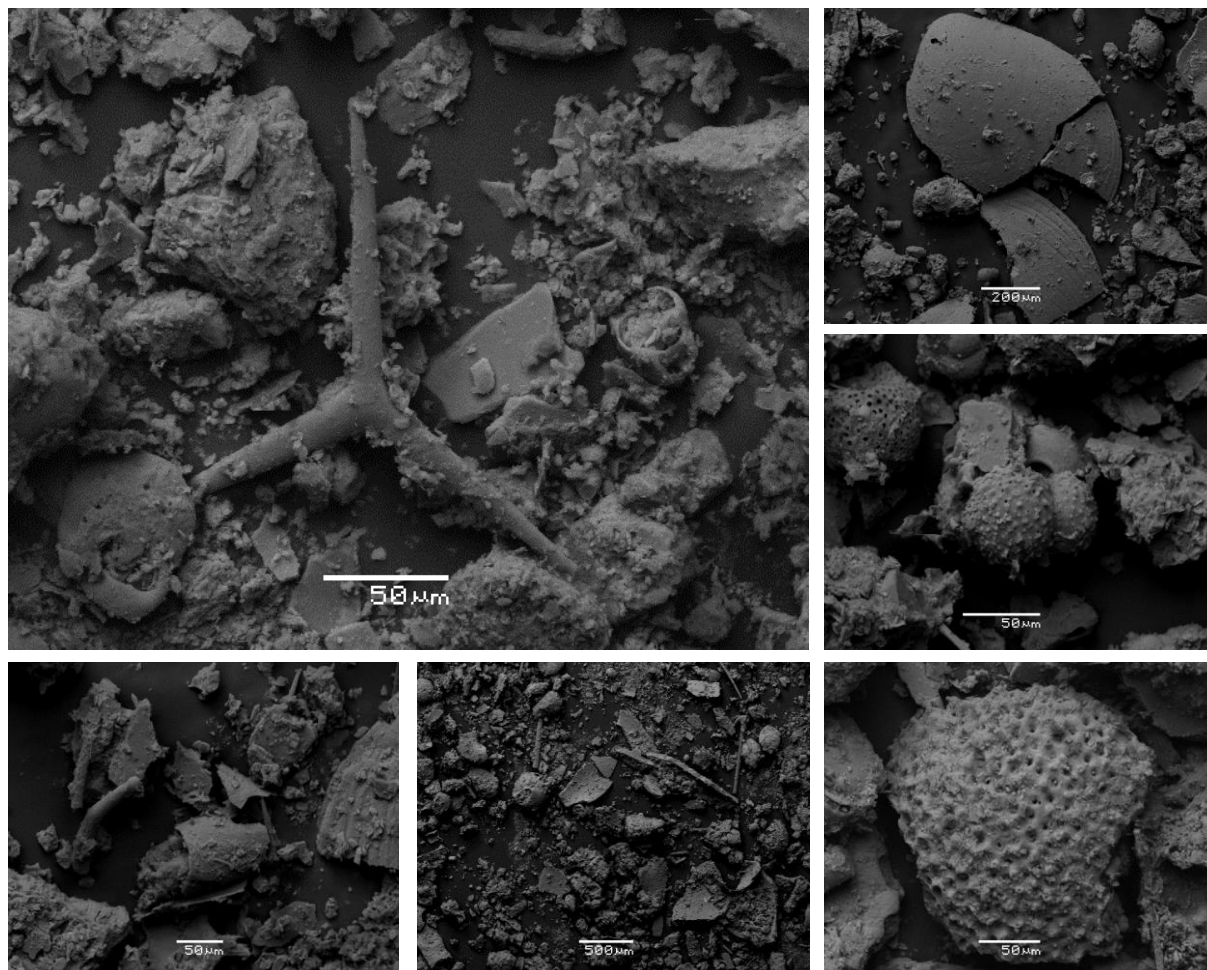
Εικόνα 39. Κόκκος βαρύτη ο οποίος συνοδεύεται από οξείδιο χαλκού



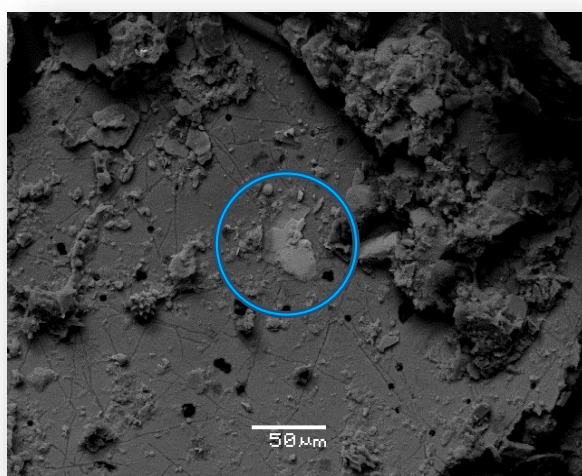
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al_2O_3	1.97
SiO_2	1.91
CaO	2.15
Fe_2O_3	0.39
Cu_2O	42.60
ZnO	30.86

Εικόνα 40. Επιμήκης κόκκος οξειδίων χαλκού - ψευδαργύρου

ΔΕΙΓΜΑ F58



Εικόνα 41. Βιογενή πυριτικά (πάνω αριστερά εικόνα) και ανθρακικά συστατικά του δείγματος F58



Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al_2O_3	0.49
SiO_2	1.01
CaO	5.04
Fe_2O_3	80.09
Cu_2O	3.48
ZnO	1.99

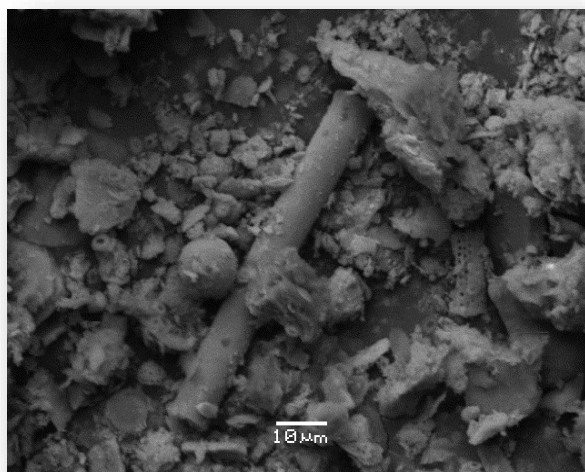
Εικόνα 42. Οξείδια – υδροξείδια σιδήρου που εγκλείουν κόκκο οξειδίων χαλκού - ψευδαργύρου



Χημικό στοιχείο(1)	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	1.22
SiO ₂	3.35
CaO	4.70
Cu ₂ O	38.84
ZnO	35.10

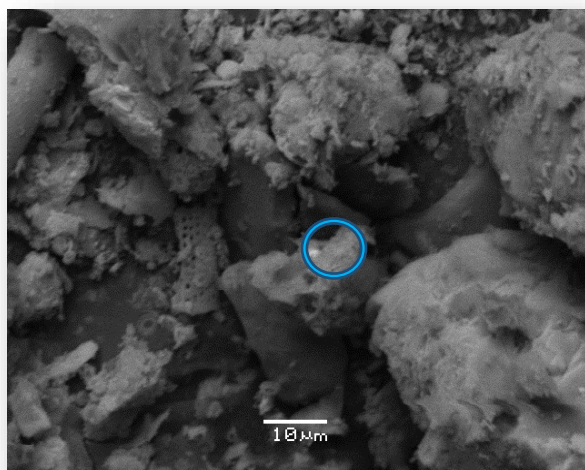
Χημικό στοιχείο(2)	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	1.38
MgO	0.59
SiO ₂	3.17
CaO	2.40
Cu ₂ O	38.68
ZnO	37.17

Εικόνα 43. Γωνιώδεις υπομικροσκοπικοί κρύσταλλοι οξειδίων χαλκού-ψευδαργύρου. Η χημική σύσταση (1) αντιστοιχεί στον λευκό κόκκο δεξιά, ενώ αντίστοιχα η χημική σύσταση (2) στον κόκκο αριστερά



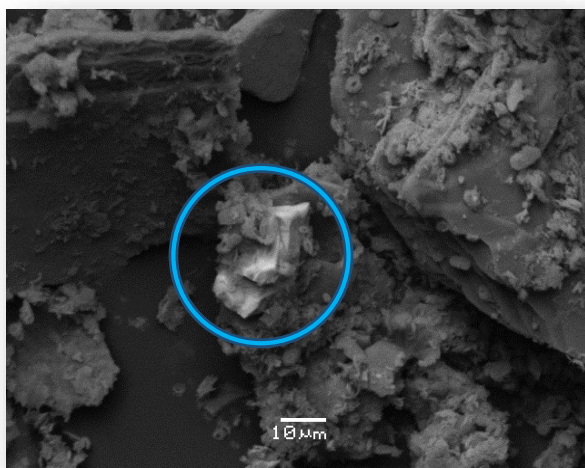
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	0.56
SiO ₂	76.30
CaO	0.86

Εικόνα 44. Πυριτιόσπογγος



Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	4.26
SiO ₂	14.13
CaO	5.21
Fe ₂ O ₃	59.91

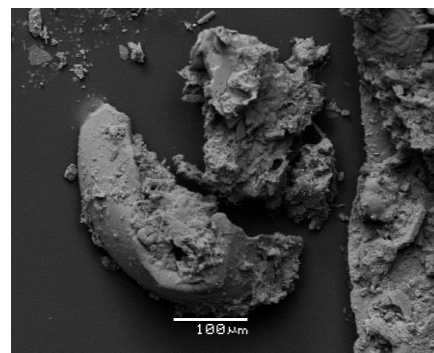
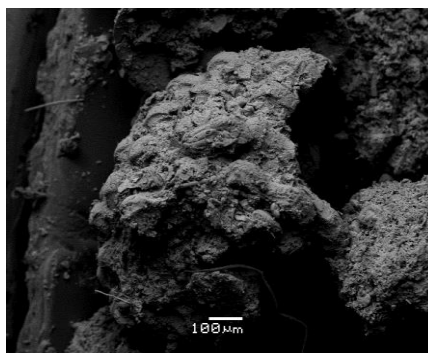
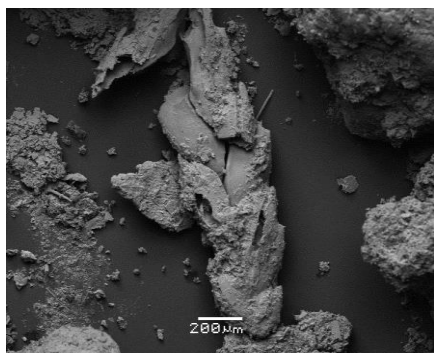
Εικόνα 45. Οξείδιο σιδήρου



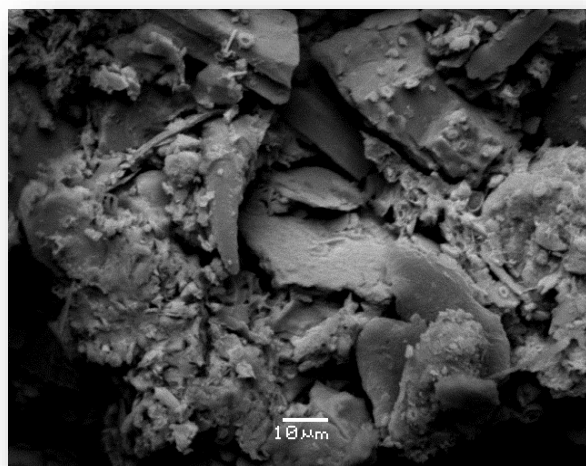
Εικόνα 46. Ορυκτό των σπανίων γαιών

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
CO ₂	23.96
SiO ₂	1.43
CaO	19.88
La ₂ O ₃	11.28
CeO ₂	21.67
Nd ₂ O ₃	6.36

ΔΕΙΓΜΑ F108



Εικόνες 47, 48, 49. Βιογενή συστατικά του δείγματος F108



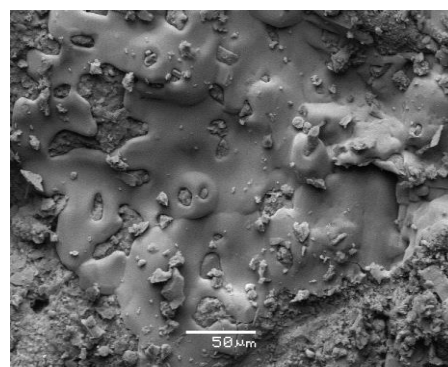
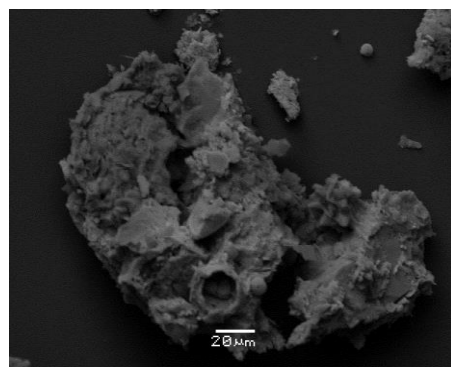
Εικόνα 50. Θραύσματα βιογενούς ασβεστιτικού υλικού

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
CO ₂	32.44
Al ₂ O ₃	5.90
MgO	4.90
SiO ₂	11.24
CaO	34.79
Fe ₂ O ₃	2.27

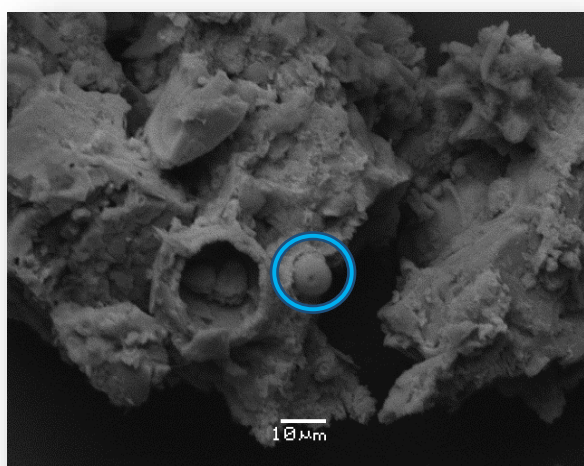


Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al_2O_3	0.82
MgO	0.40
SiO_2	0.76
CaO	0.86
Fe_2O_3	94.75

Εικόνα 51. Κόκκος γκαϊτίτη

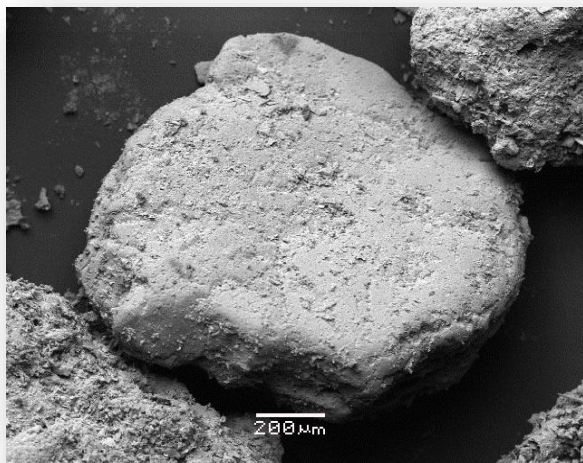


Εικόνα 52, 53. Επικάθιση ορυκτού άλατος επί των κόκκων



Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al_2O_3	7.60
MgO	4.40
SiO_2	18.85
CaO	28.50
Fe_2O_3	2.52

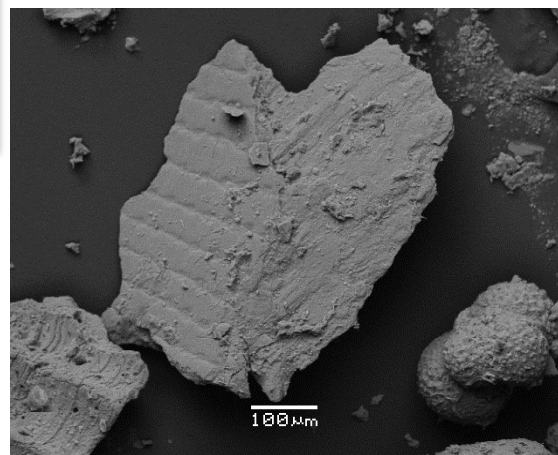
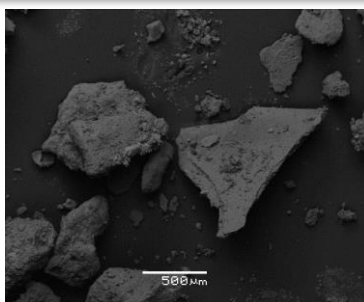
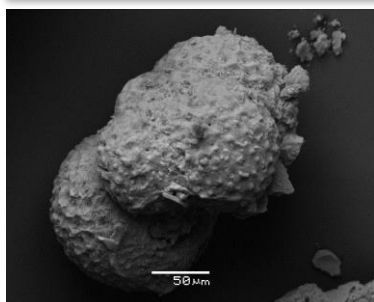
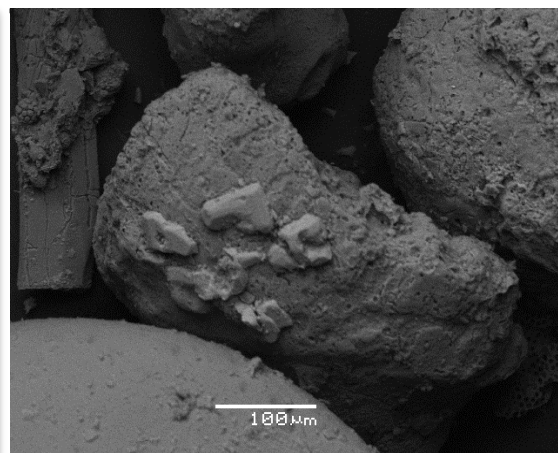
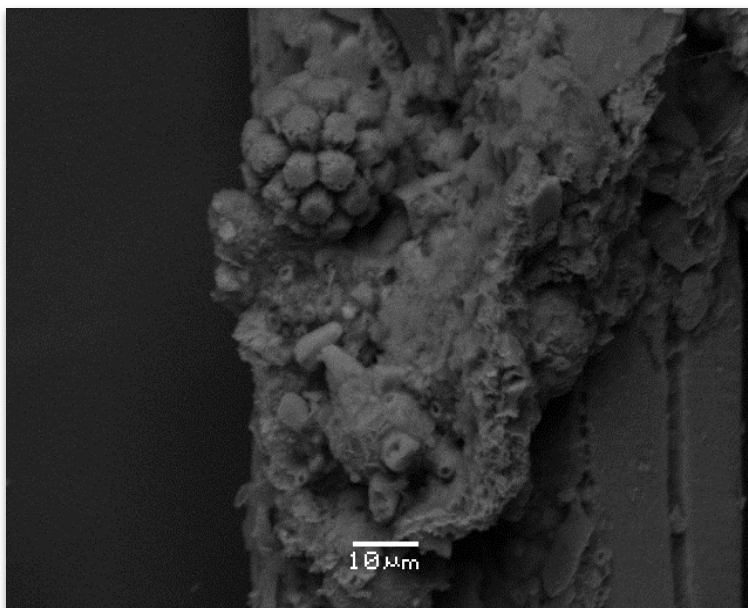
Εικόνα 54. Ασβεστιτικός κόκκος βιογενούς προέλευσης εγκλωβισμένος σε αργιλοπυριτική κύρια μάζα



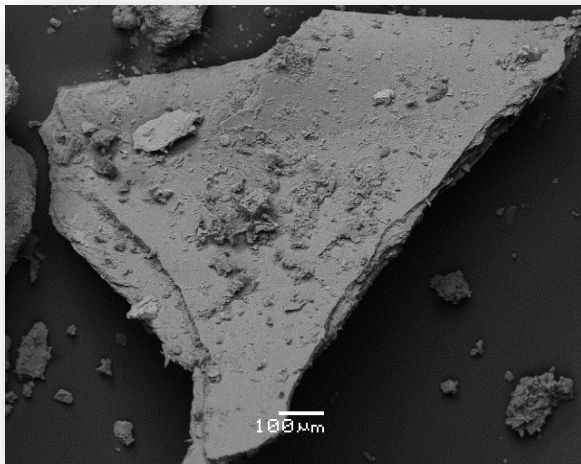
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	16.97
MgO	0.66
SiO ₂	59.27
K ₂ O	11.60
CaO	5.16
Fe ₂ O ₃	0.83

Εικόνα 55. Αποστρογγυλεμένος κλαστικός κόκκος αργιλοπυριτικού ορυκτού

ΔΕΙΓΜΑ F114

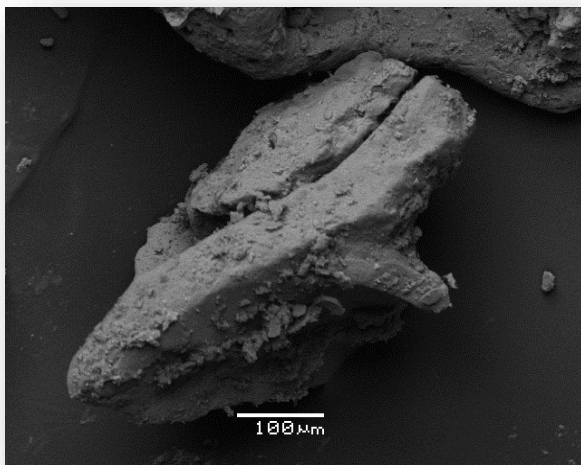


Εικόνα 56. Βιογενή ανθρακικά συστατικά του δείγματος F114



Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	3.14
MgO	2.37
SiO ₂	8.34
K ₂ O	0.23
CaO	41.93

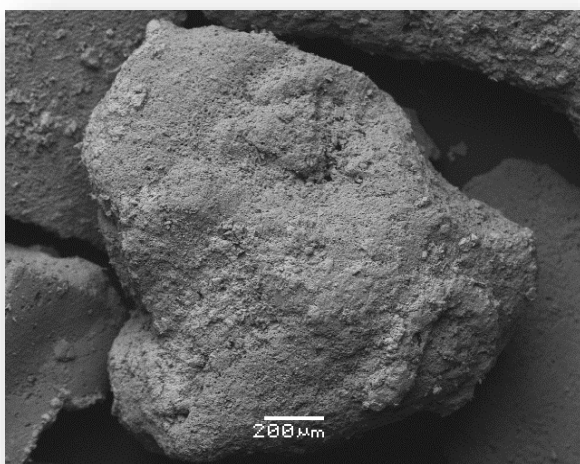
Εικόνα 57. Θραύσμα ανθρακικού κελύφους με επικαθίσεις



Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	0.67
SiO ₂	1.20
CaO	52.85

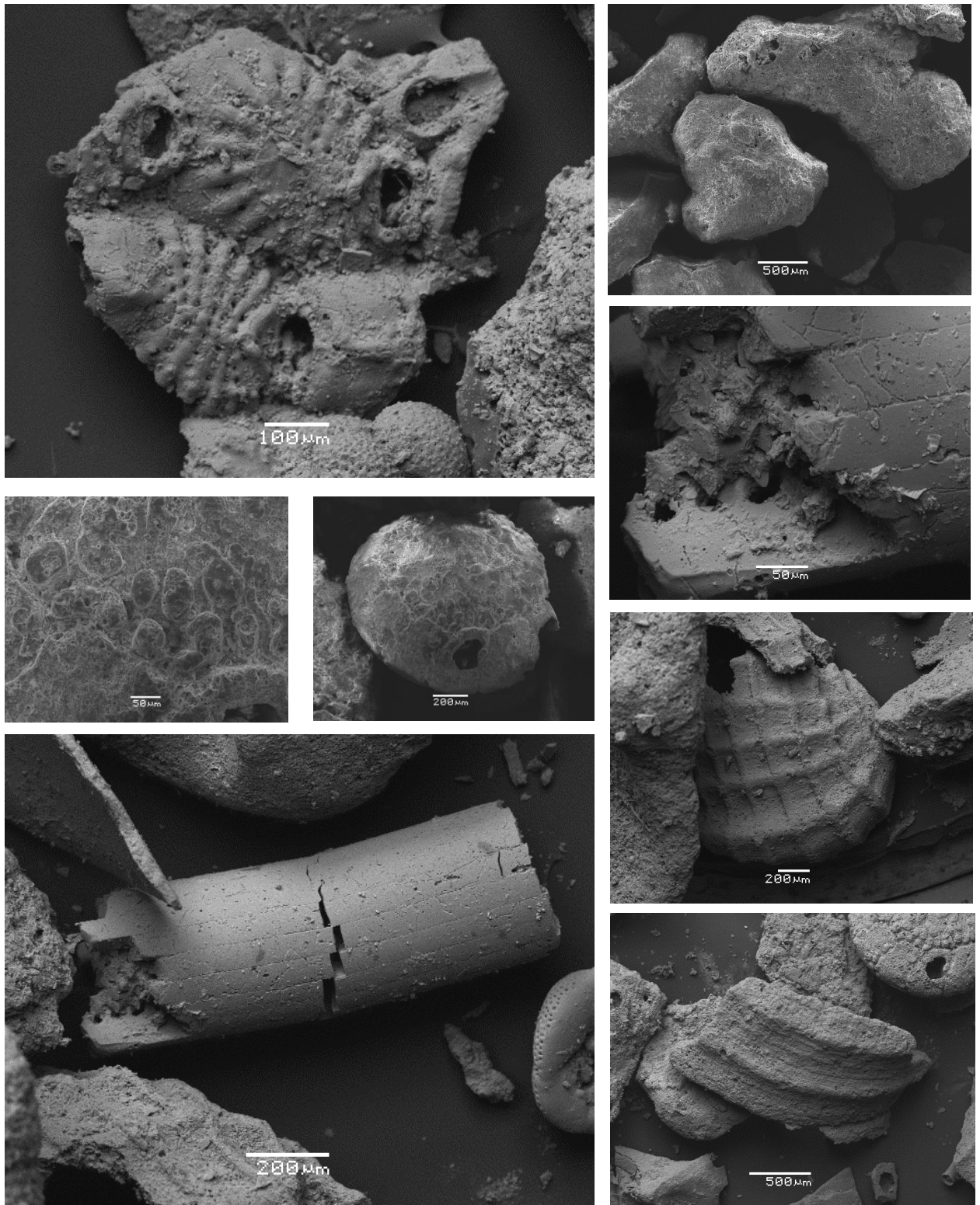
Εικόνα 58. Θραύσμα με σύσταση μαγνησιούχου ασβεστίτη, πιθανώς βιογενούς προέλευσης

ΔΕΙΓΜΑ G49

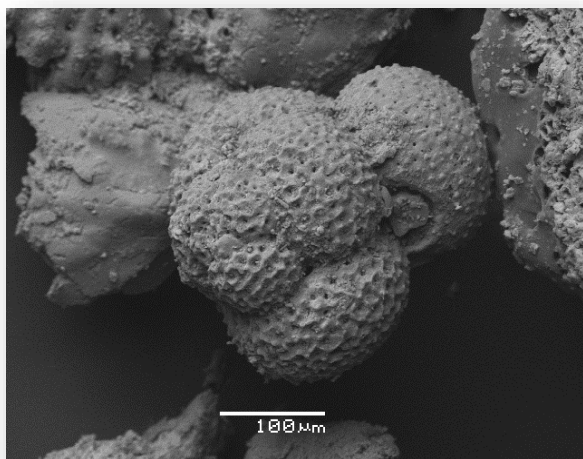


Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	1.07
MgO	7.23
SiO ₂	3.98
CaO	52.35

Εικόνα 59. Εικόνα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του δείγματος G49 και ενδεικτική χημική σύσταση κεντρικού κόκκου (μαγνησιούχος ασβεστίτης)

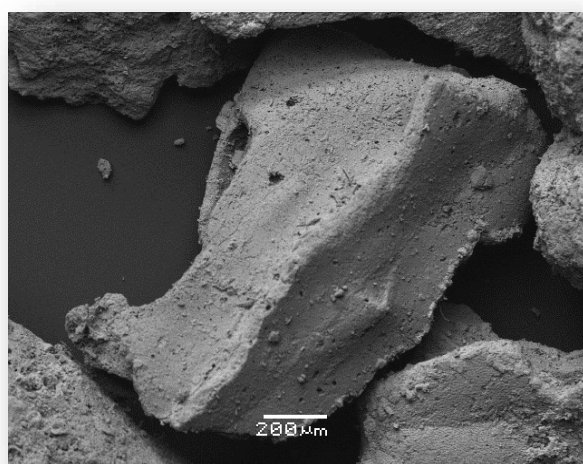


Εικόνα 60. Βιογενή συστατικά του δείγματος G49



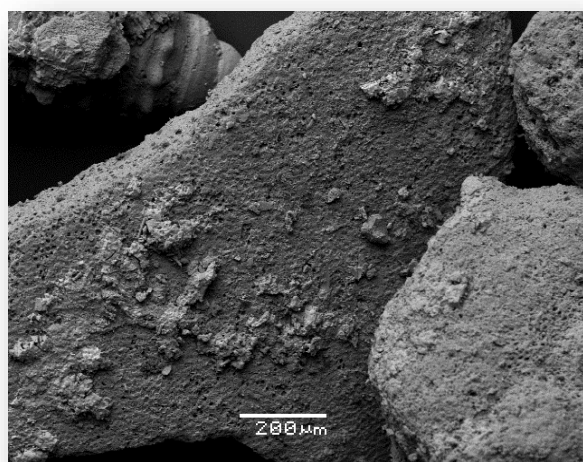
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	0.65
SiO ₂	0.93
CaO	54.52

Εικόνα 61. Βιογενής ασβεστιτικός κόκκος - Κέλυφος Τρηματοφόρου



Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	5.20
SiO ₂	3.21
CaO	49.55

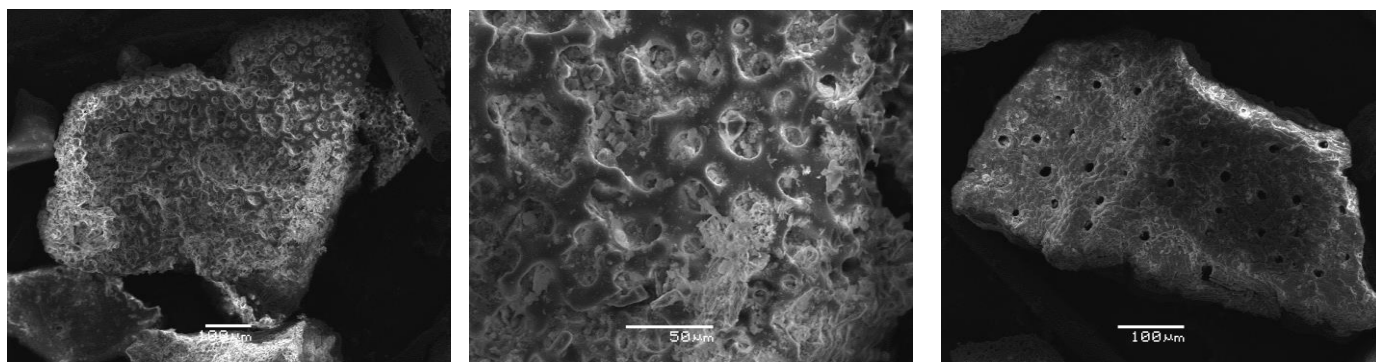
Εικόνα 62. Εικόνα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του δείγματος G49 και ενδεικτική χημική σύσταση κεντρικού κόκκου (μαγνησιούχος ασβεστίτης)



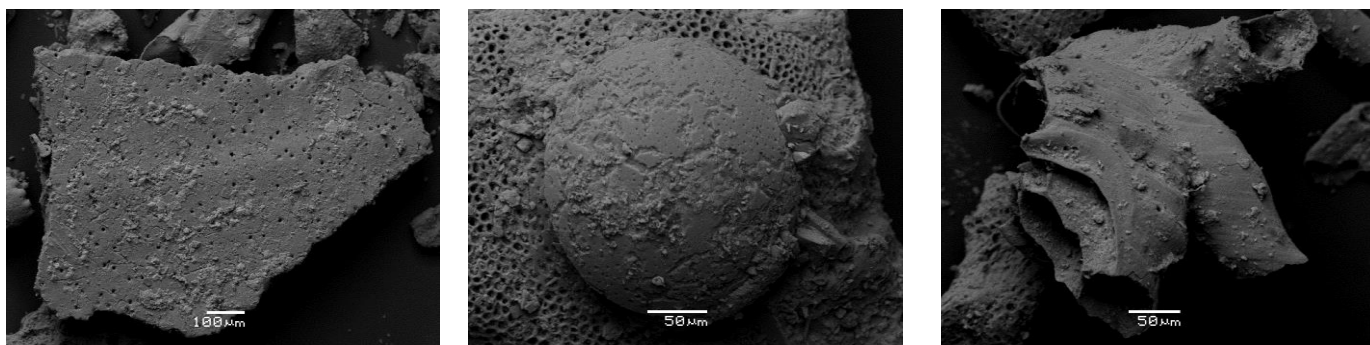
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	4.37
SiO ₂	2.80
CaO	51.01

Εικόνα 63. Θραύσμα επανεπεξεργασμένου κελύφους (μαγνησιούχος ασβεστίτης)

ΔΕΙΓΜΑ G65



Εικόνες 64, 65, 66. Επανεπεξεργασμένα θραύσματα βιογενούς προέλευσης

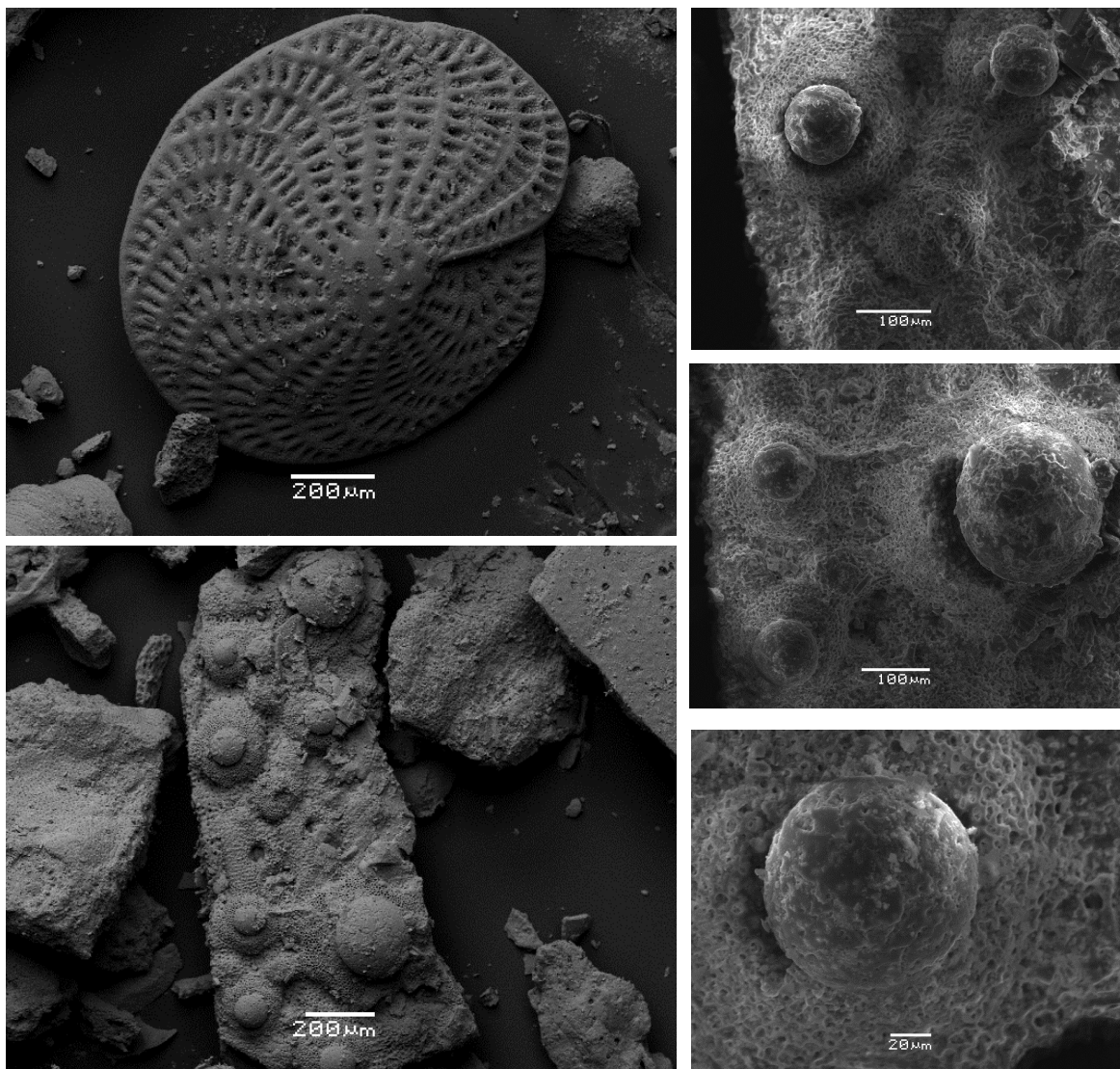


Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	2.31
SiO ₂	2.50
CaO	53.30

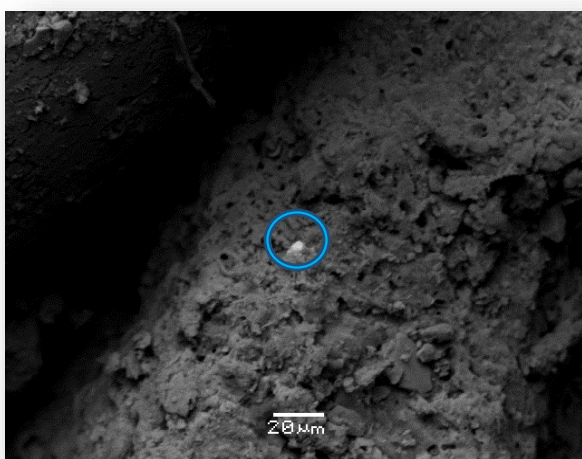
Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	2.88
SiO ₂	0.59
CaO	52.26

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	3.94
SiO ₂	0.58
CaO	54.73

Εικόνες 67, 68, 69. Θραυσμένα και διαβρωμένα κελύφη βιογενούς προέλευσης

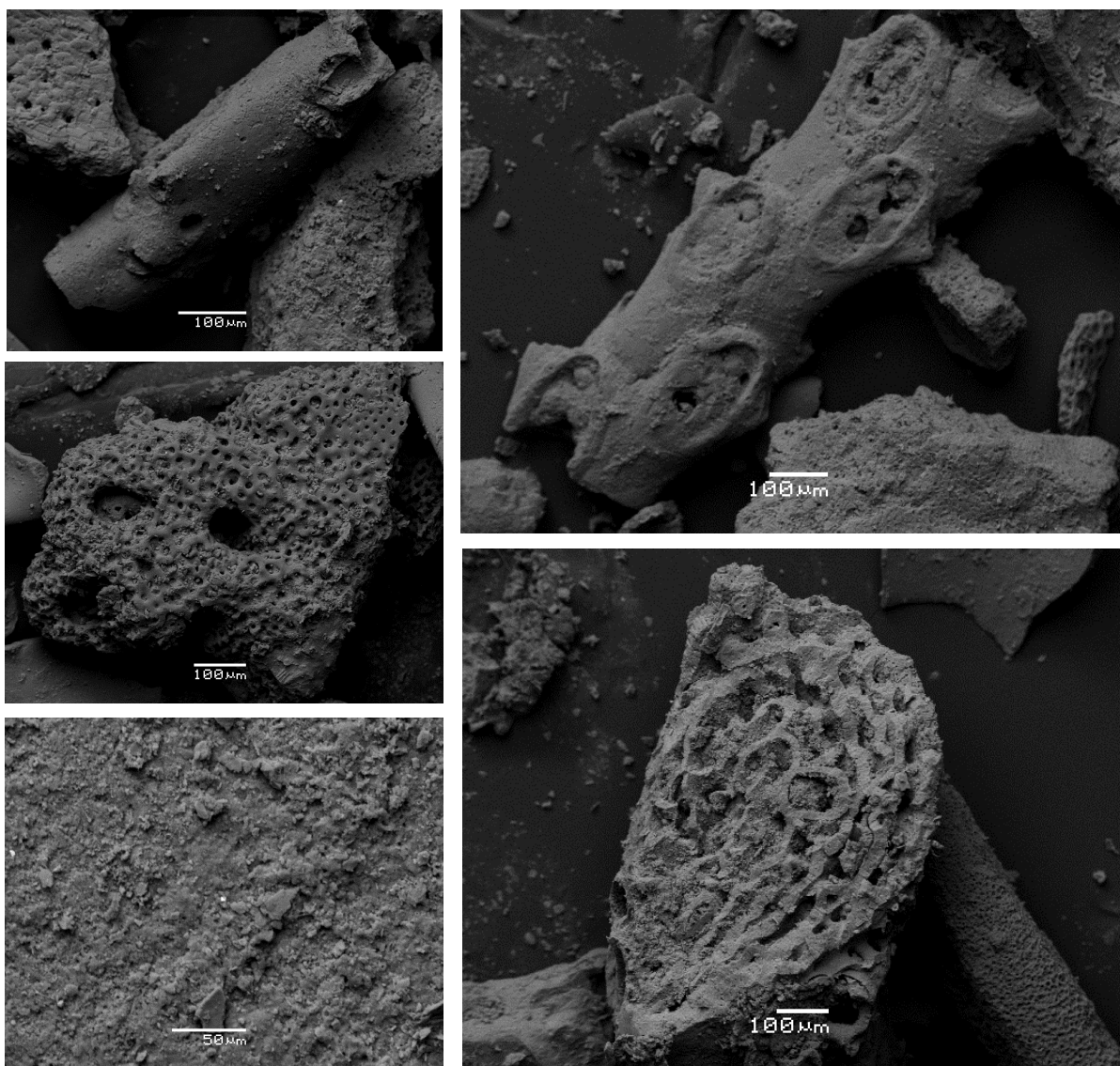


Εικόνα 70. Καλά διατηρημένα και θραύσματα βιογενούς προέλευσης

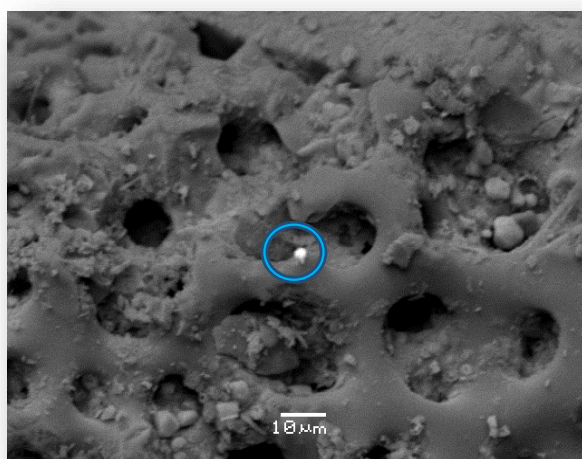


Εικόνα 71. Κόκκος βαρύτη

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	2.21
SiO ₂	4.38
SO ₃	20.38
CaO	10.03
BaO	43.79



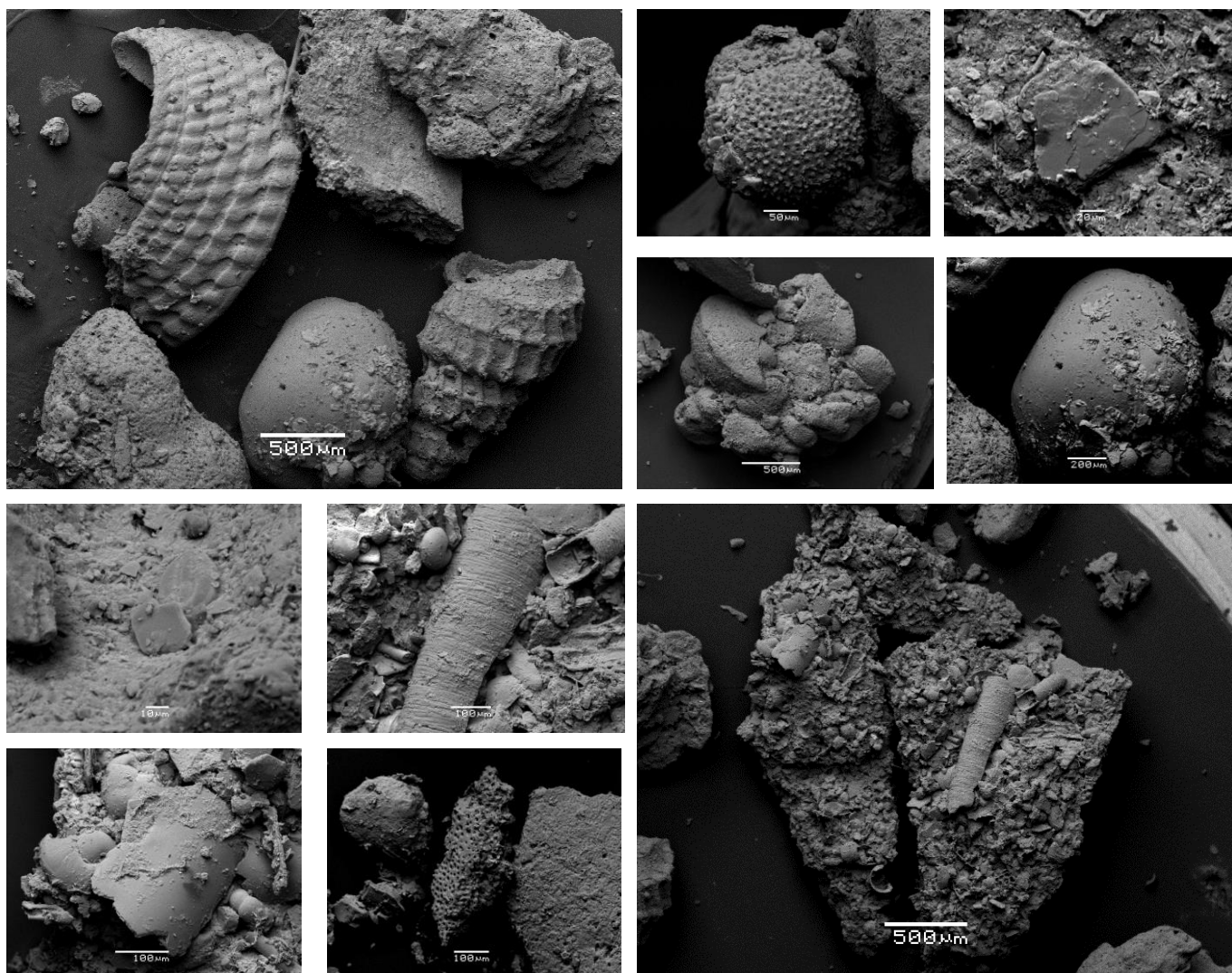
Εικόνες 72. Βιογενή συστατικά του δείγματος G65



Εικόνα 73. Οξείδια χαλκού – ψευδαργύρου

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
Cu ₂ O	52.01
ZnO	43.04

ΔΕΙΓΜΑ G73

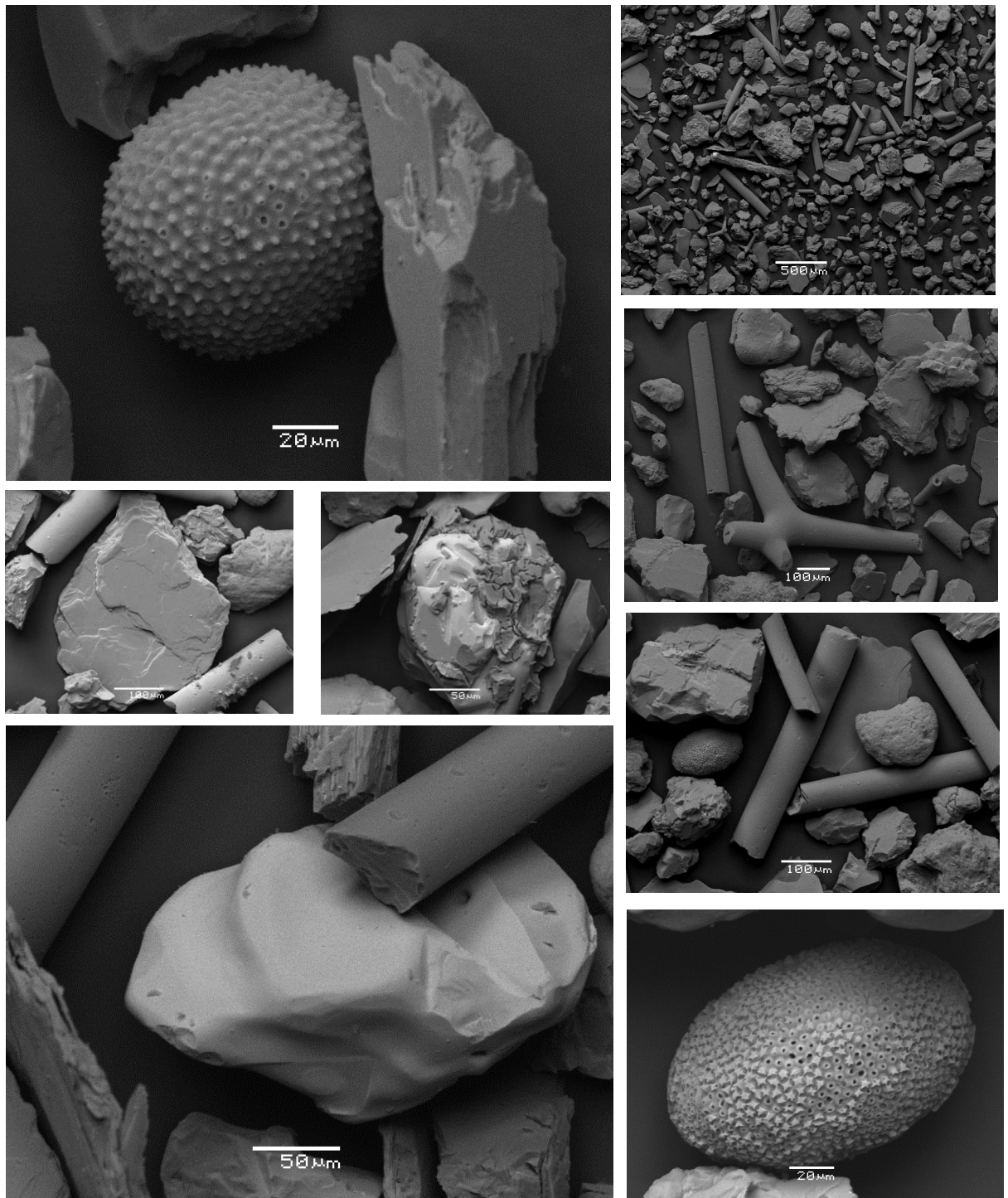


Εικόνα 74. Βιογενή συστατικά του δείγματος G73

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εικόνες με τις χημικές συστάσεις που έχουν προκύψει από το SEM, παρατηρούμε ότι τα δείγματα αποτελούνται κυρίως από ασβέστιο (Ca), πυρίτιο (Si) και αργίλιο (Al). Στα δείγματα F46 (Εικόνες: 32, 33), F55 (Εικόνες: 38, 39) και G65 (Εικόνα: 71) εμφανίζεται το βάριο (Ba), ενώ στα F46 (Εικόνες: 26, 27) και F58 (Εικόνα: 46) το λανθάνιο (La) και το δημήτριο (Ce). Θα πρέπει να επισημανθεί, επίσης, η ύπαρξη **χαλκού (Cu)** και **ψευδάργυρου (Zn)** στα δείγματα F55 (Εικόνες: 37, 40), F58 (Εικόνα: 42, 43) και G65 (Εικόνα: 73).

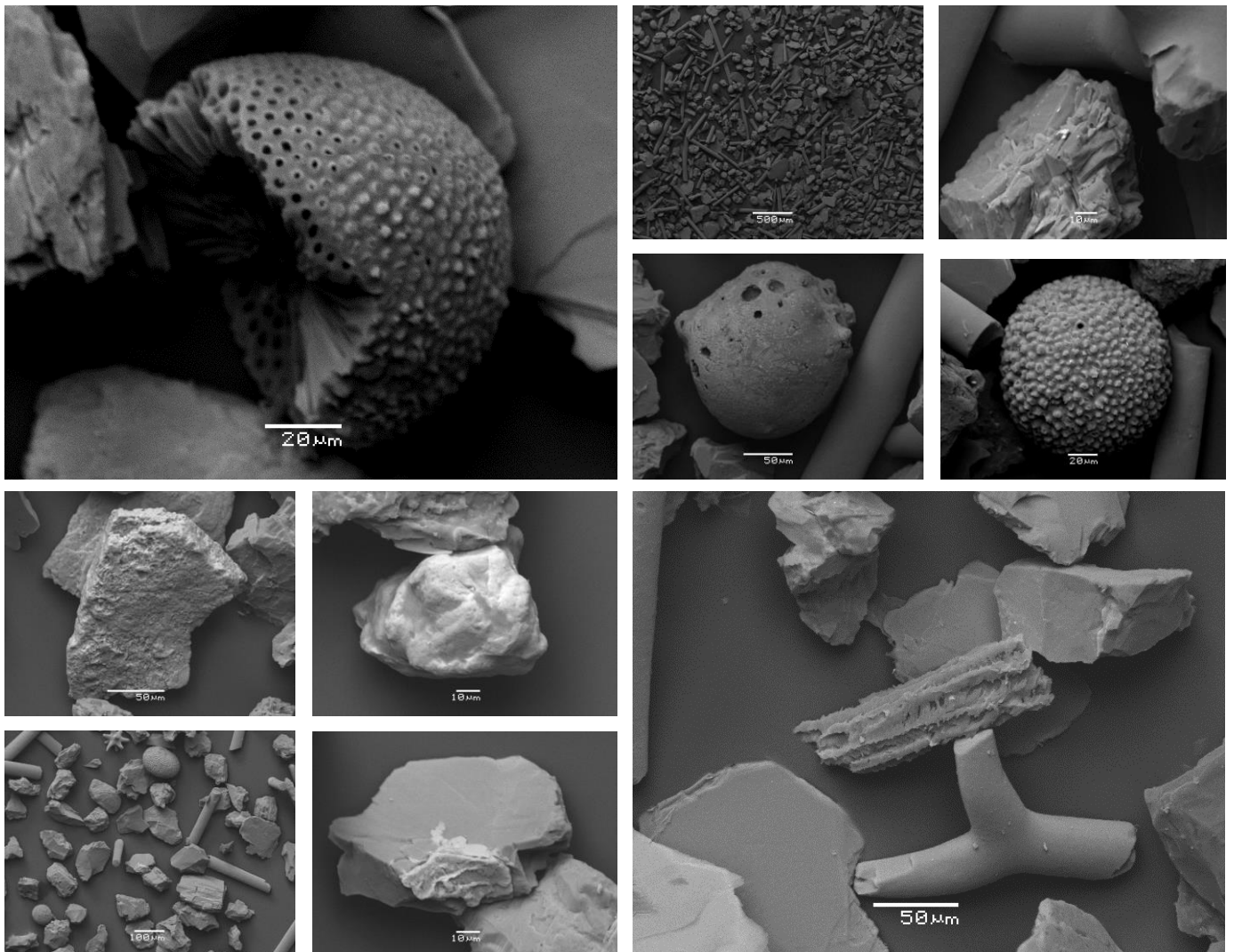
Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι πολλά από τα δείγματα (F46, F58, F108) στα οποία πραγματοποιήθηκε μέτρηση της χημικής σύστασης αποτελούνταν από σίδηρο (Fe) με ποσοστό από 55 έως 97%. Τέλος, τα δείγματα αποτελούνται κατά ένα μεγάλο μέρος από οργανικό υλικό, το οποίο αναφέρεται σε κοράλλια, τρηματοφόρα και πυριτιομαστιγωτά. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα δείγματα τα οποία είχαν πρωτίστως επεξεργαστεί με υδροχλωρικό οξύ.

ΔΕΙΓΜΑ F56



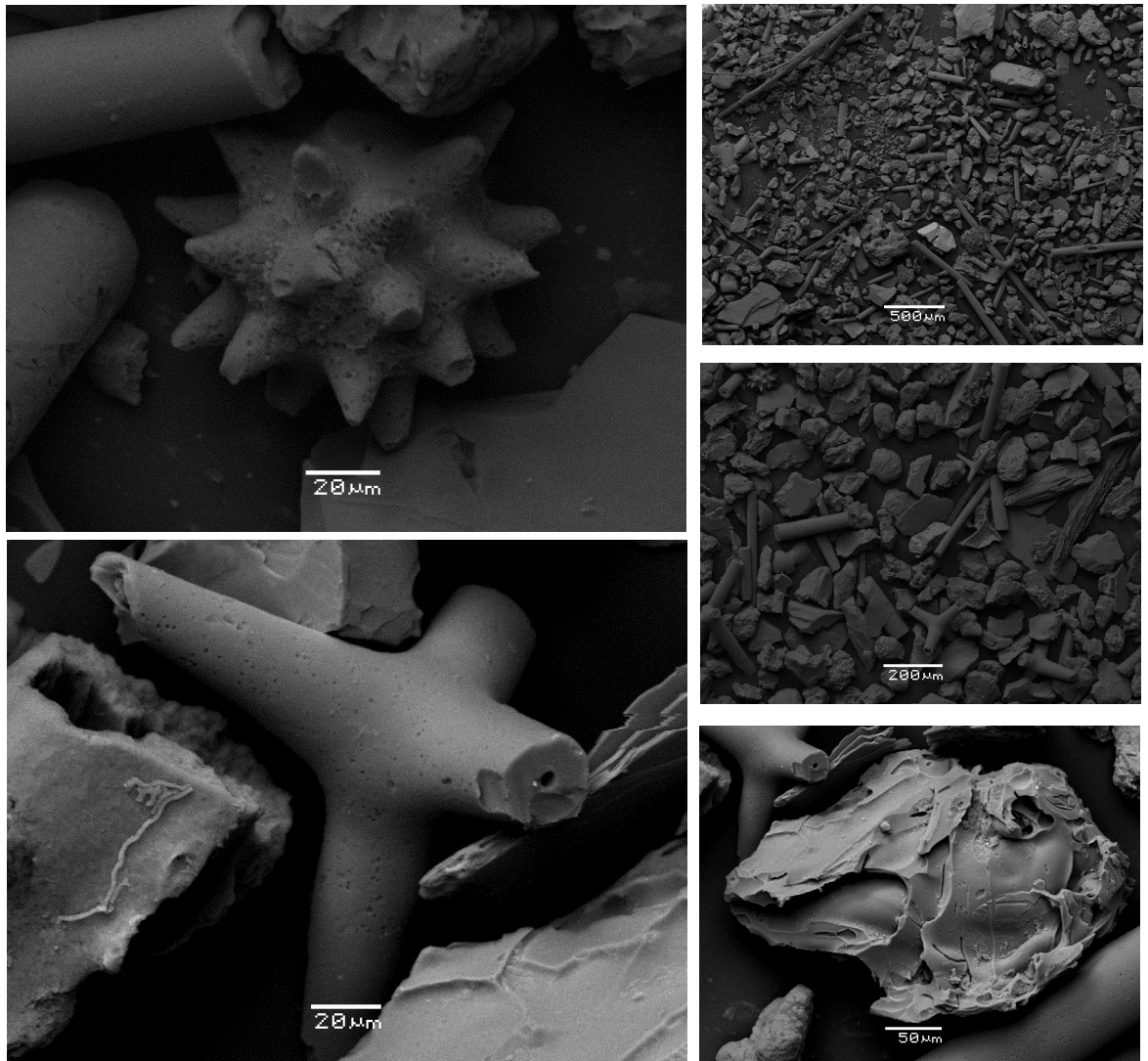
Εικόνα 75. Βιογενείς οργανισμοί πυριτικής, αμιγώς SiO_2 , σύστασης (ραδιολάρια και βελόνες σπόγγων) – Ιλμενίτης (λευκός κόκκος)

ΔΕΙΓΜΑ F68

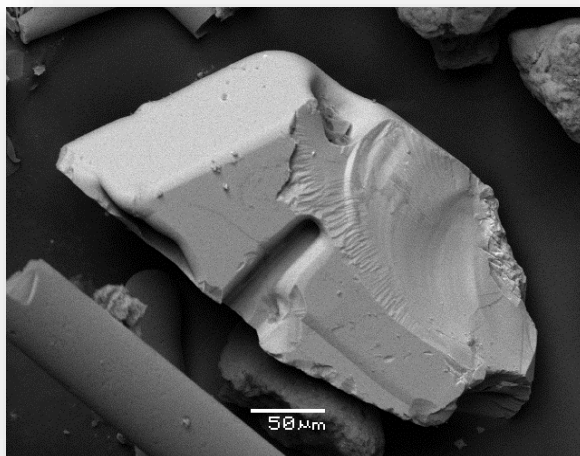


Εικόνα 76. Βιογενείς οργανισμοί πυριτικής, αμιγώς SiO₂, σύστασης (ραδιολάρια και βελόνες σπόγγων) - Ιλμενίτης (λευκός κόκκος)

ΔΕΙΓΜΑ F70

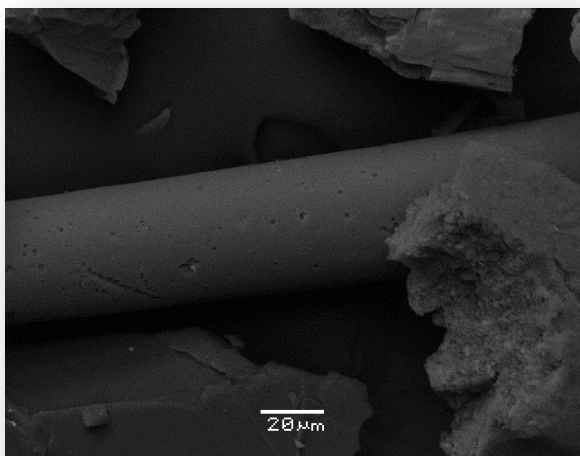


Εικόνα 77. Βιογενείς οργανισμοί πυριτικής, αμιγώς SiO_2 , σύστασης (ραδιολάρια και βελόνες σπόγγων)



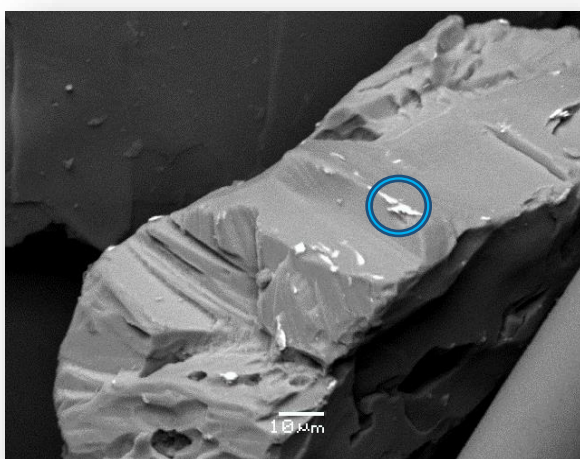
Εικόνα 78. Κόκκος ιλμενίτη

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
MgO	1.73
SiO ₂	2.63
TiO ₂	43.95
Fe ₂ O ₃	47.19



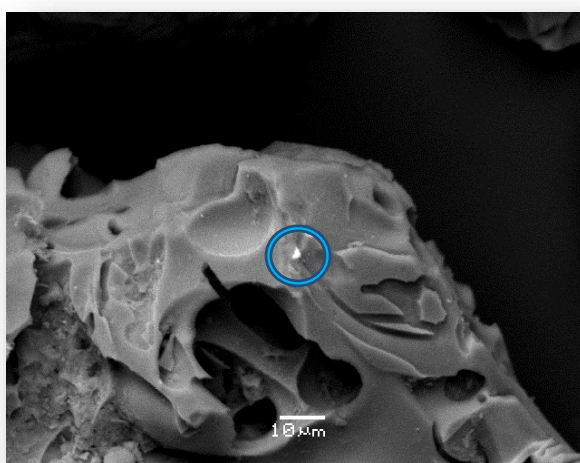
Εικόνα 79. Πυριτική βελόνα

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
SiO ₂	91.66



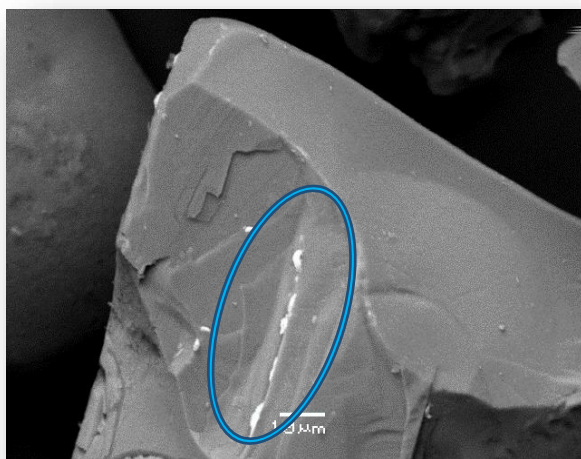
Εικόνα 80. Κόκκοι χρωμίου - νικελίου που έχουν επικαθίσει σε σιδηροπλούσια αργιλοπυριτικά ορυκτά

Χημικό στοιχείο(1)	Σύσταση (%)
Al ₂ O ₃	20.72
SiO ₂	36.69
CaO	17.25
Cr ₂ O ₃	3.65
Fe ₂ O ₃	21.09
NiO	1.52



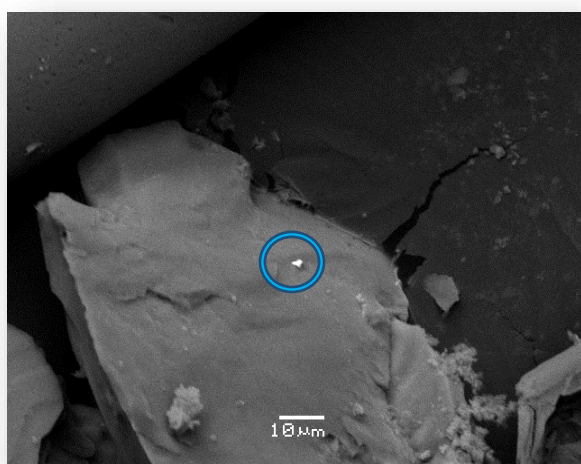
Εικόνα 81. Κόκκος χρωμίτη

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
SiO ₂	30.60
Cr ₂ O ₃	12.43
Fe ₂ O ₃	49.21



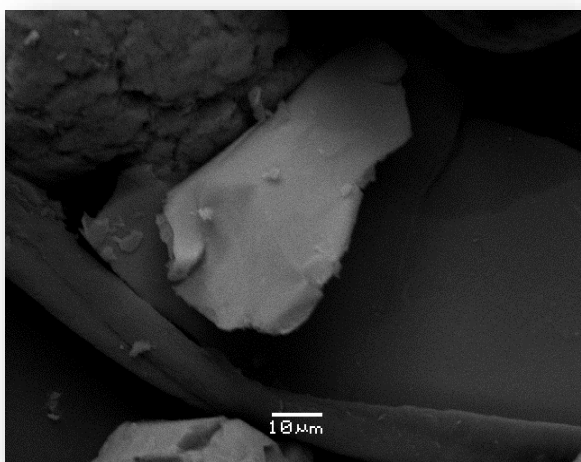
Εικόνα 82. Κόκκοι χρωμίου - νικελίου μέσα σε ολιβίνη

Χημικό στοιχείο(1)	Σύσταση (%)
MgO	4.69
SiO ₂	19.41
CaO	4.77
Cr ₂ O ₃	12.52
Fe ₂ O ₃	52.55
NiO	5.16



Εικόνα 83. Ορυκτό του μόλυβδου, πιθανώς κερουσίτης ($PbCO_3$), πάνω σε θραύσμα χαλαζιακού κόκκου

Χημικό στοιχείο	Σύσταση (%)
SiO ₂	65.62
PbO	27.45



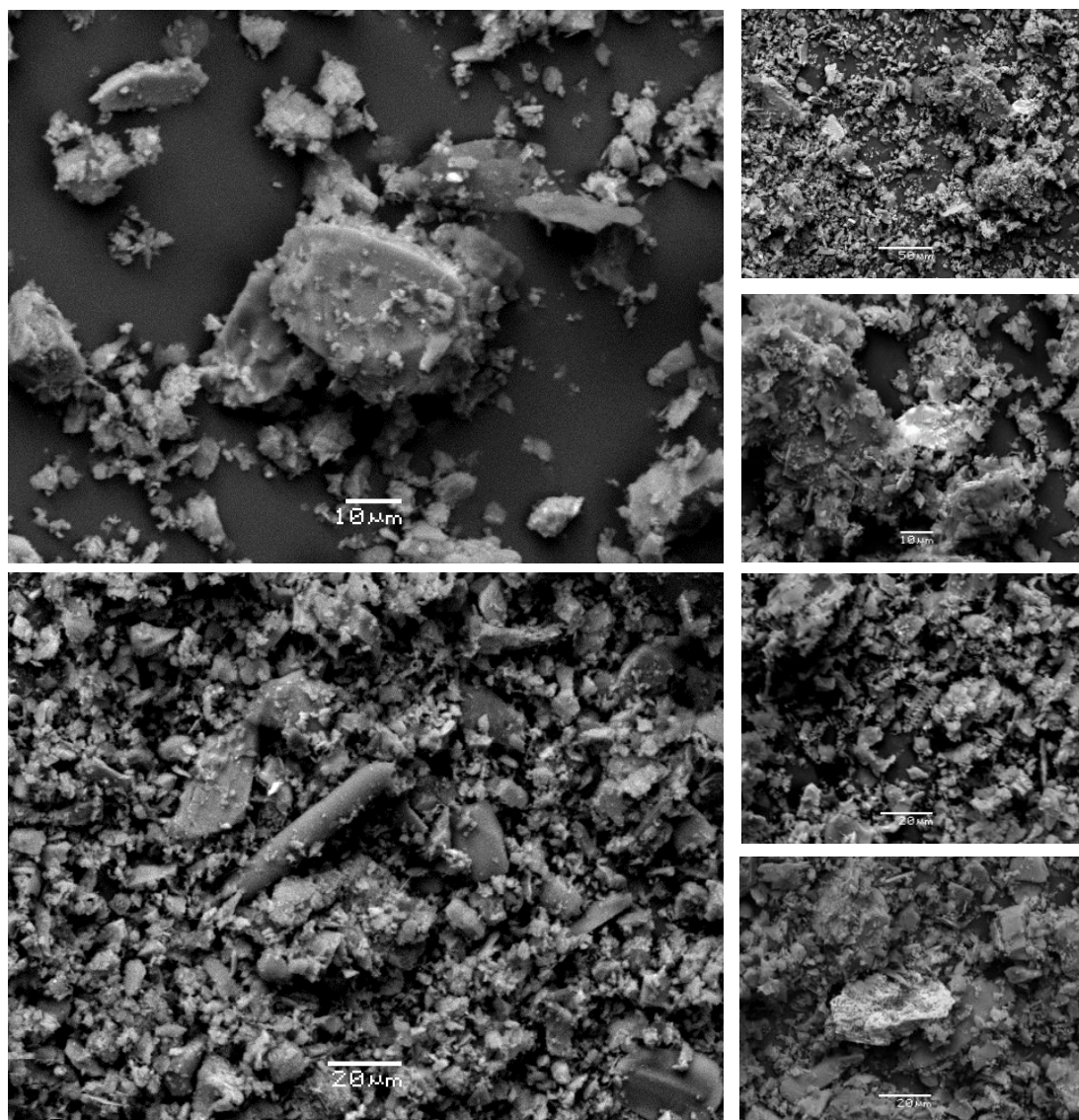
Εικόνα 84. Κρύσταλλος ολιβίνη (φαυαλίτης)

Χημικό στοιχείο(1)	Σύσταση (%)
SiO ₂	33.29
FeO	65.52

Στα, επεξεργασμένα με υδροχλωρικό οξύ, δείγματα, εμφανίζονται καθαρότερες εικόνες αφού το μεγαλύτερο μέρος των ανθρακικών υλικών έχει απομακρυνθεί. Με βάση τις χημικές συστάσεις αποτελούνται κυρίως από πυρίτιο (Si) και σίδηρο (Fe) σε αρκετά μεγάλα ποσοστά. Στο δείγμα F70 παρατηρούνται, επίσης, χρώμιο (Cr) στις **Εικόνες: 80, 81 και 82**, νικέλιο (Ni) στις **Εικόνες 80 και 82**, τιτάνιο (Ti) στην **Εικόνα 78** και μόλυβδος (Pb) στην **Εικόνα 83**. Τέλος, λόγω της πυριτικής τους σύστασης εμφανίζονται ραδιολάρια και πυριτιομαστιγωτά, τα οποία δεν απομακρύνθηκαν με τη χρήση του υδροχλωρικού οξέος.

Το τελευταίο δείγμα F56(*) έχει επεξεργαστεί με υδροχλωρικό οξύ και έχει κοσκινιστεί, με αποτέλεσμα να αποτελείται από κόκκους κάτω των 63μm. Η επίδραση του υδροχλωρικού οξέος είναι ξεκάθαρη στις παρακάτω εικόνες, με το δείγμα να εμφανίζεται αρκετά «ταλαιπωρημένο».

ΔΕΙΓΜΑ F56 (*)



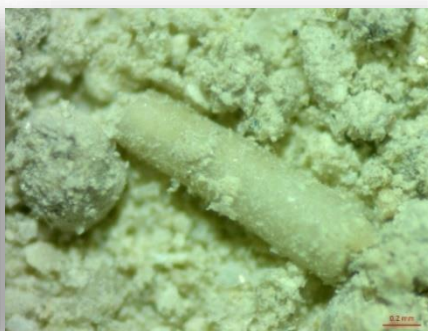
Εικόνα 85. Συνάθροιση βιογενών και ανόργανων συστατικών

- Κατά την τελευταία ορυκτολογική μέθοδο, παρατηρήθηκαν 6 δείγματα σε διοφθάλμιο στερεοσκόπιο. Τα δείγματα αυτά αποτελούνταν από το αρχικό υλικό του ιζήματος (F45, F68, F74, G49, G68). Το δείγμα F68 παρατηρήθηκε και μετά την επεξεργασία του με υδροχλωρικό οξύ, με σκοπό τη σύγκριση του με το αρχικό δείγμα. Στη συνέχεια παρατίθενται οι εικόνες που προέκυψαν από τη δεδομένη ανάλυση.

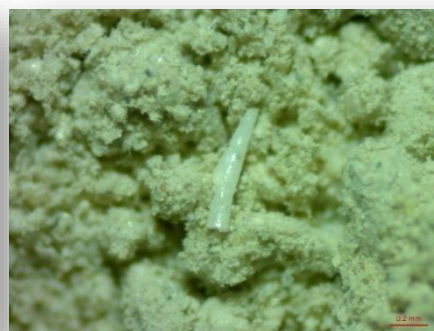
ΔΕΙΓΜΑ F45



Εικόνα 86. Γενική εικόνα δείγματος



Εικόνα 87. Τμήμα από κοράλλι



Εικόνα 88. Τμήμα από κοράλλι



Εικόνα 89. Πλαγκτονικό τρηματοφόρο



Εικόνα 90. Πυριτική βελόνα



Εικόνα 91. Βιογενές υλικό



Εικόνα 92. Τμήμα από κοράλλι



Εικόνα 93. Βενθονικό τρηματοφόρο



Εικόνα 94. Τμήμα από κοράλλι

ΔΕΙΓΜΑ F68



Εικόνα 95. Εχίνος



Εικόνα 96. Πυριτική βελόνα σπόγγου



Εικόνα 17. Γαστερόποδο



Εικόνα 98. Ασβεστιτική βελόνα



Εικόνα 99. Βενθονικό τρηματοφόρο



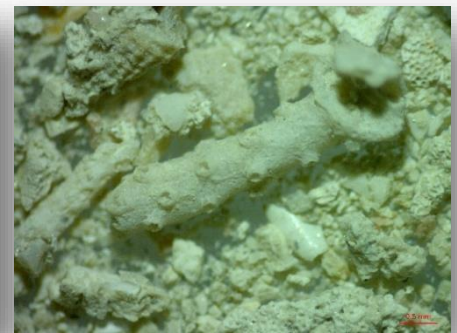
Εικόνα 100. Ασβεστιτική βελόνα



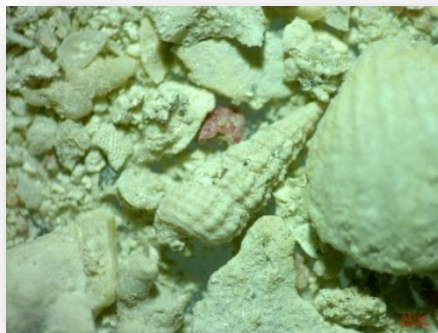
Εικόνα 101. Τρηματοφόρο



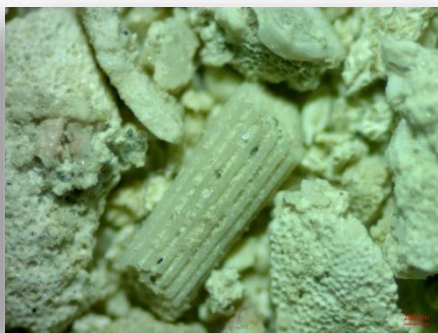
Εικόνα 102. Γαστερόποδο



Εικόνα 103. Κοράλλι



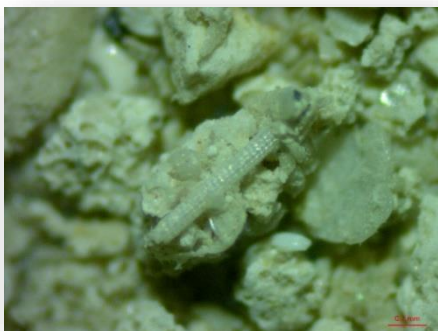
Εικόνα 104. Γαστερόποδο



Εικόνα 105. Βελόνα



Εικόνα 106. Δίθυρα



Εικόνα 107. Πυριτική βελόνα



Εικόνα 108. Κοράλλι

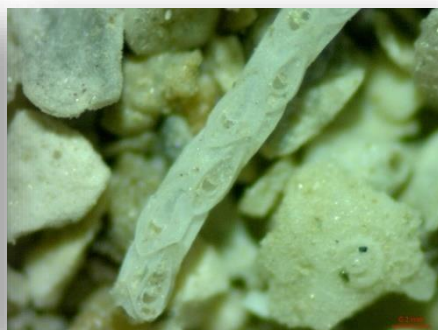


Εικόνα 109. Γαστερόποδο

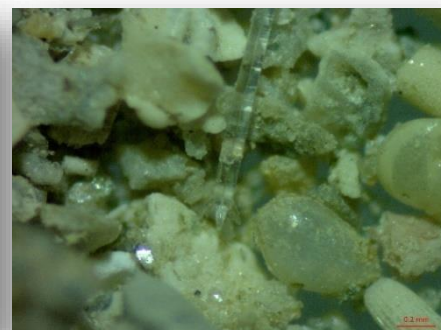
ΔΕΙΓΜΑ F74



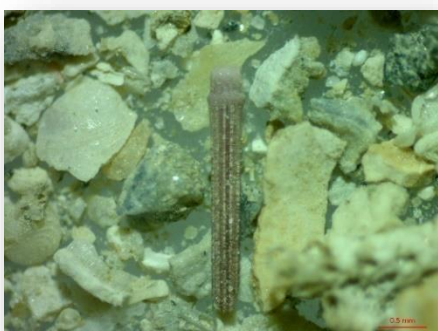
Εικόνα 110. Κοράλλια



Εικόνα 111. Κοράλλι



Εικόνα 112. Πυριτική βελόνα



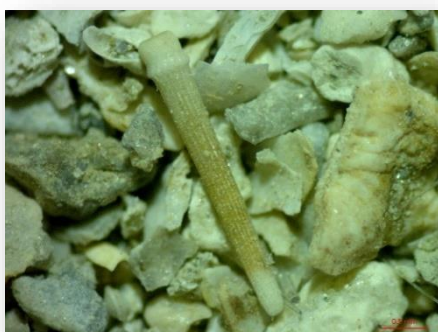
Εικόνα 113. Βελόνα



Εικόνα 114. Γαστερόποδα



Εικόνα 115. Δίθυρα



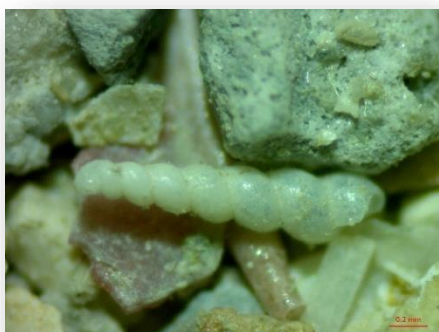
Εικόνα 116. Βελόνα



Εικόνα 117. Βελόνα



Εικόνα 118. Βενθονικό τρηματοφόρο



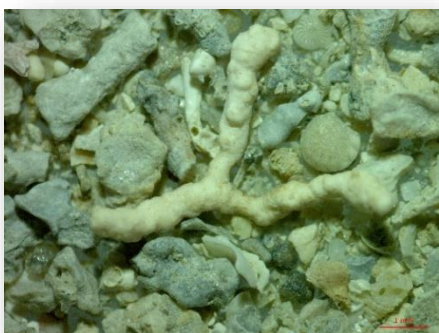
Εικόνα 119. Γαστερόποδο



Εικόνα 120. Κοράλλι



Εικόνα 121. Γαστερόποδα



Εικόνα 122. Κοράλλι

ΔΕΙΓΜΑ G49



Εικόνα 123. Κοράλλια



Εικόνα 124. Εχίνος



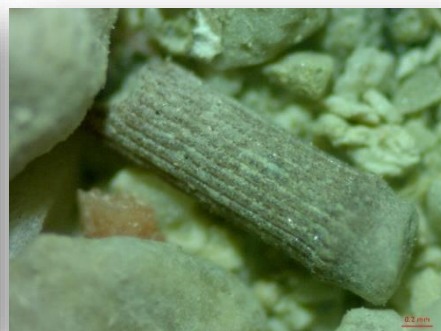
Εικόνα 125. Κοράλλι



Εικόνα 126. Κοράλλια



Εικόνα 127. Κοράλλι



Εικόνα 128. Κοράλλι



Εικόνα 128. Τρηματοφόρο



Εικόνα 129. Πυριτική βελόνα



Εικόνα 130. Κοράλλι



Εικόνα 131. Γαστερόποδο



Εικόνα 132. Βελόνα



Εικόνα 133. Βενθονικό Τρηματοφόρο - Γαστερόποδο

ΔΕΙΓΜΑ G68



Εικόνα 134. Γενική εικόνα δείγματος



Εικόνα 135. Γαστερόποδο



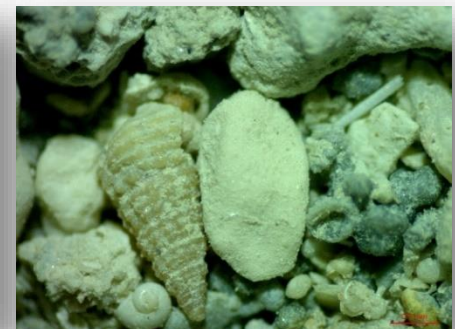
Εικόνα 136. Πυριτικό υπόλειμμα οργανισμού



Εικόνα 137. Κοράλλι



Εικόνα 138. Ασβεστιτική βελόνα



Εικόνα 139. Γαστερόποδο



Εικόνα 140. Βενθονικά τρηματοφόρα - Γαστερόποδο

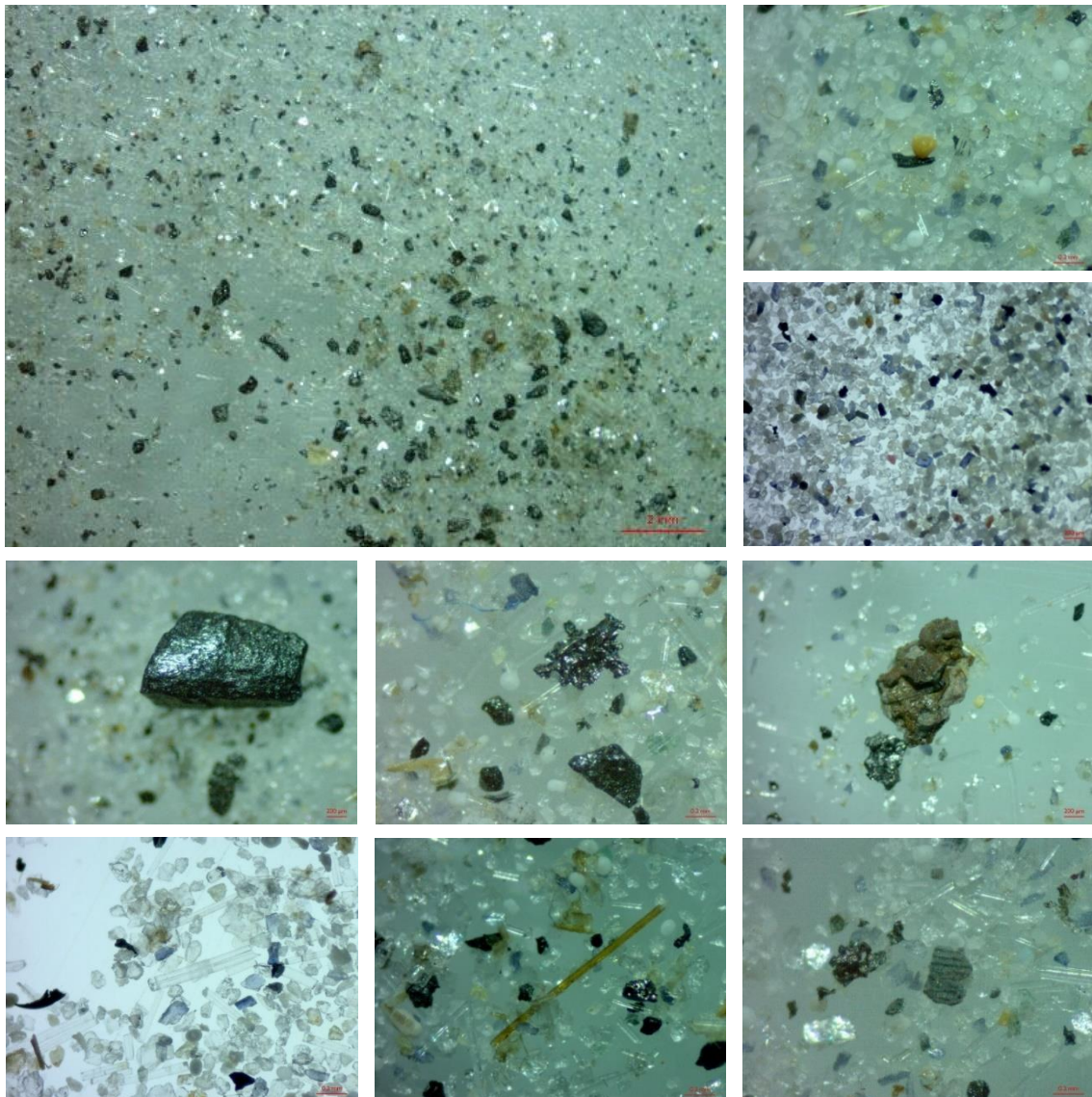


Εικόνα 141. Γαστερόποδα - Δίδυμο



Εικόνα 142. Πυριτική βελόνα

ΔΕΙΓΜΑ F68 ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΥΔΡΟΧΛΩΡΙΚΟ ΟΞΥ



Εικόνα 143. Μαύρα φεμικά ορυκτά, πυριτικά υπολείμματα οργανισμών και γλαυκοφανής (μπλε)

4.3. Χημικές αναλύσεις

Η γεωχημική ανάλυση των ιζημάτων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων – Χ (X-ray Fluorescence analysis - XRF). Η μελέτη των κύριων στοιχείων σχετίζεται άμεσα με τη βασική χημική σύσταση των δειγμάτων. Ο υπολογισμός, όμως, των ιχνοστοιχείων, και ιδιαίτερα των βαρέων μετάλλων, μας δίνει πληροφορίες για τις φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον απόθεσης και για την πιθανή επιβάρυνση των ιζημάτων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο καθορισμός τους μπορεί να μας οδηγήσει στον προσδιορισμό των πρωτογενών πηγών των μετάλλων στην ξηρά και του τρόπου διασποράς τους (Καραγεώργης, 1992).

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για 78 δείγματα ιζημάτων από την περιοχή μελέτης, με σκοπό τον προσδιορισμό 11 κύριων στοιχείων (Al, Si, Fe, P, K, Ca, Ti, Na, Mg, S, Mn) και 19 ιχνοστοιχείων (As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cu, I, La, Mn, Nd, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr). Θα πρέπει, επίσης, να επισημανθεί ότι η διαδικασία επαναλήφθηκε για 11 από αυτά τα δείγματα, αφού πρωτίστως είχαν αφαιρεθεί τα ανθρακικά τους συστατικά με την υποβολή υδροχλωρικού οξέος. Η επιλογή των 11 δειγμάτων βασίστηκε στο ποσοστό τους σε ασβέστιο. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Με πράσινο χρώμα επισημαίνονται οι υψηλότερες τιμές κάθε στοιχείου, ενώ με κόκκινο οι χαμηλότερες.

Πίνακας 20. Αποτελέσματα κύριων στοιχείων (%) για τα 78 δείγματα της περιοχής μελέτης

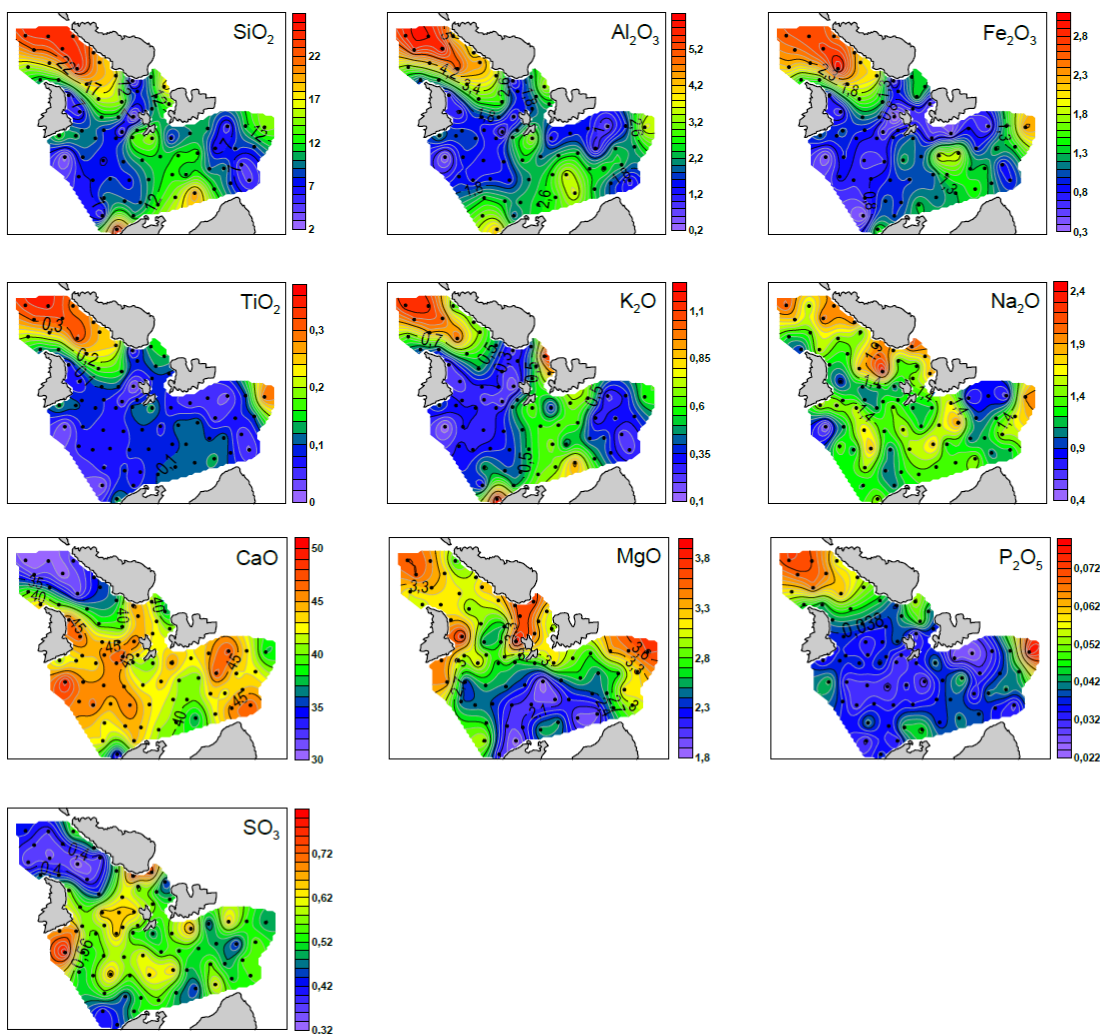
Δείγμα	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	SO ₃	MnO
F36	5,64	23,90	0,07	1,14	30,31	0,33	2,58	2,13	3,60	0,43	0,07
F37	5,81	24,33	0,07	1,12	31,11	0,35	2,68	1,48	3,44	0,38	0,08
F38	4,13	23,85	0,06	0,61	32,83	0,28	2,46	1,93	2,74	0,54	0,04
F45	5,58	22,12	0,07	1,03	31,69	0,31	2,46	1,78	3,61	0,38	0,07
F46	5,90	24,75	0,07	1,04	29,96	0,32	2,75	2,06	3,25	0,40	0,07
F47	3,88	20,68	0,06	0,64	34,71	0,27	2,30	1,99	3,05	0,49	0,03
F55	3,16	14,84	0,06	0,62	39,66	0,20	2,20	1,19	3,10	0,36	0,06
F56	1,81	10,81	0,05	0,42	43,46	0,12	1,44	0,91	3,04	0,47	0,02
F57	4,22	18,53	0,07	0,91	35,71	0,25	2,31	1,37	3,31	0,36	0,07
F58	5,15	25,42	0,06	1,02	31,55	0,33	3,06	1,43	3,14	0,32	0,06
F59	4,53	19,31	0,05	0,69	35,21	0,26	2,10	1,34	3,26	0,37	0,03
F68	1,08	5,15	0,04	0,21	47,26	0,06	0,80	1,21	3,26	0,57	0,01
F69	2,38	11,81	0,04	0,40	39,94	0,13	1,52	1,59	3,11	0,43	0,03
F70	3,56	18,24	0,05	0,60	37,76	0,23	2,06	1,30	2,87	0,37	0,04
F71	3,71	17,95	0,05	0,47	36,76	0,24	2,07	1,91	3,20	0,52	0,03
F72	2,93	15,74	0,04	0,50	39,11	0,17	1,64	1,84	2,97	0,45	0,02
F73	0,97	3,56	0,04	0,23	45,42	0,04	0,55	1,82	3,59	0,74	0,00
F74	2,23	10,79	0,06	0,38	41,69	0,14	1,28	2,11	3,71	0,74	0,02
F75	1,51	7,95	0,04	0,30	44,55	0,10	0,90	1,33	3,68	0,55	0,01
F103	0,93	5,08	0,04	0,20	46,75	0,06	0,62	0,81	3,83	0,56	0,01
F106	2,82	14,84	0,04	0,27	39,27	0,15	1,31	2,44	2,59	0,62	0,02
F107	2,19	11,02	0,05	0,56	42,31	0,12	1,44	1,28	3,25	0,50	0,03
F108	3,44	17,90	0,04	1,13	37,03	0,14	1,34	1,79	3,12	0,43	0,03
F109	2,43	13,78	0,04	0,87	40,59	0,10	0,60	1,85	2,97	0,51	
F110	1,75	9,61	0,03	0,50	42,89	0,08	0,68	1,50	3,48	0,58	0,00

F114	1,69	9,31	0,04	0,28	44,04	0,09	1,06	1,33	2,97	0,56	0,01
G47	1,59	11,18	0,03	0,28	44,28	0,10	1,17	1,04	2,47	0,67	0,01
G48	1,88	10,66	0,04	0,31	43,84	0,10	1,03	1,13	2,67	0,65	0,01
G49	1,01	2,46	0,04	0,14	46,22	0,01	0,24	1,03	3,98	0,65	0,00
G50	1,25	7,80	0,03	0,22	45,96	0,08	0,90	1,03	2,92	0,59	0,01
G51	0,62	4,51	0,04	0,17	47,45	0,04	0,52	1,27	3,01	0,63	0,00
G52	1,92	12,01	0,03	0,45	43,05	0,08	0,81	1,24	2,83	0,58	0,01
G53	2,21	12,65	0,03	0,43	40,68	0,14	1,13	1,58	3,48	0,68	0,01
G54	1,75	10,62	0,04	0,34	42,67	0,11	0,99	1,58	3,05	0,69	0,01
G55	1,72	9,34	0,04	0,32	43,26	0,09	0,84	1,58	3,16	0,55	0,01
G56	1,34	7,61	0,04	0,29	45,95	0,08	0,78	1,07	2,62	0,66	0,01
G57	2,38	13,79	0,03	0,47	40,51	0,11	0,90	1,44	2,63	0,52	0,01
G58	3,43	15,05	0,03	0,66	40,06	0,13	1,14	1,15	2,68	0,48	0,01
G59	1,14	7,03	0,04	0,33	45,53	0,06	0,65	1,19	3,18	0,58	0,01
G60	1,51	9,82	0,03	0,69	42,76	0,04	0,47	1,66	2,88	0,69	
G61	1,51	10,35	0,03	0,66	44,51	0,05	0,82	0,68	2,71	0,45	0,01
G62	0,69	5,16	0,03	0,23	47,42	0,03	0,56	0,87	3,35	0,65	0,01
G63	1,54	11,51	0,04	0,32	43,26	0,10	1,35	0,63	3,48	0,53	0,02
G64	3,68	14,72	0,08	0,60	37,78	0,30	2,34	1,93	3,71	0,48	0,08
G65	0,33	2,31	0,05	0,10	49,63	0,01	0,37	0,44	3,42	0,80	0,00
G66	1,57	8,50	0,03	0,31	45,17	0,08	0,92	1,10	2,29	0,52	0,00
G67	1,27	6,67	0,03	0,26	45,41	0,07	0,65	1,73	2,59	0,56	0,00
G68	1,44	8,52	0,03	0,34	45,06	0,07	0,69	1,27	2,48	0,57	0,01
G69	2,50	10,83	0,04	0,47	42,02	0,10	1,28	1,59	2,33	0,62	0,01
G70	1,91	11,39	0,03	0,61	43,82	0,07	1,01	1,17	1,84	0,53	0,00
G71	2,38	13,02	0,04	0,65	40,62	0,12	1,98	1,55	2,41	0,53	0,02
G72	2,45	12,74	0,05	0,61	40,01	0,12	1,94	1,97	2,66	0,50	0,02
G73	0,80	5,92	0,03	0,25	47,50	0,04	0,89	0,95	2,48	0,49	0,01
G74	2,36	8,41	0,04	0,37	42,67	0,08	1,36	1,21	2,66	0,43	0,02
G75	2,19	8,52	0,04	0,34	42,56	0,10	1,41	1,65	3,16	0,56	0,03
G76	1,52	6,75	0,04	0,32	45,08	0,07	0,87	1,45	2,42	0,51	0,01
G77	1,29	7,06	0,03	0,28	46,45	0,07	0,72	1,08	2,44	0,55	0,01
G78	1,51	8,20	0,03	0,33	44,28	0,07	0,80	1,87	2,37	0,66	0,00
G79	1,41	7,48	0,03	0,36	46,26	0,08	0,94	1,01	2,09	0,55	0,01
G80	2,15	10,33	0,03	0,53	43,22	0,08	0,98	1,53	2,02	0,63	0,01
G81	2,80	12,66	0,04	0,68	41,21	0,09	1,05	1,80	1,94	0,65	0,01
G82	3,66	10,72	0,04	0,44	40,56	0,11	1,44	1,23	2,19	0,50	0,02
G83	2,46	8,97	0,03	0,38	43,36	0,09	1,28	1,00	2,40	0,57	0,02
G84	2,74	10,24	0,04	0,43	42,16	0,12	1,39	1,17	2,56	0,48	0,01
G85	2,38	4,57	0,04	0,22	44,06	0,04	0,81	1,53	3,19	0,55	0,01
G87	2,56	9,48	0,04	0,53	42,40	0,08	0,73	1,52	2,67	0,55	0,01
G88	2,42	9,24	0,03	0,42	44,16	0,08	1,06	0,98	2,06	0,45	0,01
G89	2,33	9,01	0,05	0,44	43,82	0,07	0,97	1,25	2,12	0,52	0,01
G90	3,13	4,85	0,03	0,29	42,93	0,01	0,33	1,17	3,03	0,40	0,00
G91	4,14	25,27	0,04	1,22	33,12	0,13	1,47	1,48	2,10	0,43	0,01
G92	1,82	10,41	0,03	0,49	44,41	0,07	0,98	1,04	1,84	0,52	0,00
G93	2,53	13,07	0,05	0,64	41,04	0,10	1,36	1,35	2,55	0,55	0,01
G94	2,75	14,78	0,04	0,66	40,39	0,12	1,11	1,33	2,54	0,49	0,01
G95	3,67	20,30	0,04	0,94	36,83	0,11	1,29	1,34	1,96	0,44	0,01
G96	2,38	11,85	0,04	0,53	42,57	0,13	1,47	1,50	1,98	0,63	0,01
G97	1,75	8,07	0,04	0,35	45,76	0,09	1,24	1,03	2,63	0,51	0,01

G98	1,10	4,62	0,03	0,22	46,96	0,04	0,87	1,17	2,98	0,54	0,01
-----	------	------	------	------	-------	------	------	------	------	------	------

Σε γενικές γραμμές, αναφερόμενοι στον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων (Πίνακας 20), παρατηρούμε ότι το ασβέστιο (Ca) παρουσιάζει σαφώς υψηλότερες τιμές, σε όλα τα δείγματα, σε σχέση με τα άλλα χημικά στοιχεία. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι το πυρίτιο (Si), το αργίλιο (Al) και το μαγνήσιο (Mg), εμφανίζουν αξιόλογες τιμές, ενώ τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία συμμετέχουν στην χημική σύσταση των δειγμάτων με πολύ μικρά ποσοστά κάτω του 2%.

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι **χάρτες κατανομής (Χάρτης 14)** των 10 κύριων στοιχείων στην περιοχή μελέτης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος SURFER. Στους παρακάτω χάρτες γίνεται αντιληπτή η συσχέτιση που εμφανίζουν τα στοιχεία SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O και P_2O_5 , με τα ποσοστά τους να αυξάνονται στη βορειοδυτική περιοχή ανάμεσα στην Τήνο και τη Σύρο. Αντίθετη εικόνα, εμφανίζουν τα στοιχεία CaO και SO_3 , τα οποία παρουσιάζουν υψηλές τιμές στο κεντρικό τμήμα των Βορείων Κυκλάδων. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι οι τιμές του Na_2O κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη την περιοχή μελέτης, ενώ του MgO φαίνεται να μειώνονται κοντά στα νησιά της Πάρου και της Νάξου.



Χάρτης 14. Γεωχημικοί χάρτες κατανομής των κύριων στοιχείων στην περιοχή μελέτης

Οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές που εμφανίζει κάθε στοιχείο, επισημαίνονται με πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα, και συνοψίζονται στον **Πίνακα 21**, ως εξής:

Πίνακας 21. Υψηλότερες και χαμηλότερες τιμές των κύριων στοιχείων (%)

Χημικό στοιχείο	Τιμή	Δείγμα	Τιμή	Δείγμα
Al_2O_3	5,90	F46	0,33	G65
SiO_2	25,42	F58	2,31	G65
P_2O_5	0,08	G64	0,03	F110-G47-G50-G52-G53-G57-G58-G60-G61-G62-G66-G67-G68-G70-G73-G77-G78-G79-G80-G83-G88-G90-G92-G98
K_2O	1,22	G91	0,10	G65
CaO	47,50	G73	29,96	F46
TiO_2	0,35	F37	0,01	G49-G65-G90
Fe_2O_3	3,06	F58	0,24	G49
Na_2O	2,13	F36	0,44	G65
MgO	3,71	F74-G64	1,84	G70-G92
SO_3	0,80	G65	0,32	F58
MnO	0,08	F37-G64	0,00	F73-F110-G49-G51-G65-G66-G67-G70-G78-G90-G92

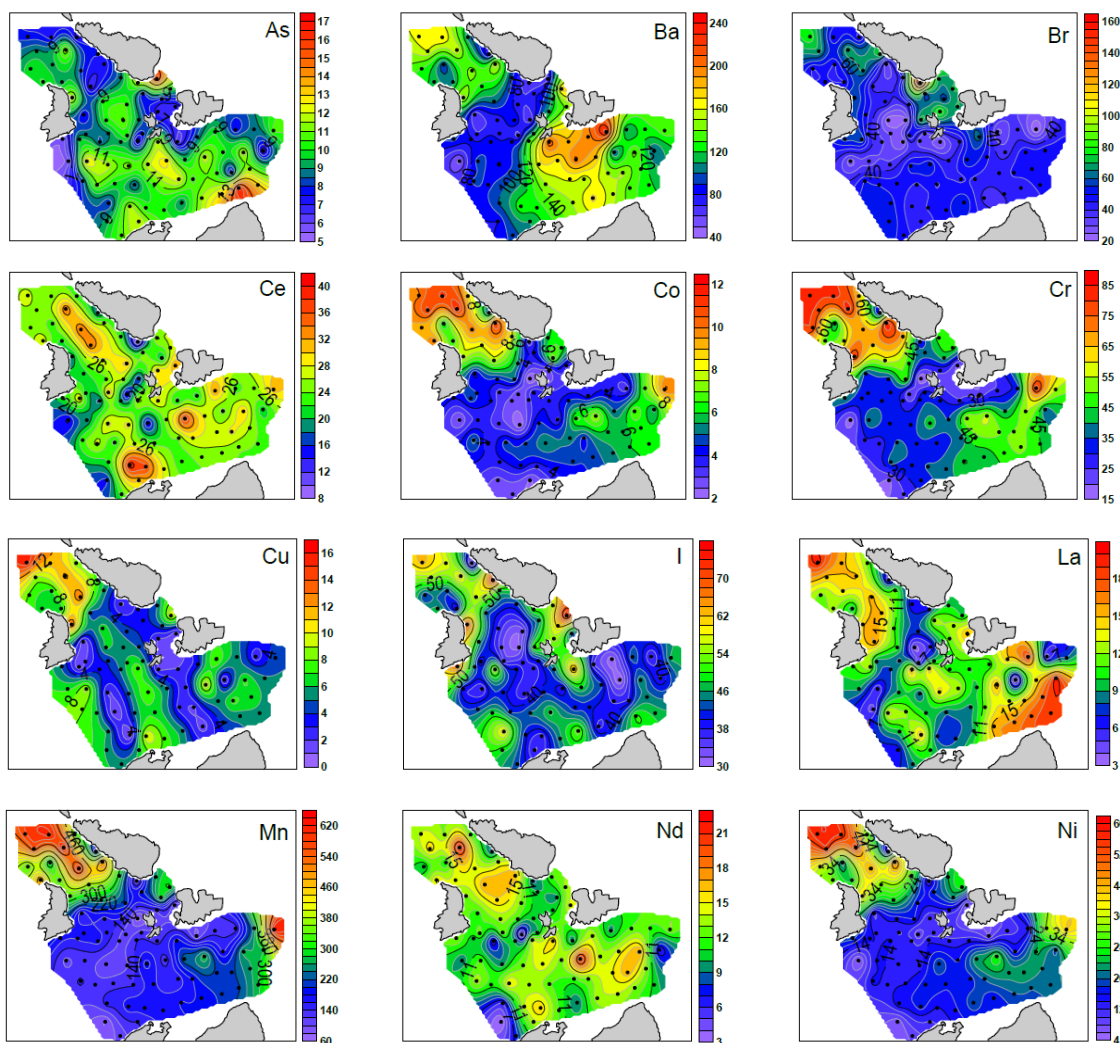
Πίνακας 22. Αποτελέσματα ιχνοστοιχείων (ppm) για 72 δείγματα της περιοχής μελέτης

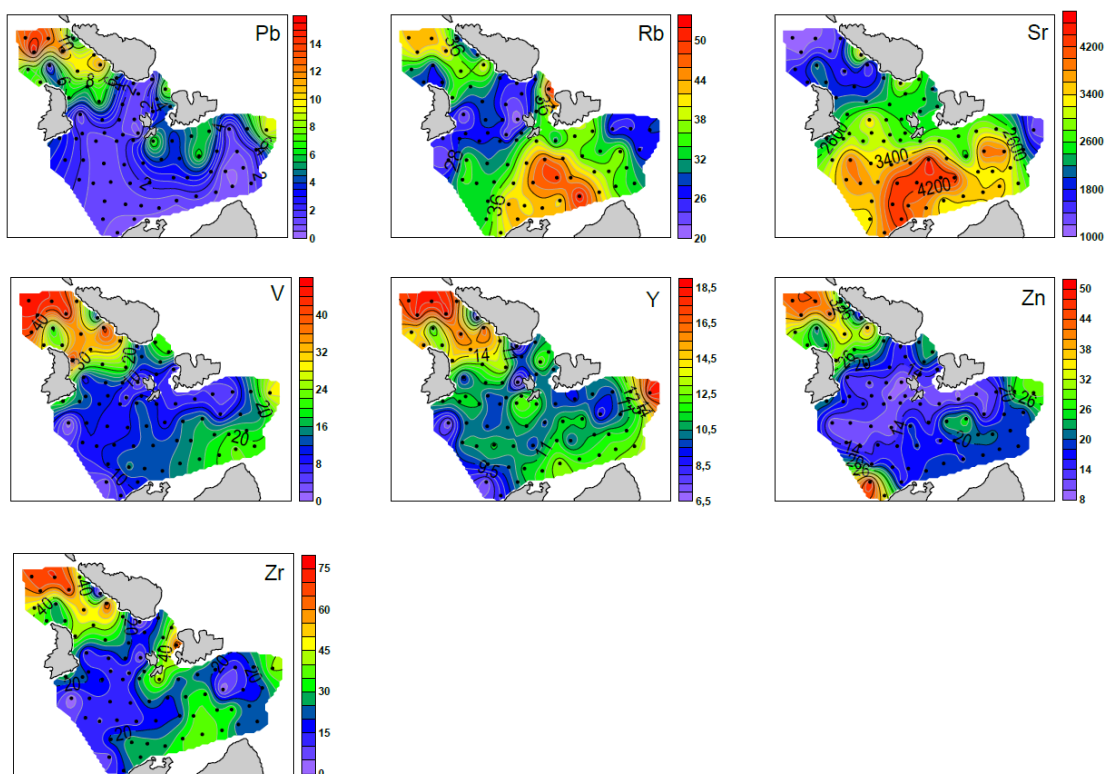
Δείγμα	As	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cu	I	La	Mn	Nd	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr
F36	8	163	79	27	10	82	16	63	20	577	14	57	13	43	1082	44	17	43	66
F37	7	170	43	24	11	81	11	58	15	610	13	56	13	44	1168	44	18	44	71
F38	7	104	43	22	9	63	8	32	12	332	12	30	5	29	1537	33	16	24	43
F45	9	161	69	26	11	78	9	55	15	565	16	56	15	42	1138	44	18	43	64
F46	12	161	72	34	12	85	13	61	15	628	23	55	13	44	1334	46	18	45	71
F47	8	69	77	17	4	25		73	5	151	8	10		28	3544	10	7	15	3
F55	10	129	44	25	9	79	8	42	12	327	10	36	6	31	1689	41	14	30	43
F56	10	118	46	28	10	50		47	12	498	15	33	8	29	1688	29	16	28	34
F57	9	91	44	23	6	39	7	42	14	249	11	20	2	27	2304	18	11	20	23
F58	8	145	66	34	10	69	13	57	16	603	14	45	10	39	1508	36	17	36	54
F59	7	160	31	25	11	85	6	48	12	524	14	49	12	41	1371	42	17	40	67
F68	12	157	62	19	8	82	14	70	15	340	13	42	6	36	1994	42	15	33	44
F69	9	104	45	22	7	57	6	37	9	330	14	25	4	27	2054	24	13	23	30
F70	6	125	37	34	8	64	4	43	15	371	17	32	6	31	1841	31	15	26	41
F71	9	91	46	23	8	68	2	42	6	289	17	29	4	28	2072	33	14	22	34
F72	10	104	46	28	8	58	7	38	11	259	16	27	7	30	2112	23	12	20	32
F73	12	58	161	8	3	29		51	7	101	8	11		26	3207	10	7	14	1
F74	16	65	67	26	6	47	5	56	10	256	12	24	1	27	2689	21	10	21	19
F75	8	79	56	25	4	38	4	45	13	198	10	18	1	25	2574	14	10	16	19
F103	7	59	47	21	4	32	1	46	16	140	11	11	1	21	2527	8	9	13	10
F106	11	73	43	31	5	47		32	8	217	13	16	2	24	2423	22	14	16	23
F107	7	114	56	19	7	43	5	61	13	293	10	23	4	34	2450	16	13	22	31
F108	10	176	71	26	6	48	10	76	10	302	13	28	8	51	2156	22	12	23	41
F109	7	140	71	32	4	19	1	41	15	97	15	7	4	44	2390	6	10	14	65
F110	7	112	83	30	3	26	2	56	12	122	11	13	3	32	2371	10	10	14	34
F114	9	71	42	21	5	31	2	37	8	176	13	14		27	2962	14	11	15	17
G47	10	73	21	23	4	32	6	35	11	149	13	15		30	3429	12	11	11	12
G48	11	92	23	26	5	51		31	4	156	12	16		28	2786	12	11	13	23

G49	9	62	75	15	2	13		52	6	67	11	10		20	2583	2	6	8	4
G50	9	73	30	31	3	31	4	35	8	156	13	12		27	3091	12	10	13	9
G51	11	63	53	12	2	18		37	4	108	3	8		22	2855	5	10	9	8
G52	8	115	32	24	4	33		40	10	132	10	11	1	30	2657	11	12	12	27
G53	6	94	58	21	4	41		68	11	170	13	19	4	25	2178	21	11	22	29
G54	10	82	60	29	5	31	1	44	13	163	10	15	2	28	2801	15	11	18	24
G55	8	91	36	17	4	34		57	8	169	6	14	1	27	2809	11	11	15	21
G56	9	86	24	20	3	29		41	16	118	10	13		29	3165	8	10	13	14
G57	6	133	31	27	3	32	8	37	15	139	15	14	2	31	2602	13	12	12	28
G58	12	209	24	29	4	32	2	44	10	135	16	13	7	39	2649	10	12	13	45
G59	6	181	39	21	5	26		65	10	192	9	13	3	31	2929	7	10	11	22
G60	9	194	64	21	4	21	4	36	10	95	14	8	5	37	2652	6	9	10	22
G61	10	237	27	33	4	26	8	31	15	133	9	11	6	38	3012	6	10	12	21
G62	7	108	40	23	3	31	6	44	19	128	12	13	1	25	2886	5	10	13	10
G63	9	127	19	25	7	84	2	35	4	246	12	35	5	26	2421	15	13	27	22
G64	11	138	42	31	10	55	5	47	8	625	13	42	10	28	1293	29	18	29	41
G65	6	45	26	13	2	17		38	9	113	9	5		22	3093	0	7	10	1
G66	13	95	31	18	4	40	10	35	5	124	12	15	2	35	3997	11	10	11	13
G67	12	78	36	29	3	33	2	40	9	103	9	13	1	30	3387	9	10	12	13
G68	11	98	53	29	2	32		36	8	117	13	13		33	3594	9	10	9	12
G69	12	167	56	13	5	44	8	42	14	193	15	20	3	42	3874	13	11	19	25
G70	13	166	41	25	3	35	5	38	13	126	13	16		48	4468	8	10	13	18
G71	10	203	55	38	7	56	3	49	10	236	22	24	4	44	3459	14	12	24	29
G72	12	181	46	28	8	57	10	43	16	280	13	29	7	35	2413	16	12	26	35
G73	10	96	37	23	5	39	2	30	3	156	15	15		33	4077	7	9	12	1
G74	12	145	50	30	7	56	7	46	14	270	17	25	1	39	3905	14	10	18	15
G75	6	97	49	20	5	36		37	20	276	6	19	2	26	2214	14	12	18	20
G76	8	93	51	24	5	30		43	4	145	14	15		34	3674	10	11	12	15
G77	11	88	50	27	4	26	6	49	14	125	12	13		33	3830	10	11	12	9
G78	10	98	48	21	5	36	1	41	12	132	15	14		33	3563	10	11	15	11
G79	8	114	44	26	5	34	5	45	10	137	13	17		39	4388	12	11	15	11
G80	11	150	45	23	6	31	7	49	8	162	12	16		46	4295	13	10	18	16
G81	12	162	44	24	5	36	2	40	9	145	12	17		50	4386	14	12	16	20
G82	10	152	44	28	4	48	2	41	12	179	13	20		44	4429	16	10	18	35
G83																			
G84	7	153	47	29	6	50	8	38	15	213	17	24	1	37	3163	20	12	21	37
G85																			
G87	8	102	52	22	4	37	6	60	10	150	6	16		33	3498	11	10	15	23
G88	12	130	41	40	4	34	1	41	15	173	14	17		44	4385	15	10	16	31
G89	10	124	46	37	4	36	10	37	7	169	16	14		40	3963	12	11	16	28
G90	9	80	55	15	3	19		49	6	78	3	6		34	3309	3	7	49	8
G91																			
G92	12	110	40	30	2	33		36	10	140	14	12		44	4420	11	10	15	29
G93																			
G94	9	151	55	23	5	46	6	54	9	182	9	20	1	41	3213	15	13	20	35
G95	12	174	38	25	5	40	1	37	16	183	14	16	2	52	3456	17	12	18	40
G96																			
G97	17	134	41	24	6	52	5	51	18	217	13	20	1	35	3533	22	12	18	21
G98																			

Σχετικά με τα ιχνοστοιχεία (Πίνακας 22), το στρόντιο (Sr) είναι αυτό που ξεχωρίζει λόγω των υψηλών τιμών που εμφανίζει στα δείγματα της περιοχής μελέτης, ενώ ακολουθείται από το βάριο (Ba) και το μαγγάνιο (Mn). Σε γενικές γραμμές, τα υπόλοιπα στοιχεία παρουσιάζουν αρκετά χαμηλότερες, ενώ διαφοροποιούνται τα εξής: βρώμιο (Br), ιώδιο (I), χρώμιο (Cr), βανάδιο (V), ψευδάργυρος (Zn) και ζirkόνιο (Zr). Στα δείγματα με μπλε χρώμα, η διαδικασία υπολογισμού των ιχνοστοιχείων δεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί λόγω έλλειψης ικανού ποσού δείγματος.

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι **χάρτες κατανομής (Χάρτης 15)** των 19 ιχνοστοιχείων στην περιοχή μελέτης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος SURFER. Στους παρακάτω χάρτες γίνεται αντιληπτή η έντονη συσχέτιση που εμφανίζουν τα στοιχεία Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Y, Zn και Zr, με τα ποσοστά τους να μειώνονται στο κεντρικό τμήμα του πλατώ των Κυκλάδων. Τα ιχνοστοιχεία Ce, Nd και Sr εμφανίζουν αυξημένες τιμές που κατανέμονται σε όλη την περιοχή μελέτης, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με το Br και το I, των οποίων οι τιμές είναι αρκετά χαμηλές. Στους χάρτες κατανομής του Ba και του Rb, παρατηρούμε τις χαμηλότερες τιμές τους να εμφανίζονται ανάμεσα στην Τήνο και στη Σύρο. Τέλος, το As εμφανίζει σχετικά χαμηλές τιμές, με τις υψηλότερες από αυτές να εντοπίζονται κοντά στη Νάξο, ενώ το La εκτός από τη Νάξο παρουσιάζει υψηλές τιμές στην περιοχή που βρίσκεται βορειοδυτικά του χάρτη και στις περιοχές κοντά στη Σύρο και στη Μύκονο.





Χάρτης 15. Γεωχημικοί χάρτες κατανομής των ιχνοστοιχείων στην περιοχή μελέτης.

Τέλος, οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές που εμφανίζει κάθε στοιχείο, επισημαίνονται με πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα, και συνοψίζονται στους Πίνακες 23 και 24, ως εξής:

Πίνακες 23 και 24. Υψηλότερες και χαμηλότερες τιμές των ιχνοστοιχείων (ppm)

Χημικό στοιχείο	Τιμή	Δείγμα	Χημικό στοιχείο	Τιμή	Δείγμα
As	16	F74	As	6	F70-G53-G57-G59-G65-G75
Ba	237	G61	Ba	45	G65
Br	161	F73	Br	19	G63
Ce	40	G88	Ce	8	G88
Co	12	F46	Co	2	G49-G51-G65-G67-G92
Cr	85	F46-F59	Cr	13	G49
Cu	16	F36	Cu	1	F103-F109-G54-G78-G88-G95
I	76	F108	I	30	F73
La	20	F36- G75	La	3	F73
Mn	628	F46	Mn	67	F49
Nd	23	F46	Nd	3	G51-G90
Ni	57	F36	Ni	5	G65
Pb	15	F45	Pb	1	F74-F75-F103-G52-G55-G62- G67-G74-G84-G94-G97
Rb	52	G95	Rb	20	G49
Sr	4468	G70	Sr	1082	F36
V	46	F46	V	2	G49
Y	18	F37-F45-F46-G64	Y	6	G49
Zn	49	G90	Zn	8	G49
Zr	71	F37-F46			

	Zr	1	F73-G65-G73
--	----	---	-------------

Πίνακας 25. Αποτελέσματα κύριων στοιχείων (ppm) για τα 11 δείγματα της περιοχής μελέτης μετά την επεξεργασία με το υδροχλωρικό οξύ.

Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO
F37	66,54	12,46	2,57	0,91	2,40	1,94	1,84	1,58	0,05	0,04	0,02
F47	69,78	10,86	2,62	0,89	1,38	2,62	3,02	1,22	0,01	0,01	0,04
F56	68,35	10,59	2,85	0,83	1,96	1,84	1,66	1,58	0,04	0,11	0,03
F58	68,73	11,21	2,41	0,84	1,91	2,15	2,29	1,49	0,03		0,03
F68	64,18	11,37	3,23	0,85	1,76	2,22	1,72	1,65	0,07	0,16	0,03
F70	69,30	10,99	2,61	0,84	1,50	2,54	2,82	1,37	0,01	0,03	0,04
F73	62,26	11,87	3,47	0,88	1,57	2,67	3,29	2,05	0,03	0,70	0,05
F108	69,75	11,76	1,10	0,48	4,71	1,94	1,21	0,66	0,02	0,01	0,01
G58	68,44	11,63	1,75	0,53	2,69	2,26	1,92	0,68	0,04	0,25	0,01
G64	63,42	12,96	5,16	1,13	1,87	2,18	2,85	1,88	0,06	0,02	0,09
G78	68,73	11,42	2,66	0,61	2,14	2,52	2,96	0,84	0,04	0,17	0,04

Η αφαίρεση των ανθρακικών συστατικών (Πίνακας 25) είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του ποσοστού του ασβεστίου (<4ppm) και την αύξηση του ποσοστού του πυριτίου (>62ppm) και του αργιλίου (>10ppm). Τα υπόλοιπα χημικά στοιχεία εμφανίζονται σε ποσοστά που δεν ξεπερνούν το 6ppm.

Πίνακας 26. Αποτελέσματα ιχνοστοιχείων (ppm) για τα 7 δείγματα της περιοχής μελέτης μετά την επεξεργασία με το υδροχλωρικό οξύ

Δείγμα	As	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cu	I	La	Mn	Nd	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr
F37	10	356	41	41	6	134	8	75	16	231	18	37	8	79	113	81	20	28	219
F47	8	198	23	39	5	109	5	47	18	324	17	25	7	42	145	82	21	17	150
F58	11	267	22	37	5	115	3	60	19	239	16	31	8	57	113	68	18	21	188
F70	10	242	23	41	6	106	11	56	21	350	19	28	10	45	143	68	21	23	184
F108	8	639	57	26	2	61	8	123	14	112	13	15	25	157	193	35	12	13	178
G58	17	750	77	45	4	64	10	147	24	145	18	19	23	81	175	38	18	21	244
G64	17	399	31	43	8	134	14	79	18	683	16	29	10	64	155	96	18	51	203

Αναφερόμενοι στα ιχνοστοιχεία (Πίνακας 26), παρατηρούμε ότι το στρόντιο (Sr) παρουσιάζει σαφώς χαμηλότερες τιμές ενώ τα στοιχεία βάριο (Ba), χρώμιο (Cr), μαγγάνιο (Mn) και ζirkόνιο (Zr) ξεχωρίζουν λόγω των υψηλών τιμών που εμφανίζουν. Σημαντικές τιμές παρουσιάζουν, επίσης, τα στοιχεία βρώμιο (Br), δημήτριο (Ce), ιώδιο (I), νικέλιο (Ni), ρουβίδιο (Rb), βανάδιο(V) και

ψευδάργυρος (Zn). Τέλος, τα στοιχεία αρσενικό (As), κοβάλτιο (Co), χαλκός (Cu), λανθάνιο (La), νεοδήμιο (Nd), μόλυβδος (Pb) και ύτριο (Y) εμφανίζονται σε τιμές κάτω των 25ppm.

Πίνακας 27. Σύγκριση αποτελεσμάτων κύριων στοιχείων πριν και μετά την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος

Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO
F37	24,33	5,81	2,68	0,35	1,12	1,48	31,1	3,44	0,07	0,38	0,08
F37 - HCL	66,54	12,46	2,57	0,91	2,40	1,94	1,84	1,58	0,05	0,04	0,02
F47	20,68	3,88	2,30	0,27	0,64	1,99	34,7	3,05	0,06	0,49	0,03
F47 - HLC	69,78	10,86	2,62	0,89	1,38	2,62	3,02	1,22	0,01	0,01	0,04
F56	10,81	1,81	1,44	0,12	0,42	0,91	43,5	3,04	0,05	0,47	0,02
F56 - HCL	68,35	10,59	2,85	0,83	1,96	1,84	1,66	1,58	0,04	0,11	0,03
F58	25,42	5,15	3,06	0,33	1,02	1,43	31,5	3,14	0,06	0,32	0,06
F58- HLC	68,73	11,21	2,41	0,89	1,91	2,15	2,29	1,49	0,03		0,03
F68	5,15	1,08	0,80	0,06	0,21	1,21	47,3	3,26	0,04	0,57	0,01
F68- HLC	64,18	11,37	3,23	0,85	1,76	2,22	1,72	1,65	0,07	0,16	0,03
F70	18,24	3,56	2,06	0,23	0,60	1,30	37,8	2,87	0,05	0,37	0,04
F70- HLC	69,30	10,99	2,61	0,84	1,50	2,54	2,82	1,37	0,01	0,03	0,04
F73	3,56	0,97	0,55	0,04	0,23	1,82	45,4	3,59	0,04	0,74	0,00
F73- HLC	62,26	11,87	3,47	0,88	1,57	2,67	3,29	2,05	0,03	0,70	0,05
F108	17,90	3,44	1,34	0,14	1,13	1,79	37,0	3,12	0,04	0,43	0,03
F108- HLC	69,75	11,76	1,10	0,48	4,71	1,94	1,21	0,66	0,02	0,01	0,01
G58	15,05	3,43	1,14	0,13	0,66	1,15	40,1	2,68	0,03	0,48	0,01
G58- HLC	68,44	11,63	1,75	0,53	2,69	2,26	1,92	0,68	0,04	0,25	0,01
G64	14,72	3,68	2,34	0,30	0,60	1,93	37,8	3,71	0,08	0,48	0,08
G64- HLC	63,42	12,96	5,16	1,13	1,87	2,18	2,85	1,88	0,06	0,02	0,09
G78	8,20	1,51	0,80	0,07	0,33	1,87	44,3	2,37	0,03	0,66	0,01
G78- HLC	68,73	11,42	2,66	0,61	2,14	2,52	2,96	0,84	0,04	0,17	0,04

Με βάση τον Πίνακα 27, αντιλαμβανόμαστε ότι το ποσοστό των SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, K₂O και Na₂O παρουσιάζει αύξηση σε όλα τα δείγματα, ενώ αντίστοιχα τα χημικά στοιχεία CaO, MgO και SO₃ εμφανίζουν μειούμενες τιμές μετά την επεξεργασία με το υδροχλωρικό οξύ. Πρέπει να επισημανθεί, επίσης, ότι τα κύρια στοιχεία Fe₂O₃ και MnO παρουσιάζουν ίδια εικόνα, με αποτέλεσμα να έχουν χαμηλές τιμές στα δείγματα F37, F58 F108 και ανάλογες υψηλές τιμές στα δείγματα F47, F56, F68, F70, F73, G58, G64 και G78. Τέλος, το P₂O₅ μετά τη διάλυση των ανθρακικών συστατικών, παρουσιάζει, στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων χαμηλότερες τιμές, με εξαίρεση τα δείγματα F68, G58 και G78.

Πίνακας 28. Σύγκριση αποτελεσμάτων ιχνοστοιχείων πριν και μετά την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος

Δείγμα	As	Ba	Br	Ce	Co	Cr	Cu	I	La	Mn	Nd	Ni	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr
F37	7	170	43	24	11	81	11	58	15	610	13	56	13	44	1168	44	18	44	71
F37-HCL	10	356	41	41	6	134	8	75	16	231	18	37	8	79	113	81	20	28	219
F47	8	69	77	17	4	25		73	5	151	8	10		28	3544	10	7	15	3
F47-HCL	8	198	23	39	5	109	5	47	18	324	17	25	7	42	145	82	21	17	150
F58	8	145	66	34	10	69	13	57	16	603	14	45	10	39	1508	36	17	36	54
F58-HCL	11	267	22	37	5	115	3	60	19	239	16	31	8	57	113	68	18	21	188
F70	6	125	37	34	8	64	4	43	15	371	17	32	6	31	1841	31	15	26	41
F70-HCL	10	242	23	41	6	106	11	56	21	350	19	28	10	45	143	68	21	23	184
F108	10	176	71	26	6	48	10	76	10	302	13	28	8	51	2156	22	12	23	41
F108-HCL	8	639	57	26	2	61	8	123	14	112	13	15	25	157	193	35	12	13	178
G58	12	209	24	29	4	32	2	44	10	135	16	13	7	39	2649	10	12	13	45
G58-HCL	17	750	77	45	4	64	10	147	24	145	18	19	23	81	175	38	18	21	244
G64	11	138	42	31	10	55	5	47	8	625	13	42	10	28	1293	29	18	29	41
G64-HCL	17	399	31	43	8	134	14	79	18	683	16	29	10	64	155	96	18	51	203

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα του **Πίνακα 28**, παρατηρούμε ότι τα ιχνοστοιχεία Ba, Ce, Cr, Nd, Rb, V, Y και Zr εμφανίζουν αυξητικές ή ίδιες τιμές μετά την υποβολή των δειγμάτων στην επεξεργασία με το υδροχλωρικό οξύ. Αντίθετα, το Sr παρουσιάζει αρνητικές τιμές, σαφώς πολύ χαμηλότερες από τις αρχικές τιμές του μη επεξεργασμένου δείγματος. Επίσης, στα στοιχεία As, I και La οι τιμές έχουν αυξηθεί σε όλα τα δείγματα, εκτός από τα F108 (As), F47 (I) και F70 (La). Στα ιχνοστοιχεία Br και Co, οι τιμές μετά την επεξεργασία στην πλειοψηφία τους έχουν μειωθεί, ενώ στα Cu, Mn, Ni και Zn οι τιμές είναι μοιρασμένες. Ακόμα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο μόλυβδος (Pb) εμφανίζει κυρίως αυξημένες τιμές, πλην των δειγμάτων F37 και F58. Τέλος, σημειώνεται ότι τα F37, F58, F70 και F108 αποτελούν τα δείγματα με τις περισσότερες αρνητικές τιμές μετά τη διάλυση των ανθρακικών συστατικών.

4.4. Προσδιορισμός ποσοστού ανθρακικών

Το τελευταίο στάδιο των αναλύσεων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του ποσοστού των ανθρακικών συστατικών που εμπεριέχονται στα δείγματα. Για τη συγκεκριμένη διαδικασία επιλέχθηκαν 11 δείγματα (F37, F47, F56, F58, F68, F70, F73, F108, G58, G64, G78) με βάση το ποσοστό τους σε ασβέστιο (CaO). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον **Πίνακα 29**.

Πίνακας 29. Ποσοστό ανθρακικών συστατικών των δειγμάτων

Δείγμα	Αρχικό Βάρος (gr)	Βάρος μετά την επεξεργασία με υδροχλωρικό οξύ (gr)	Ποσοστό ανθρακικών συστατικών (%)
F37	40,467	14,052	65,28%
F47	40,908	12,256	70,04%
F56	40,153	6,168	84,64%
F58	40,611	14,633	63,97%
F68	40,524	3,705	90,86%
F70	41,633	10,476	74,84%
F73	41,314	4,749	88,51%
F108	41,607	11,130	73,25%
G58	37,136	8,130	78,11%
G64	46,237	10,121	78,11%
G78	40,412	5,092	87,40%

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι το ποσοστό των ανθρακικών συστατικών στα δείγματα είναι πολύ υψηλό και ξεπερνάει το 60%. Ειδικά στα δείγματα F56, F68, F73 και G78 το ποσοστό εμφανίζεται από 84% έως 90%.

4.5. Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Στο δεδομένο κεφάλαιο γίνεται χρήση της στατιστικής με σκοπό την εξαγωγή περιγραφικών δεδομένων, ιστογραμμάτων, boxplots και συσχετίσεων στο σύνολο των δειγμάτων. Για την συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 60 δείγματα (**Πίνακας 13**) τα οποία αναλύθηκαν ως προς την κοκκομετρία τους και 71 δείγματα τα οποία αναλύθηκαν ως προς τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία τους. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τα προγράμματα XLSTAT και Minitab 17, ενώ τα αποτελέσματα τους παρουσιάζονται στα παρακάτω υποκεφάλαια.

4.1.1 Στατιστική ανάλυση κοκκομετρικών δεδομένων

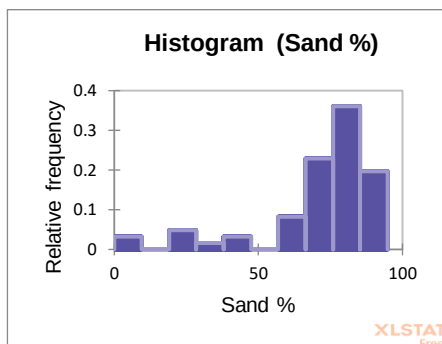
Βασιζόμενοι στον **Πίνακα 30**, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων αποτελείται από άμμο, με ποσοστά που κυμαίνονται στο 71,38%. Η ιλύς και η άργιλος, σύμφωνα με τον **Πίνακα 31**, εμφανίζουν θετική συσχέτιση, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την εικόνα της άμμου, όπως αυτή παρατηρείται στο ιστόγραμμα του **Διαγράμματος 5**. Σύμφωνα με το δενδρόγραμμα του **Διαγράμματος 8** και τα ποσοστά των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν (άμμος, ιλύς και άργιλος), φαίνεται η ξεκάθαρη ομαδοποίηση τους σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στην μεταβλητή της άμμου, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει τις μεταβλητές της ιλύος και της άργιλου. Τέλος, το θηκόγραμμα του **Διαγράμματος 9**, δείχνει κανονικές κατανομές για τις μεταβλητές της άμμου και της ιλύος και εμφανίζει ασυμμετρία στην περίπτωση της άργιλου. Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί ότι και στις τρεις μεταβλητές παρατηρούνται ακραίες τιμές, οι οποίες συμπίπτουν κυρίως με την ύπαρξη μηδενικών ποσοστών σε κάποια δείγματα.

Πίνακας 30. Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων που αναλύθηκαν ως προς την κοκκομετρία

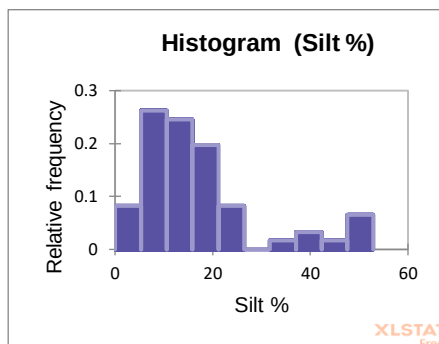
Variable	Observations	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Sand %	60	0,00	93,86	71,38	20,99
Silt %	60	0,00	51,89	16,99	12,68
Clay %	60	0,00	65,94	11,53	10,16

Πίνακας 31. Συσχέτιση των δειγμάτων που αναλύθηκαν ως προς την κοκκομετρία

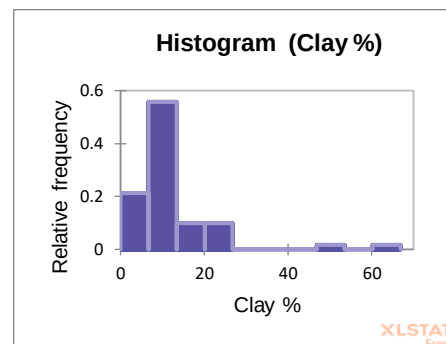
Variables	Sand %	Silt %	Clay %
Sand %	1	-0,939	-0,905
Silt %	-0,939	1	0,706
Clay %	-0,905	0,706	1



Διάγραμμα 5

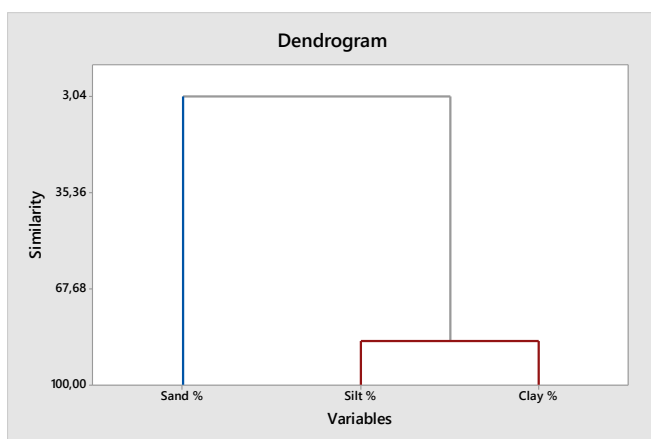


Διάγραμμα 6

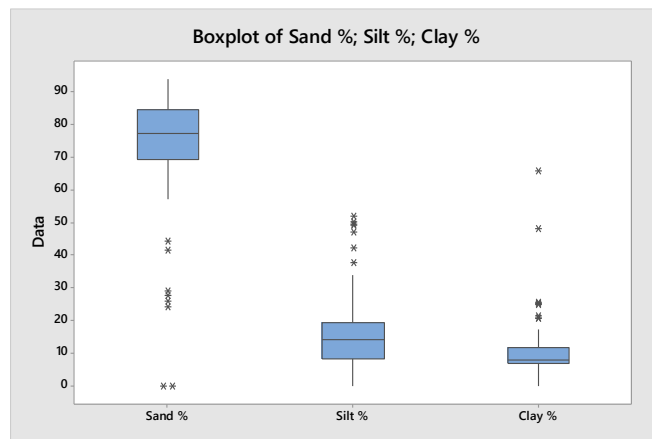


Διάγραμμα 7

Ιστογράμματα άμμου, ιλύος και αργίλου



Διάγραμμα 8. Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των μεταβλητών (άμμος, ιλύς, άργιλος)



Διάγραμμα 9. Θηκόγραμμα (boxplot) των μεταβλητών (άμμος, ιλύς, άργιλος)

4.1.2 Στατιστική ανάλυση δεδομένων κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων

Με βάση τον Πίνακα 32 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων αποτελείται από ασβέστιο (Ca) και πυρίτιο (Si), με τα μέγιστα ποσά τους να αγγίζουν τα 35,45 ppm και 11,88 ppm αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία, εμφανίζουν σαφώς μικρότερα ποσά, ενώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι χαρακτηρίζονται από ομοιομορφία, καθώς οι τιμές της τυπικής απόκλισης είναι αρκετά χαμηλές, κάτω του 1 ppm. Τα στοιχεία αργίλιο (Al), πυρίτιο (Si), κάλιο (K), τιτάνιο (Ti) και σίδηρο (Fe), σύμφωνα με τον Πίνακα 33α, παρουσιάζουν πολύ ισχυρά θετική συσχέτιση. Η ίδια εικόνα παρατηρείται και στα στοιχεία φώσφορος (P), τιτάνιο (Ti) και σίδηρο (Fe). Αρνητική συσχέτιση εντοπίζεται σε όλα τα κύρια στοιχεία με το ασβέστιο (Ca) και στα: αργίλιο (Al), πυρίτιο

(Si), φώσφορος (P), κάλιο (K), τιτάνιο (Ti), σίδηρο (Fe), και νάτριο (Na) με το θείο (S). Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τα **Ιστογράμματα των κύριων στοιχείων**, όπου κυρίως το ασβέστιο παρουσιάζει τελείως αντίθετη εικόνα από τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία. Σύμφωνα με το δένδρογραμμα του **Διαγράμματος 37**, τα κύρια στοιχεία ομαδοποιούνται σε 4 κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνει το αργίλιο (Al), πυρίτιο (Si), τιτάνιο (Ti), σίδηρο (Fe), κάλιο (K), και το φώσφορο (P). Η δεύτερη και η τρίτη κατηγορία αντιστοιχούν στο νάτριο (Na) και το μαγνήσιο (Mg), τα οποία παρουσιάζουν μέτριες έως ασθενείς συσχετίσεις με τα υπόλοιπα στοιχεία. Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει το ασβέστιο και το θείο. Στο θηκόγραμμα του **Διαγράμματος 40**, το ασβέστιο (Ca) και το πυρίτιο (Si) ξεχωρίζουν λόγω των υψηλών τιμών τους ενώ σχετικά με τις κατανομές, όλα τα στοιχεία εμφανίζουν συμμετρικές κατανομές με ακραίες τιμές, κυρίως για το ασβέστιο (Ca), το σίδηρο (Fe), το τιτάνιο (Ti) και το φώσφορο (P).

Αναφερόμενοι στα ιχνοστοιχεία (**Πίνακας 32**), φαίνεται να ξεχωρίζει το στρόντιο (Sr) λόγω των υψηλών τιμών που εμφανίζει, ενώ στη συνέχεια ακολουθούν το βάριο (Ba) και το μαγγάνιο (Mn), με μέσες τιμές 120,32 ppm και 227,61 ppm αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον **Πίνακα 33b**, πολύ ισχυρές συσχετίσεις εμφανίζουν τα στοιχεία χρώμιο (Cr) και κοβάλτιο (Co) με το μαγγάνιο (Mn), το νικέλιο (Ni), το βανάδιο (V) και το ύτριο (Y), ο ψευδάργυρος (Zn) με το μαγγάνιο (Mn) και το νικέλιο (Ni) και το ζirkόνιο (Zr) με το ύτριο (Y). Αντίθετα, πρέπει να επισημανθεί ότι το αρσενικό (As) δεν εμφανίζει γραμμική συσχέτιση με κανένα στοιχείο, εκτός από το στρόντιο (Sr) όπου η συσχέτιση είναι ασθενής. Επίσης, ισχυρά αρνητική συσχέτιση παρατηρείται στο στρόντιο (Sr) σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία. Το βρώμιο (Br) συσχετίζεται ασθενώς μόνο με το ιώδιο (I), ενώ το νεοδύμιο (Nd) εμφανίζει μέτριες έως αρνητικές συσχετίσεις με όλα τα στοιχεία. Σύμφωνα με τα **Ιστογράμματα των ιχνοστοιχείων**, είναι εμφανές ότι στα περισσότερα διαγράμματα η αύξηση των τιμών των ιχνοστοιχείων συνδέεται άμεσα με τη μείωση της συχνότητας των δεδομένων. Επίσης, συνδυάζοντας τα **Διαγράμματα 20, 22, 28, 29 και 34** με το θηκόγραμμα του **Διαγράμματος 41** παρατηρούμε την ύπαρξη ακραίων τιμών στο αρσενικό (As), το βρώμιο (Br), το μαγγάνιο (Mn), το νεοδύμιο (Nd) και το ύτριο (Y). Βασιζόμενοι στο δένδρογραμμα του **Διαγράμματος 38**, το σύνολο των ιχνοστοιχείων ομαδοποιείται σε 5 κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει το αρσενικό (As) και το στρόντιο (Sr), η δεύτερη το βάριο (Ba), το ρουβίδιο (Rb), το δημήτριο (Ce) και το νεοδύμιο (Nd), η τρίτη το κοβάλτιο (Co), το μαγγάνιο (Mn), το νικέλιο (Ni), το ύτριο (Y), το χρώμιο (Cr), το βανάδιο (V), τον ψευδάργυρο (Zn) και το ζirkόνιο (Zr), η τέταρτη το λανθάνιο (La) και η πέμπτη το βρώμιο (Br) με το ιώδιο (I).

Τέλος, με βάση τις συσχετίσεις των **Πινάκων 33a, 33b** και το δένδρογραμμα του **Διαγράμματος 39** παρατηρούμε ότι το σύνολο των στοιχείων μπορεί να ταξινομηθούν σε 6 ομοιογενείς ομάδες οι οποίες παρατίθενται παρακάτω:

1^η ομάδα: As, Si, Ti, Fe, K, Zr, P, Co, Mn, Ni, Y, Cr, V, Zn

2^η ομάδα: La

3^η ομάδα: Mg, Br, I

4^η ομάδα: Ca, Sr, S

5^η ομάδα: As

6^η ομάδα: Ba, Rb, Ce, Nd

Πίνακας 32. Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων που αναλύθηκαν ως προς τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία

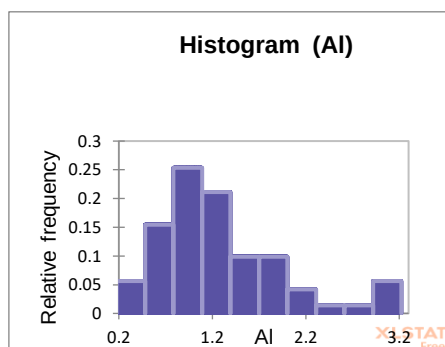
<i>Variable</i>	<i>Observations</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. deviation</i>
<i>Al</i>	71	0,17	3,12	1,28	0,68
<i>Si</i>	71	1,08	11,88	5,49	2,60
<i>P</i>	71	0,01	0,03	0,02	0,01
<i>K</i>	71	0,08	0,95	0,41	0,21
<i>Ca</i>	71	21,44	35,45	29,81	3,22
<i>Ti</i>	71	0,00	0,21	0,07	0,05
<i>Fe</i>	71	0,17	2,14	0,88	0,46
<i>Na</i>	71	0,33	1,81	1,04	0,29
<i>Mg</i>	71	1,11	2,40	1,73	0,31
<i>S</i>	71	0,13	0,32	0,21	0,04
<i>As</i>	71	6,00	17,00	9,56	2,30
<i>Ba</i>	71	45,00	237,00	120,32	41,89
<i>Br</i>	71	19,00	161,00	48,82	19,76
<i>Ce</i>	71	8,00	40,00	24,82	6,10
<i>Co</i>	71	2,00	12,00	5,48	2,51
<i>Cr</i>	71	13,00	85,00	43,35	18,48
<i>I</i>	71	30,00	76,00	45,54	10,60
<i>La</i>	71	30,00	20,00	11,18	4,05
<i>Mn</i>	71	67,00	628,00	227,61	144,29
<i>Nd</i>	71	3,00	23,00	12,46	3,48
<i>Ni</i>	71	5,00	57,00	21,13	12,63
<i>Rb</i>	71	20,00	52,00	33,90	7,78
<i>Sr</i>	71	1082,00	4468,00	2858,72	910,53
<i>V</i>	71	0,00	46,00	17,03	11,41
<i>Y</i>	71	6,00	18,00	11,65	2,76
<i>Zn</i>	71	8,00	49,00	19,54	9,53
<i>Zr</i>	71	1,00	71,00	26,94	17,16

Πίνακας 33α. Συσχέτιση των δειγμάτων που αναλύθηκαν ως προς τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία

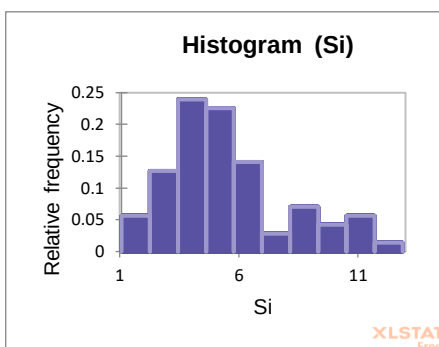
<i>Vars</i>	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Na	Mg	S	As	Ba	Br	Ce
<i>Al</i>	1	0,916	0,737	0,836	-0,965	0,898	0,860	0,498	0,130	-0,678	-0,084	0,403	0,123	0,308
<i>Si</i>	0,916	1	0,666	0,857	-0,963	0,912	0,873	0,503	0,086	-0,601	-0,120	0,409	0,038	0,353
<i>P</i>	0,737	0,666	1	0,580	-0,739	0,849	0,815	0,384	0,504	-0,457	-0,139	0,107	0,185	0,094
<i>K</i>	0,836	0,857	0,580	1	-0,848	0,720	0,691	0,410	0,040	-0,616	-0,066	0,634	0,180	0,351
<i>Ca</i>	-0,965	-0,963	-0,739	-0,848	1	-0,922	-0,879	-0,596	-0,206	0,608	0,144	-0,371	-0,183	-0,275
<i>Ti</i>	0,898	0,912	0,849	0,720	-0,922	1	0,944	0,503	0,300	-0,579	-0,146	0,231	0,094	0,283
<i>Fe</i>	0,860	0,873	0,815	0,691	-0,879	0,944	1	0,427	0,183	-0,635	-0,056	0,313	0,047	0,330
<i>Na</i>	0,498	0,503	0,384	0,410	-0,596	0,503	0,427	1	0,127	-0,033	0,097	0,052	0,460	0,064
<i>Mg</i>	0,130	0,086	0,504	0,040	-0,206	0,300	0,183	0,127	1	0,005	-0,356	-0,255	0,365	-0,273
<i>S</i>	-0,678	-0,601	-0,457	-0,616	0,608	-0,579	-0,635	-0,033	0,005	1	0,088	-0,434	0,098	-0,428
<i>As</i>	-0,084	-0,120	-0,139	-0,066	0,144	-0,146	-0,056	0,097	-0,356	0,088	1	0,106	0,054	0,105
<i>Ba</i>	0,403	0,409	0,107	0,634	-0,371	0,231	0,313	0,052	-0,255	-0,434	0,106	1	-0,092	0,407
<i>Br</i>	0,123	0,038	0,185	0,180	-0,183	0,094	0,047	0,460	0,365	0,098	0,054	-0,092	1	-0,228
<i>Ce</i>	0,308	0,353	0,094	0,351	-0,275	0,283	0,330	0,064	-0,273	-0,428	0,105	0,407	-0,228	1
<i>Co</i>	0,720	0,703	0,760	0,587	-0,727	0,802	0,843	0,353	0,283	-0,586	-0,028	0,392	0,049	0,279
<i>Cr</i>	0,651	0,640	0,636	0,476	-0,644	0,716	0,776	0,253	0,222	-0,537	0,055	0,356	-0,019	0,275
<i>I</i>	0,310	0,237	0,386	0,347	-0,318	0,308	0,232	0,277	0,435	-0,143	-0,116	0,139	0,489	-0,141
<i>La</i>	0,298	0,284	0,234	0,377	-0,276	0,261	0,290	0,033	0,083	-0,265	-0,106	0,370	0,026	0,264
<i>Mn</i>	0,750	0,705	0,839	0,609	-0,744	0,843	0,843	0,324	0,379	-0,585	-0,075	0,330	0,089	0,288
<i>Nd</i>	0,354	0,402	0,159	0,353	-0,352	0,351	0,423	0,161	-0,198	-0,281	0,151	0,423	-0,054	0,593
<i>Ni</i>	0,743	0,692	0,779	0,606	-0,727	0,809	0,819	0,307	0,335	-0,567	-0,022	0,386	0,097	0,269
<i>Rb</i>	0,450	0,399	0,034	0,656	-0,359	0,181	0,238	0,116	-0,548	-0,408	0,269	0,743	0,032	0,388
<i>Sr</i>	-0,520	-0,558	-0,677	-0,429	0,608	-0,668	-0,571	-0,334	-0,746	0,344	0,364	-0,096	-0,147	-0,051
<i>V</i>	0,752	0,727	0,734	0,569	-0,743	0,829	0,813	0,380	0,291	-0,545	-0,005	0,292	0,113	0,259
<i>Y</i>	0,701	0,730	0,670	0,581	-0,704	0,791	0,774	0,330	0,172	-0,540	-0,074	0,402	-0,095	0,369
<i>Zn</i>	0,753	0,603	0,675	0,568	-0,697	0,683	0,690	0,286	0,337	-0,597	-0,069	0,313	0,167	0,151
<i>Zr</i>	0,790	0,773	0,605	0,779	-0,775	0,730	0,676	0,353	0,176	-0,599	-0,134	0,575	0,066	0,432

Πίνακας 33b. Συσχέτιση των δειγμάτων που αναλύθηκαν ως προς τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία

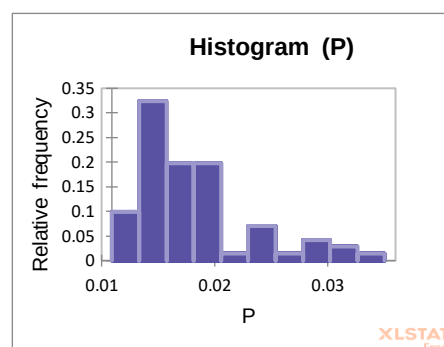
<i>Vars</i>	Co	Cr	I	La	Mn	Nd	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr
<i>Al</i>	0,720	0,651	0,310	0,298	0,750	0,354	0,743	0,450	-0,520	0,752	0,701	0,753	0,790
<i>Si</i>	0,703	0,640	0,237	0,284	0,705	0,402	0,692	0,399	-0,558	0,727	0,730	0,603	0,773
<i>P</i>	0,760	0,636	0,386	0,234	0,839	0,159	0,779	0,034	-0,677	0,734	0,670	0,675	0,605
<i>K</i>	0,587	0,476	0,347	0,377	0,609	0,353	0,606	0,656	-0,429	0,569	0,581	0,568	0,779
<i>Ca</i>	-0,727	-0,644	-0,318	-0,276	-0,744	-0,352	-0,727	-0,359	0,608	-0,743	-0,704	-0,697	-0,775
<i>Ti</i>	0,802	0,716	0,308	0,261	0,843	0,351	0,809	0,181	-0,668	0,829	0,791	0,683	0,730
<i>Fe</i>	0,843	0,776	0,232	0,290	0,843	0,423	0,819	0,238	-0,571	0,813	0,774	0,690	0,676
<i>Na</i>	0,353	0,253	0,277	0,033	0,324	0,161	0,307	0,116	-0,334	0,380	0,330	0,286	0,353
<i>Mg</i>	0,283	0,222	0,435	0,083	0,379	-0,198	0,335	-0,548	-0,746	0,291	0,172	0,337	0,176
<i>S</i>	-0,586	-0,537	-0,143	-0,265	-0,585	-0,281	-0,567	-0,408	0,344	-0,545	-0,540	-0,597	-0,599
<i>As</i>	-0,028	0,055	-0,116	-0,106	-0,075	0,151	-0,022	0,269	0,364	-0,005	-0,074	-0,069	-0,134
<i>Ba</i>	0,392	0,356	0,139	0,370	0,330	0,423	0,386	0,743	-0,096	0,292	0,402	0,313	0,575
<i>Br</i>	0,049	-0,019	0,489	0,026	0,089	-0,054	0,097	0,032	-0,147	0,113	-0,095	0,167	0,066
<i>Ce</i>	0,279	0,275	-0,141	0,264	0,288	0,593	0,269	0,388	-0,051	0,259	0,369	0,151	0,432
<i>Co</i>	1	0,879	0,284	0,293	0,926	0,462	0,926	0,245	-0,675	0,897	0,879	0,799	0,741
<i>Cr</i>	0,879	1	0,216	0,258	0,821	0,463	0,925	0,237	-0,585	0,902	0,829	0,762	0,707
<i>I</i>	0,284	0,216	1	0,158	0,344	-0,077	0,359	0,147	-0,299	0,332	0,175	0,404	0,290
<i>La</i>	0,293	0,258	0,158	1	0,343	0,204	0,344	0,256	-0,282	0,342	0,346	0,286	0,445
<i>Mn</i>	0,926	0,821	0,344	0,343	1	0,384	0,946	0,208	-0,727	0,893	0,895	0,810	0,757
<i>Nd</i>	0,462	0,463	-0,077	0,204	0,384	1	0,428	0,417	-0,110	0,413	0,434	0,227	0,455
<i>Ni</i>	0,926	0,925	0,359	0,344	0,946	0,428	1	0,284	-0,677	0,934	0,885	0,840	0,782
<i>Rb</i>	0,245	0,237	0,147	0,256	0,208	0,417	0,284	1	0,240	0,231	0,259	0,295	0,494
<i>Sr</i>	-0,675	-0,585	-0,299	-0,282	-0,727	-0,110	-0,677	0,240	1	-0,695	-0,686	-0,611	-0,647
<i>V</i>	0,897	0,902	0,332	0,342	0,893	0,413	0,934	0,231	-0,695	1	0,890	0,797	0,791
<i>Y</i>	0,879	0,829	0,175	0,346	0,895	0,434	0,885	0,259	-0,686	0,890	1	0,709	0,810
<i>Zn</i>	0,799	0,762	0,404	0,286	0,810	0,227	0,840	0,295	-0,611	0,797	0,709	1	0,702
<i>Zr</i>	0,741	0,707	0,290	0,445	0,757	0,455	0,782	0,494	-0,647	0,791	0,810	0,702	1



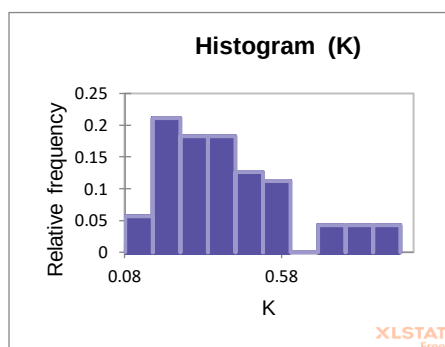
Διάγραμμα 10



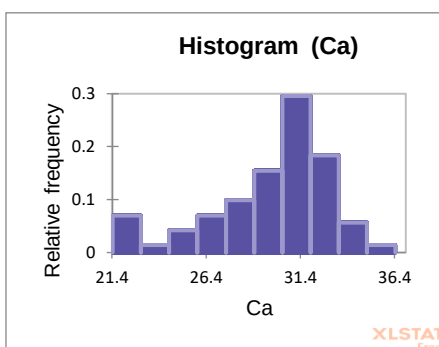
Διάγραμμα 11



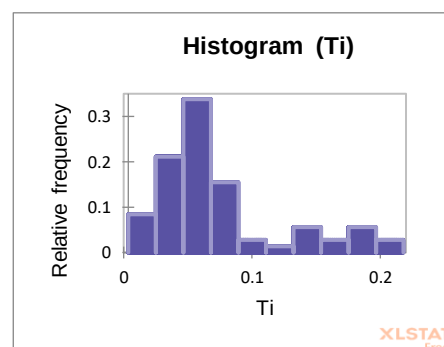
Διάγραμμα 12



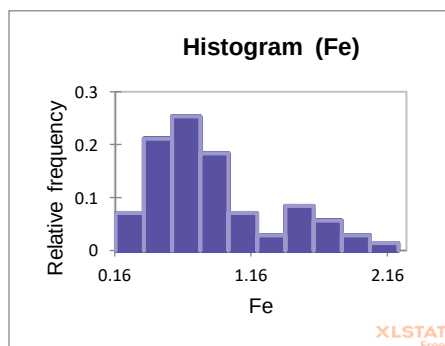
Διάγραμμα 13



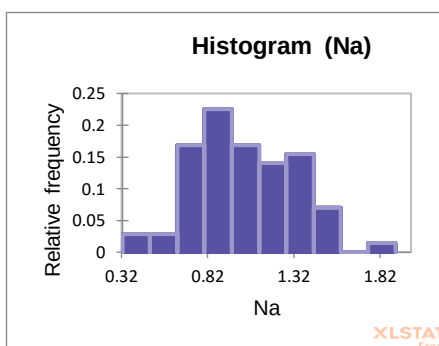
Διάγραμμα 14



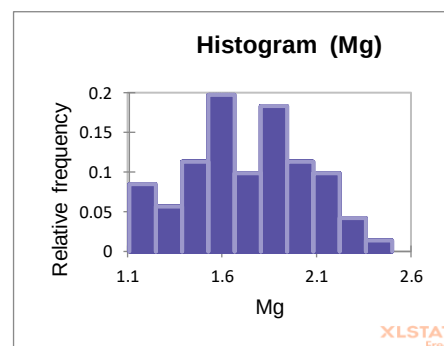
Διάγραμμα 15



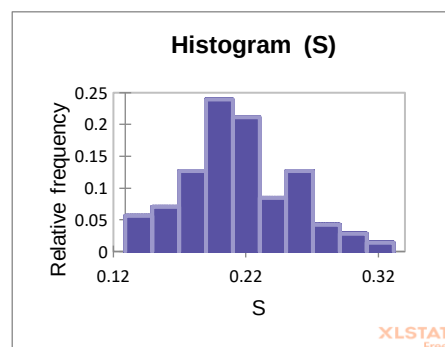
Διάγραμμα 16



Διάγραμμα 17

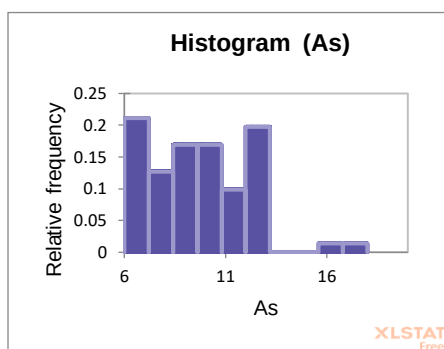


Διάγραμμα 18

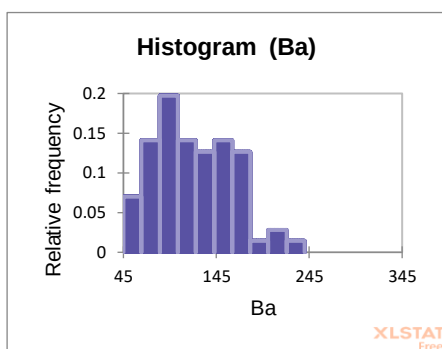


Διάγραμμα 19

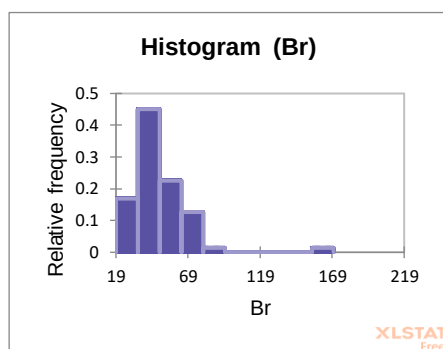
Ιστογράμματα κύριων στοιχείων (Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Na, Mg, S)



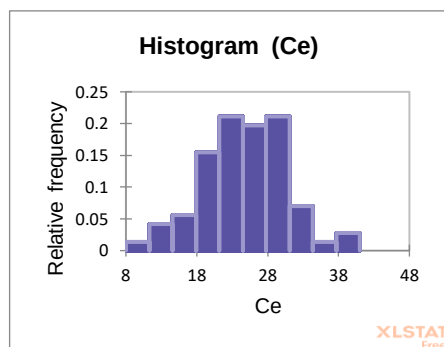
Διάγραμμα 20



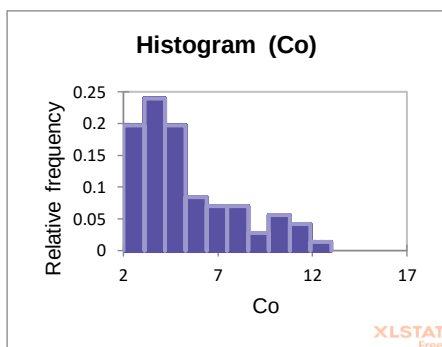
Διάγραμμα 21



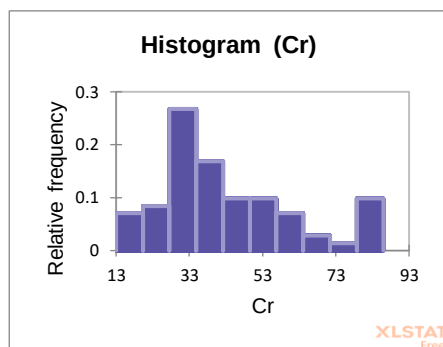
Διάγραμμα 22



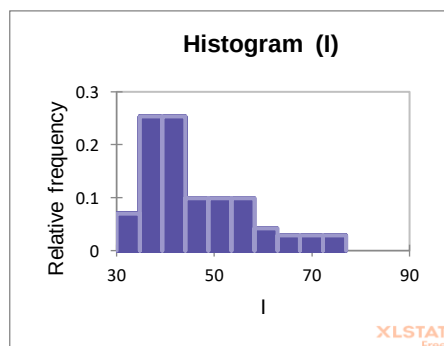
Διάγραμμα 23



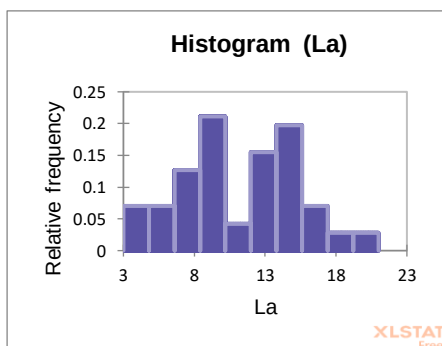
Διάγραμμα 24



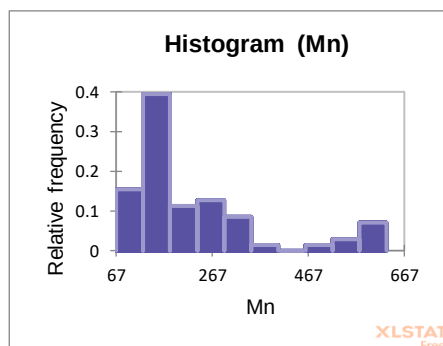
Διάγραμμα 25



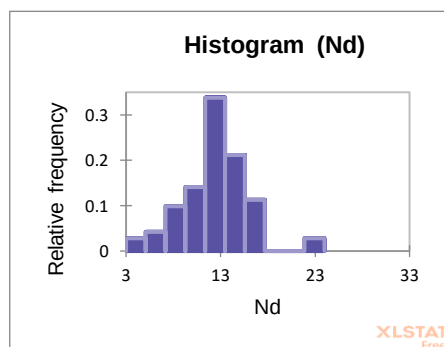
Διάγραμμα 26



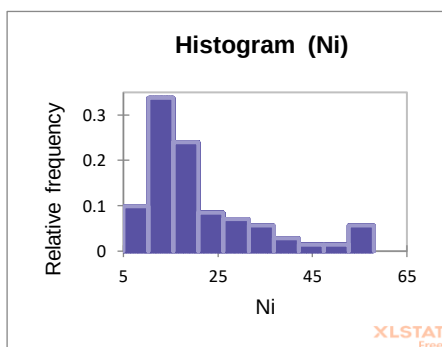
Διάγραμμα 27



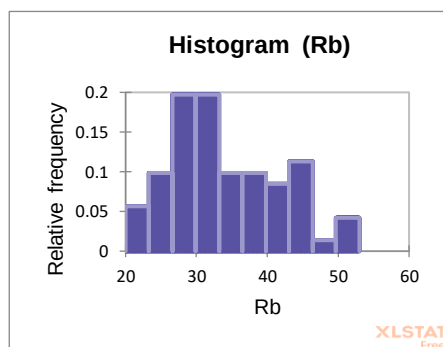
Διάγραμμα 28



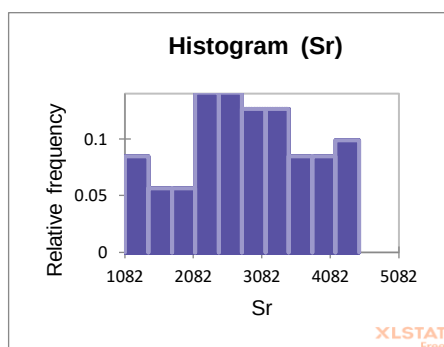
Διάγραμμα 29



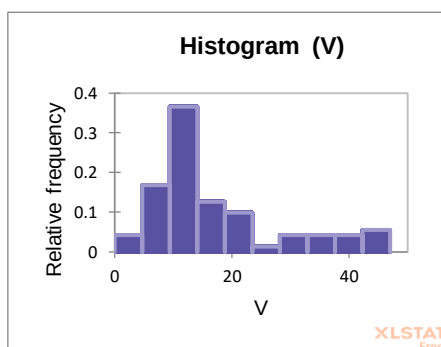
Διάγραμμα 30



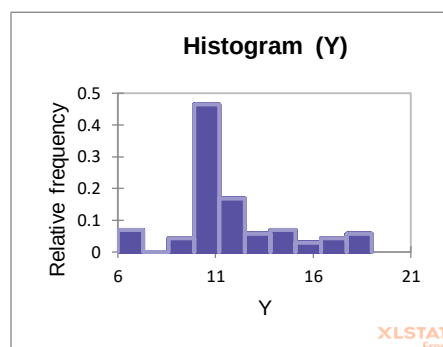
Διάγραμμα 31



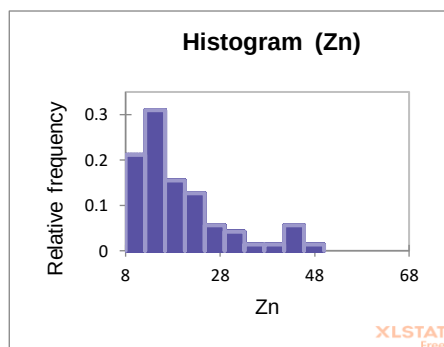
Διάγραμμα 32



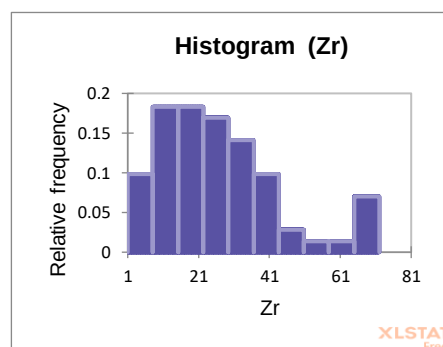
Διάγραμμα 33



Διάγραμμα 34

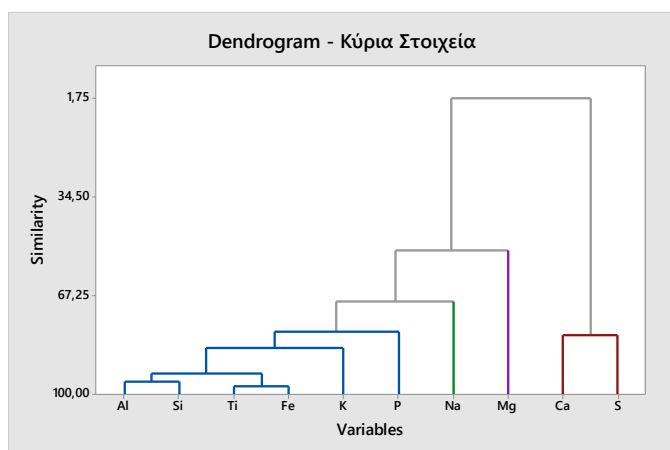


Διάγραμμα 35

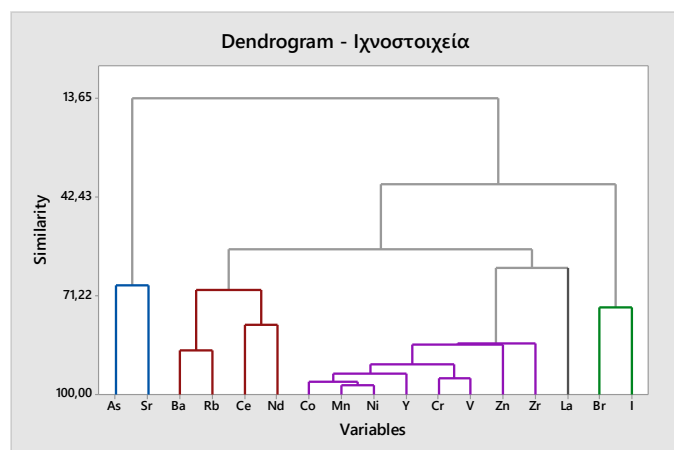


Διάγραμμα 36

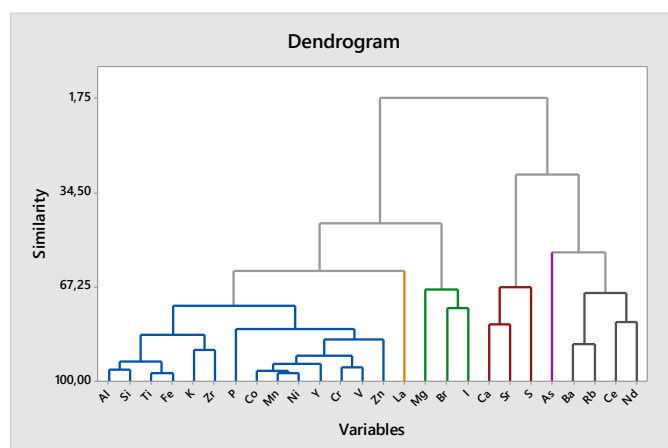
Ιστογράμματα ιχνοστοιχείων (As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, I, La, Mn, Nd, Ni, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr)



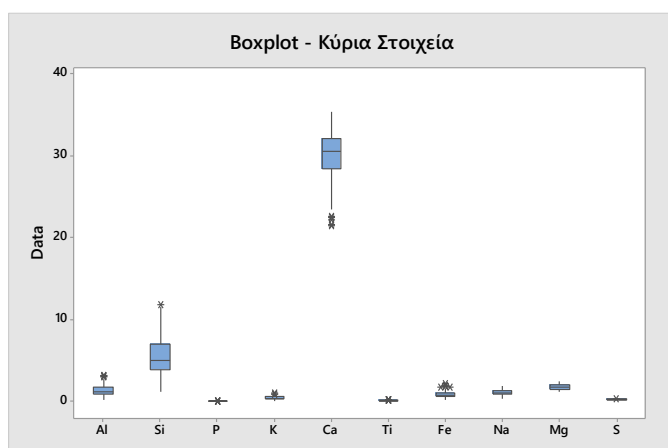
Διάγραμμα 37. Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των κύριων στοιχείων (Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Na, Mg, S)



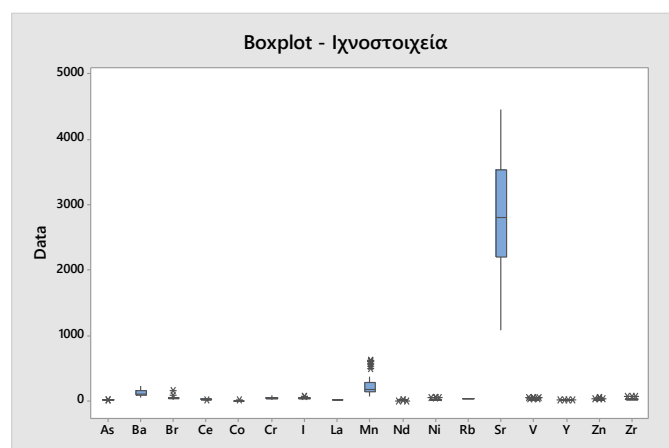
Διάγραμμα 38. Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των ιχνοστοιχείων (As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, I, La, Mn, Nd, Ni, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr)



Διάγραμμα 39. Συνολικό δενδρόγραμμα ομαδοποίησης όλων των χημικών στοιχείων



Διάγραμμα 40. Θηκόγραμμα (boxplot) των κύριων στοιχείων (Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Na, Mg, S)



Διάγραμμα 41. Θηκόγραμμα (boxplot) των ιχνοστοιχείων (As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, I, La, Mn, Nd, Ni, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr)

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη σύσταση και την προέλευση των ιζημάτων του πυθμένα των Βορείων Κυκλάδων. Η υπό εξέταση θαλάσσια περιοχή οριοθετείται από τα νησιά Τήνος, Μύκονος, Πάρος, Νάξος και Σύρος, ενώ η μελέτη στηρίζεται σε κοκκομετρικές, ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις. Τα αποτελέσματα εμπλουτίζονται με κοκκομετρικούς και γεωχημικούς χάρτες, δημιουργώντας έναν πλήρη γεω-περιβαλλοντικό οδηγό για την περιοχή των Βορείων Κυκλάδων.

Στα περισσότερα δείγματα που εξετάστηκαν το μεγαλύτερο τους μέρος αποτελείται από άμμο και πιο συγκεκριμένα από **αργιλούχο άμμο**. Τα δείγματα αυτά βρίσκονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα του πλατώ των Κυκλάδων, όπου παρατηρούνται μικρότερα βάθη. Αντίθετα, η περιοχή βορειοδυτικά της Σύρου, κυριαρχείται από ιλύ και άργιλο. Είναι εμφανές, επομένως, ότι η αύξηση του βάθους οδηγεί σε μείωση της κοκκομετρίας των δειγμάτων. Η κατανομή των ιζημάτων συνάδει άμεσα με τη βαθυμετρία που παρατηρείται στην περιοχή μελέτης (Βολάκης και Αναγνώστου, 1993, Anagnostou et al., 1998). **Η αφαίρεση των ανθρακικού ποσοστού οδηγεί σε σημαντική μείωση του ποσοστού της άμμου και ταυτόχρονη αύξηση της ιλύου και της αργίλου.**

Σχετικά με την **ορυκτολογική σύσταση** καταλήγουμε στο ότι ο **χαλαζίας, ο ασβεστίτης και ο ιλλίτης** είναι τα ορυκτά με τα υψηλότερα ποσοστά στα ιζήματα της περιοχής μελέτης. Ακολουθούν ο αλβίτης, το κλινόχλωρο και ο αλίτης, ενώ σε μικρότερα ποσοστά εμφανίζονται τα εξής: δολομίτης, εδενίτης, αραγωνίτης, εφεσίτης, ανθοφυλλίτης, σεπιόλιθος, γλαυκοφανής, τάλκης, γύψος, ορθόκλαστο, ανορθόκλαστο. Τα ορυκτά αυτά αποτελούν το προϊόν διάβρωσης και μεταφοράς των πετρωμάτων που εμφανίζονται στα νησιά της περιοχής μελέτης, ενώ μεγάλο ποσοστό σχετίζεται με την ύπαρξη ανθρακικών βιο-κοινωνιών.

Ο **γλαυκοφανής** παρατηρείται ανάμεσα στα νησιά της Τήνου και της Σύρου, με αποτέλεσμα να εμφανίζει άμεση συσχέτιση με τα μάρμαρα της Σύρου (Schumacher, 2008) και τους γλαυκοφανιτικούς σχιστόλιθους της Τήνου (Ι.Γ.Μ.Ε, φύλλο χάρτη Νήσοι Τήνος – Γυάρος, Melidonis, 1980). Το ορυκτό **ανθοφυλλίτης** εμφανίζεται, επίσης, ανάμεσα στα νησιά της Τήνου και της Σύρου, δημιουργώντας έντονη σύνδεση με τους σχιστόλιθους της Σύρου (Dixon, 1968). Ο **τάλκης** αποτελεί συστατικό πετρωμάτων χαμηλού έως μέσου βαθμού μεταμόρφωσης και παρατηρείται στη γύρω περιοχή της Τήνου, με αποτέλεσμα να συνδέεται με τους σερπεντινίτες της Ανώτερης Ενότητας της Τήνου (Ταγμάς, 2007). Το **ορθόκλαστο** απαντά κυρίως στα μαγματικά και μεταμορφωμένα πετρώματα της Τήνου και της Σύρου, όπου αναφέρονται και τα δείγματα στα οποία εμφανίζεται. Τα ορυκτά γλαυκοφανής, ανθοφυλλίτης, τάλκης και ορθόκλαστο θεωρούνται δυσδιάλυτα διότι σε κάποια δείγματα εμφανίζονται μόνο μετά τη διάλυση των ανθρακικών συστατικών με την χρήση υδροχλωρικού οξέος. Αντίθετα, άλλα ορυκτά που μπορεί να υπήρχαν στο δείγμα σε πολύ μικρή αναλογία (π.χ. ανκερίτης, σιδηρίτης, αραγωνίτης) και είναι ευδιάλυτα στα οξέα, εξαφανίζονται εντελώς.

Ο **εδενίτης** εμφανίζεται σχεδόν σε όλες τις ορυκτολογικές αναλύσεις διότι συνδέεται άμεσα με μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλής θερμοκρασίας και απαντάται κυρίως σε μάρμαρα, πετρώματα τα οποία κυριαρχούν στην περιοχή μελέτης. Ο **αλίτης** σχετίζεται με τη φύση των δειγμάτων, ενώ παράλληλα συνδέεται και με τα ορυκτά της **γύψου** και του **δολομίτη**. Ο **ιλλίτης** και το **κλινόχλωρο**, απαντώνται σε όλα τα δείγματα και σχετίζονται με το μεταμορφωμένο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης.

Το **βιογενές υλικό** είναι κυρίως ανθρακικής σύστασης (τρηματοφόρα, κοράλλια), με το ποσοστό των πυριτικών οργανισμών να είναι σχεδόν μηδαμινό. Στο σύνολο τους εμφανίζονται ως καλά διατηρημένοι ενώ ένα μεγάλο ποσοστό αποτελείται από επανεπεξεργασμένα θραύσματα. Τα βιογενή συστατικά φαίνεται να μην έχουν μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ το μεγαλύτερο μέρος τους απαντάται στο χονδρόκοκκο κλάσμα. Η αύξηση του ποσοστού τους βιογενούς υλικού σε μικρότερα βάθη, που παρατηρείται κυρίως το κλάσμα της άμμου, σχετίζεται με τις οικολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης και την υδροδυναμική κατάσταση του περιβάλλοντος (Βολάκης και Αναγνώστου, 1998).

Σε ότι αφορά τη **γεωχημική σύσταση των ιζημάτων** καταλήγουμε στο ότι στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου η άμμος αποτελεί την κύρια κοκκομετρική βαθμίδα, παρατηρούνται αυξημένα ποσοστά σε ασβέστιο (Ca), θείο (S) και στρόντιο (Sr), τα οποία προέρχονται από τα βιογενή ανθρακικά συστατικά.

Μετά τη διάλυση του ανθρακικού τμήματος των δειγμάτων, παρατηρούμε ότι τα κύρια στοιχεία **Si, Al, Ti, K, Na και τα ιχνοστοιχεία Ba, Ce, Cr, Nd, Rb, V, Y, Zr** αυξάνονται σε όλα τα δείγματα, γεγονός που υποδηλώνει ότι εμφανίζονται με τη μορφή δυσδιάλυτων ορυκτών. Αντίθετα, τα κύρια στοιχεία **Ca, Mg, S** μειώνονται οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι είτε είναι προσροφημένα στο πλέγμα των αργιλικών ορυκτών είτε είναι ευδιάλυτα. Σχετικά με τα ιχνοστοιχεία, το **Sr** μειώνεται κατακόρυφα και στα 7 δείγματα τα οποία προσβλήθηκαν με υδροχλωρικό οξύ, διότι συνδέεται άμεσα με το, βιογενούς προέλευσης, ανθρακικό τους μέρος, το οποίο διαλύθηκε. Τα κύρια στοιχεία **Fe και Mn** αυξάνονται και αυτά σε όλα τα δείγματα εκτός από τα F37, F58 και F108, ενώ το στοιχείο **P** μειώνεται σε όλα, εκτός από τα δείγματα F68, G58, G78. Το **Mn** βρίσκεται σε πιο ευδιάλυτη μορφή σε σχέση με το **Fe**, αφού μετά την προσθήκη υδροχλωρικού οξέος απομακρύνεται έως και το 75%.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο **εντοπισμός ορυκτών του βαρίου και δευτερογενών ορυκτών του χαλκού, ψευδαργύρου και μολύβδου**, τα οποία συνδέονται άμεσα με την ύπαρξη αντίστοιχων μεταλλοφοριών σε πολλά νησιά των Κυκλάδων όπως η Κέα, η Κύθνος, η Άνδρος, η Σύρος, η Πάρος και η Σέριφος (Pelton et al., 2015; Bassiakos & Philaniotou, 2007). Πιο συγκεκριμένα, ο **χαλκός** σχετίζεται με την, επιθερμικού τύπου Au-Ag-Te, μεταλλοφορία στην περιοχή Πάνορμος της Τήνου (Tombros, 2010), ενώ ενδείξεις έχουν βρεθεί στην περιοχή Καστρί της Σύρου (Gale et al., 1985). Ο εντοπισμός ορυκτών του βαρίου αναφέρεται κυρίως στον βαρύτη που εμφανίζεται στην περιοχή της Μυκόνου (Tombros, 2015). Επίσης, **ορυκτά του χρωμίου και του νικελίου**, που παρατηρήθηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, συνδέονται με τα οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα και τους σερπεντινίτες της Τήνου που εντοπίζονται στην Ανώτερη Ενότητα της (Melidonis, 1980, Taymaz, 2007).

Βασιζόμενοι στη στατιστική ανάλυση τα στοιχεία **Al, Si, Ti, Fe, K, P, Zr, V, Zn, Y** συνδέονται με τα αργιλοπυριτικά ορυκτά, **τα Co, Mn, Ni, Cr** με τους σερπεντινίτες, **τα Ba, Rb, Ce, Nd** με τα χερσογενή πετρώματα, **τα Mg, Br, I** με τα άλατα που υπάρχουν στα δείγματα λόγω της φύσης τους και τα **Ca, Sr, S** με το βιογενές τμήμα των δειγμάτων. Το **La και το As** δεν ομαδοποιούνται με άλλα χημικά στοιχεία.

Ανακεφαλαιώνοντας, στην παρούσα μελέτη **το υλικό των δειγμάτων κυριαρχείται από ανθρακικής προέλευσης βιογενές υλικό**, με ουσιαστική απουσία του χερσογενούς λόγω μη-παρουσίας μεγάλων ποταμών αλλά και χαμηλής περιεκτικότητας σε αιωρούμενο υλικό στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Τα μη ανθρακικής προέλευσης ορυκτά έχουν άμεση σύνδεση τους με το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Στην περιοχή εντοπίστηκαν **βαρέα ορυκτά (ιλμενίτης, βαρύτης)** τα οποία, όμως, δεν συνδέονται με οικονομικά εκμεταλλεύσιμους ορίζοντες, αφού η περιεκτικότητά τους δεν υπερβαίνει το 1%. Επίσης, πρέπει να επισημανθεί ότι η ύπαρξη

μεταλλοφόρων συστατικών δεν παρουσιάζει αρνητικό αντίκτυπο στο θαλάσσιο περιβάλλον και τα τοξικά στοιχεία είναι ανύπαρκτα. Σε γενικές γραμμές, το υλικό δεν είναι κατάλληλο για περαιτέρω βιομηχανικές χρήσεις λόγω της μεικτής του φύσης. Ωστόσο, σε περιοχές όπου τα ανθρακικά ορυκτά καταλαμβάνουν ποσοστό άνω του 80% και δεδομένης της βιογενούς προέλευσης σύστασης τους, η χρήση τους σε εδαφοβελτιωτικές ενέργειες κρίνεται εφικτή. Τέλος, η επεξεργασία του συγκεκριμένου υλικού μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή βιολογικών λιπασμάτων πλούσιων σε οργανικό ασβέστιο και μαγνήσιο, συντελώντας με αυτό τον τρόπο στη δημιουργία γόνιμων εδαφών.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγλόφωνη

- Anagnostou, Ch., Richter, D. K., Riedel, D. and Trapp, T. 1998. Recent sediments in the South Cyclades Marine Area, Aegean Sea. *Bulletin of the Geological Society of Greece. Proceedings of the 8th International Congress, Patras*, pp. 193- 203.
- Anderson, O. R. 1983. *Radiolaria*. New York.
- Alexander, W. M., Mccracken, C. W., Secretan, L. and Berg, O. E. 1963. *Space Research*, Vol. III, p. 891. Amsterdam: North Holland Publ. Co.
- Altherr, R., Kreuzer, H., Wendt, I., Lenz, H., Wagner G., Keller, J., Harre, W. and Hohndorf, A. 1982. A late Oligocene / Early Miocene high temperature belt in the Attic – Cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece). *Geol. Jb.*, Vol. 23, pp. 97 – 164.
- Assinder, D. J., Yamamoto, M., Kim, C. K., Seki, R., Takaku, Y., Yamauchi, Y., Igarasi, S., Komura, K. and Ueno, K. 1993. Radioisotopes of thirteen elements in the intertidal coastal sediments and estuarine sediments in the Irish Sea. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, Vol. 170, pp. 333-346.
- Avigad, D. and Garfunkel, Z. 1989. Low angle faults underneath and above a blueschist belt – Tinos Island, Cyclades, Greece. *Terra Nova*, Vol. 1, pp. 182 –187.
- Babel, M and Schreiber, B. C. 2014. Geochemistry of evaporates and evolution of seawater. In book: *Treatise on Geochemistry*, 2nd ed., v. 9. Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks, Chapter 9.18, Elsevier.
- Barbieri, M. 2016. The importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to evaluate the soil contamination. *J Geol Geophys* 5:237. DOI: 10.4172/2381-8719.1000237.
- Bargnesi, E. A., Stockli, D. F., Mancktelow, N. and Soukis, K. 2013. Miocene core complex development and coeval supradetachment basin evolution of Paros, Greece, insights from (U-Th)/He thermochronometry. *Tectonophysics*, Vol. 595-596, pp. 165-182.
- Bassiakos, Y., and Philaniotou, O. 2007. Early copper production on Kythnos: archaeological evidence and analytical approaches to the reconstruction of metallurgical process, in *Metallurgy in the Early Bronze Age Aegean: new evidence for production and consumption* (eds. P. M. Day and R. C. P. Doonan), 19–56, *Sheffield Studies in Aegean Archaeology*, 7, Oxbow Books, Oxford.
- Behr, W. M., Kotowski, A. J. and Ashley, K. T. 2018. Dehydration – induced rheological heterogeneity and the deep tremor source in warm subduction zones. *Geology*, Vol. 46, pp. 475–478.
- Beiras, R. 2018. *Marine pollution: sources, fate and effects of pollutants in coastal systems*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N., Dell’ Atti, A., Di Leo, A. and Maci, A. 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea. Southern Italy). *Elsevier, Marine Chemistry*, 99, pp. 227- 235.
- Bolhar, R., Ring, U. and Ireland, T. R. 2016. Zircon in amphibolites from Naxos, Aegean Sea, Greece: origin, significance and tectonic setting. *Journal of Metamorphic Geology*, Vol. 35, Issue 4, pp. 413-434.
- Bolton, J. L., Stehr, C. M., Boyd, D. T., Burrows, D. G., Tkalin, A. V., Lishavskaya, T. S. 2004. Organic and trace metal contaminants in sediments and English sole tissues from Vancouver Harbour, Canada. *Mar Environ Res*, Vol. 57, pp. 19–36.

- Bonneau, M., Geyssant, J. and Lepvrier, C. 1978. Tectonique alpine dans la massif d' Attique – Cyclades, Plis couches kilometriques dans l'île de Naxos, consequences. *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.*, Vol. 20, Issue 1, pp. 109 – 122.
- Bonneau, M., Blake, M. C., Geyssant, J., Kienast, J. R., Lepvrier, C., Maluski, H. and Papanikolaou, D. 1980. Sur la signification des series metamorphique (schistes bleus) des Cyclades (Hellenides, Grece). L' exemple de l'île de Syros. *Comptes Rendus de l' Academie des Sciences*, D290, pp. 1463-1466.
- Bonnet, P. J. P., Appleby, P. G. and Oldfield, F. 1988. Radionuclides in coastal and estuarine sediments from Wirral and Lancashire. *The Science of the Total Environment*, Vol. 70, pp. 215-236.
- Bonsdorff, E., Blomqvist, E. M., Mattila, J. and Norkko, A. 1997. Coastal-eutrophication: causes, consequences and perspectives in the Archipelago areas of the northern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 44 (Suppl. A), pp. 63-72.
- Breeding, C. M., Ague, J. J., Brocker, M. and Bolton, E. M. 2003. Blueschist preservation in a retrograded, high-pressure, low-temperature metamorphic terrane, Tinos, Greece: Implications for fluid flow paths in subduction zones. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 4., No. 1.
- Brichau, S., Ring, U., Carter, A., Monie, P., Bolhar, R., Stockli, D. and Brunel, M. 2007. Extensional faulting on Tinos Island, Aegean Sea, Greece: How many detachments? *Tectonics*, Vol. 26, TC4009.
- Brocker, M. 1990. Blueschist-to-greenschist transition in metabasites from Tinos Island, Cyclades, Greece: Compositional control or fluid infiltration?. *Lithos*, Vol. 25, pp. 25-39.
- Brocker, M., Franz, M., Franz, L., 2005. The base of the Cycladic blueschist unit on Tinos Island (Greece) re-visited: Field relationships, phengite chemistry and Rb – Sr geochronology. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, Vol. 181, No. 1, pp. 81–93.
- Broecker, W. S. and Peng, T.-H. 1982. *Tracers in the Sea*. Palisades, ELDIGIO press. 690pp.
- Brown J., Hosseini A., Børretzen P. and Iosjpe, M. 2003. Environmental impact assessments for the marine environment – transfer and uptake of radionuclides. *StrålevernRapport 2003:7* Østerås: Norwegian Radiation Protection Authority.
- Bulle, F., Brocker, M., Gartner, C. and Keasling, A. 2010. Geochemistry and geochronology of HP melanges from Tinos and Andros, cycladic blueschist belt, Greece. *Lithos*, Vol. 117, pp. 61–81.
- Burton, G. A., Jr. 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, Vol. 3, Issue 2, pp. 65-76.
- Calmet, D. P. and Bewers, J. M. 1991. Radioactive waste and ocean dumping: The role of the IEA . *Marine Policy*, Vol. 15, No. 6, pp. 413-430.
- Caraco, N. F. 1995. Influence of human populations on P transfers to aquatic ecosystems: A regional scale study using large rivers. In: H Tiessen, Ed, *Phosphorus in the Global Environment*. John Wiley and Sons, New York, New York, pp. 235–244.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N. and Smith, V. H., 1998a. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol Appl*, Vol. 8, pp. 559–568.
- Charette, M. A. and Smith, W. H. F. 2010. The volume of Earth's ocean. *Oceanography*, Vol. 23, pp. 112–114.
- Chavez, C. and Alonso, E. E. 2003. A constitutive model for crushed granular aggregates which includes suction effects. *Soils Found.*, Vol. 43, Issue 4, pp. 215-227.
- Chotiros, N. P. 2017. Acoustics of the Seabed as a Poroelastic Medium. Chapter 2, *Sediment classification*. SpringerBriefs in Oceanography, DOI: 10.1007/978-3-319-14277-7_2.

- Clifton, J., McDonald, P., Plater, A. and Oldfield, F. 1997. Radionuclide activity and sediment properties in Eastern Irish Sea intertidal environments. *Radioprotection – Colloques*, Vol. 32, pp. 287-292.
- Coe, J. M. and Rogers, D. B. 1997. *Marine Debris. Sources, Impacts and Solutions*. Springer, New York, pp. xxxi-xxxv.
- Cole, J. J., Peierls, B.L., Caraco, N. F., Pace, M. L. 1993. Nitrogen loading of rivers as a human-driven process, pp. 141–157. In: MJ McDonnell and STA Pickett, Eds, *Humans as Components of Ecosystems*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Cooperdock, E. H. G., Raia, N. H., Barnes, J. D., Stockli, D. F., Schwarzenbach, E. M. 2017. Tectonic origin of serpentinites on Syros, Greece: Geochemical signatures of abyssal origin preserved in a HP/LT subduction complex. *Lithos*, Vol. 296-299, pp. 352-364.
- Correll, D. L. 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *J Environ Quality*, Vol. 27, pp. 261–266.
- Cushman, J. A. 1948. *Foraminifera. Their classification and Economic use*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Davies, A. G. 1978. Pollution studies with marine plankton; Part II. Heavy metals. *Advances in Marine Biology*, Vol. 15, pp. 381-508.
- Denele, Y., Lecomte, E., Jolivet, L., Lacombe, O., Labrousse, L., Huet, B. and Le Pourhiet, L. 2011. Granite intrusion in a metamorphic core complex: The example of the Mykonos laccolith (Cyclades, Greece). *Tectonophysics*, Vol. 501, pp. 52-70.
- Dermitzakis, M. and Papanikolaou, D. 1980. The molasse of Paros Island, Aegean Sea. *Annales Naturhist Museum Wien*, Vol. 83, pp. 59-71.
- Die'z, S., Lacorte, S., Viana, P., Barcelo, D. and Bayona, J. M. 2005. Survey of organotin compounds in rivers and coastal environments in Portugal 1999-2000. *Environ Poll*, Vol. 146, pp. 525-536.
- Dixon, J. E. 1968. The metamorphic rocks of Syros, Greece. Unveröff. Ph. D. Thesis Univ. Cambridge.
- Dunlea, A. G., Scudder, R. P. and Murray, R. W. 2018. Marine sediment. In: White W. (eds) *Encyclopedia of Geochemistry. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Cham.
- Durr, S. and Flugel, E. 1979. Contribution a la stratigraphie du cristallin des Cyclades: Mise en evidence du Trias Superier dans les marbres de Naxos (Grece). *Rapp. Comm.int. Mer Medit*, Vol. 25/26, Issue 2a, pp. 31-32.
- EEA environmental statement. 2007. Corporate document No 2/2007. Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities.
- Förstner, U. and Wittman, G. T. W. 1981. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- Foyn, L. 2001. Radioactive Wastes. In Steele, J. H., Turekian, K. K. and Thorpe, S. A., eds. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, San Diego, CA: Academic Press.
- Frid, C. L. J. and Caswell, B. A. 2017. *Marine pollution*. Oxford University Press. New York, United States of America.
- Galanos, I. 2001. On the contribution of remote sensing techniques to the hydrogeological and geological investigation of the island of Naxos, Greece (in Greek). Phd Thesis, National Technical University of Athens, Greece
- Galanos, I. and Rokos, D. 2006. A statistical approach in investigating the hydrogeological significance of remotely sensed lineaments in the crystalline mountains terrain of the island of Naxos, Greece. *Hydrogeology Journal*, Vol. 14, pp. 1569-1581.
- Gale, N. H., Papastamataki, A., Stos-Gale, Z.A. and Leonis, K. 1985. Copper Sources and Copper Metallurgy in the Aegean Bronze Age. In *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity (BMOP 48)*, P.T. Craddock and M.J. Hughes, eds., London, pp. 81–101.
- GESAMP. 1990. *The state of the marine environment*. Oxford: Blackwell Scientific.

- Gitahi, N. 2004. Geochemistry and metamorphic evolution of eclogites on Syros island, Greece, paper presented at Seventeenth Annual Keck Research Symposium in Geology, Keck Geol. Consortium, Lexington, Va.
- Goldberg, E. D. 1963. Mineralogy and chemistry of marine sedimentation. In *SubMar. Geol.* (ed. F. P. Shephard). Harper and Row, New York, pp. 436-466.
- Gregory, M. R. 1999. Plastics and South Pacific Island shores: environmental implications. *Ocean and Coastal Management*, Vol. 42, pp. 603-615.
- Grillo, V., Parsons, E. C. M., Shrimpton, J. H., 2001. A review of sewage pollution and cetaceans: a Scottish perspective. Paper presented to the Scientific Committee at the 53rd Meeting of the International Whaling Commission, 3-16 July, London.
- Groeneveld, D. P., Huntington, J. L. and Barz D. D. 2010. Floating brine crusts, reduction of evaporation and possible replacement of fresh water to control dust from Owens Lake bed, California. *Journal of Hydrology*, Vol. 392, pp. 211-218.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research*, Vol. 14, pp. 975-1001.
- Hedley, R. H. 1964. The biology of Foraminifera. *International Review of General and Experimental Zoology*, Vol. 1, pp. 1-44.
- Hemming, S. R. 2007. Terrigenous sediments. In Elias, S. A. (ed), *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1776 – 1785.
- Hetherington, J. A. and Jefferies, D. F. 1974. The distribution of some fission product radionuclides in sea and estuarine sediments. *Netherlands Journal of Sea Research*, Vol. 8, pp. 319-338.
- Hinsken, T., Brocker, M., Strauss, H. and Bulle, F. 2017. Geochemical, isotopic and geochronological characterization of listvenite from the Upper Unit on Tinos, Cyclades, Greece. *Lithos*, Vol. 282-283, pp. 281-297.
- Holley, E. A., T. Ross, and J. T. Cheney. 2004. Pressure - temperature conditions of metamorphism in eclogites, Syros, Greece. *Geol. Soc. Am. Abstr. Programs*, Vol. 36, Issue 4, pp. 91.
- Horsfall, M., Ogban, F. and Spiff, A. 1994. Petroleum hydrocarbon pollution: the distribution in sediment and water of the New Calabar River, Port Harcourt, Nigeria. *The Science of the Total Environment*, 141, pp. 217-221.
- Hurd, D. C. and Takahashi, K. 1981. On the Estimation of Minimum Mechanical Loss during an in situ Biogenic Silica Dissolution Experiment. *Mar. Micropaleontol.*, No. 6, pp. 169–182.
- International Hydrographic Bureau. 1953. Limits of oceans and seas, 3rd ed. Special Report No. 53, Monte Carlo.
- Islam, Md. S. and Tanaka, M. 2004. Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 48, pp.624-649.
- Ivory, S. G., McGlue, M. M., Ellis, G. F., Lezine, A-M., Cohen, A. S. and Vincens, A. 2014. Vegetation Controls on Weathering Intensity during the Last Deglacial Transition in Southeast Africa. *PLoS One*, Vol. 9, Issue 11: e112855.
- Jenny, H. 1980. *The Soil Resource*. Springer Verlag, 377 pp.
- Julius, M. L. and Theriot, E. C. 2010. The diatoms: a primer. In book: *The diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences*, Second Edition, Cambridge University Press.
- Kapsimalis, V., Pavlopoulos, K., Panagiotopoulos, I., Drakopoulou, P., Vandarakis, D., Sakelariou, D. and Anagnostou, A. 2009. Geoarchaeological challenges in the Cyclades continental shelf (Aegean Sea). *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, Vol. 53, Issue 1, pp. 169-190.

- Karageorgis, A. P., Ioakim, Chr., Roussakis, G., Sakellariou, D., Vougioukalakis, G.,..., and Marathos, I. 2016. Geomorphology, Sedimentology and Geochemistry in the marine area between Sifnos and Kimolos Islands, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Vol. 50, pp.334-344.
- Katzir, Y., Garfunkel, Z., Avigad, D. and Matthews, A. 2007. The geodynamic evolution of the Alpine orogen in the Cyclades (Aegean Sea, Greece): Insights from diverse origins and modes of emplacement of ultramafic rocks. *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 291, pp. 17-40.
- Keay, S. 1998. The geological evolution of the Cyclades, Greece: Constraints from SHRIMP U–Pb geochronology, Ph.D. thesis, Aust. Natl. Univ., Canberra.
- Keiter, M., Ballhaus, C. and Tomaschek, F. 2011. A new geological map of the island of Syros (Aegean Sea, Greece): Implications for lithostratigraphy and structural history of the Cycladic Blueschist Unit. *The Geological Society of America, Special paper* 481.
- Kevrekidis, E., Seymour, K. St., Tombros, S., Zhai, D., Liu, J. and Zouzias, D. 2015. The Agios Georgios argentiferous galena deposit on Antiparos Island, Cyclades, Hellas and its relationship to the Paros leucogranite. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen-Journal of Mineralogy and Geochemistry*.
- Khabakov, A. V. , Strelkov, A. A. and Lipman, R. Kh. 1959. Subclass Radiolaria or Radiolarians. In *Fundamentals of Paleontology: General Part, Protists (Akad. Nauk SSSR, Moscow)*, pp. 369–482.
- Kuhn, T., Węgorzewski, A., Ruhlemann, C. and Vink, A. 2017. Composition, Formation, and Occurrence of Polymetallic Nodules. In book: *Deep-Sea Mining*. DOI: 10.1007/978-3-319-52557-0_2.
- Kuriata – Potasznik, A., Szymczyk, S., Skwierawski, A., Glinska – Lewczuk, K. and Cymes, I. 2016. Heavy metal contamination in the surface layer of bottom sediments in a flow – through lake: A case study of Lake Symsar in Northern Poland. *Water*, Vol. 8:358. DOI: 10.3390/w8080358.
- Lahti, H. R. and Govett, G. J. S. 1981. Primary and secondary halos in weathered and oxidized rocks – an exploration study from Mykonos, Greece. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 16., pp. 27-40.
- Lagos, M., Scherer, E. E., Tomaschek, F., Münker, C., Keiter, M., Berndt, J. and Ballhaus, C. 2007. High precision Lu – Hf geochronology of Eocene eclogite - facies rocks from Syros, Cyclades, Greece. *Chem. Geol.*, Vol. 243, Issue 1 - 2, pp. 16 – 35.
- Lambeck, K. and Chappell, J. 2001. Sea level change through the last glacial cycle. *Science*, Vol. 292, pp. 679 – 686.
- Lapp, R. E. 1979. *The radiation controversy*. Reddy Communications, Inc., Greenwich, CT.
- Larsen, G. and Chilingar, G. V. 1979. *Diagenesis in sediments and sedimentary rocks*. Elsevier Scientific Publishing Company, The Netherlands.
- Lecompte, E., Jolivet, L., Lacombe, O., Denele, Y., Labrousse, L. and Le Pourhiet, L. 2010. Geometry and kinematics of Mykonos detachment, Cyclades, Greece: Evidence for slip at shallow dip. *Tectonics*, Vol.29, TC5012.
- Li, Y. H. and Schoonmaker, J. E. 2003. Chemical composition and mineralogy of marine sediments. *Elsevier, Treatise on Geochemistry*, Vol. 7, pp. 1-35.
- Lipps, J. H. 1970. Ecology and evolution of silicoflagellates. In E. Yochelson, ed. *Proceedings of the North American Paleontological Convention*. Chicago, Vol. 2, pp. 965–993.
- Lister, G. S. and Forster, M. A. 1997. *Inside the Aegean Metamorphic Core Complexes*. Edition Two, Reprinted from *Journal of the Virtual Explorer*, Vol. 27, Paper 1.
- Long, E.R., MacDonald, D. D., Smith, S. L. and Callander, F. D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, Vol. 19, pp.81-97.

- Love, S. G. and Brownlee D. E. 1991. Heating and thermal transformation of micrometeoroids entering the Earth's atmosphere. *Icarus*, Vol. 89, pp. 26-43.
- Lykousis, V. 2001. Subaqueous bedforms on the Cyclades Plateau (NE Mediterranean) – evidence of the Cretan Deep Water Formation?. *Continental Shelf Research*, Vol. 21, pp. 495-507.
- Maanan, M. 2008. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environ. Poll*, Vol. 153, pp. 176-183.
- MacDonald, D.D, Carr, R.S., Calder, F.D., Long, E.R. and Ingersoll, C.G. 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*: In press.
- Maldonado, M., Riesgo, A., Bucci, A. and Rützler, K. 2010. Revisiting silicon budgets at a tropical continental shelf: Silica standing stocks in sponges surpass those in diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 55.
- Malinverno, E., Triantaphyllou, M.V., Stavrakakis, S., Ziveri, P. and Lykousis, V. 2009. Seasonal and spatial variability of coccolithophore export production at the South-Western margin of Crete (Eastern Mediterranean). *Marine Micropaleontology*, Vol. 71, pp. 131–147.
- Manahan, S. E. 2000. *Environmental chemistry – Seventh edition*, Lewis Publishers, CRC Press LLC, 898.
- Marks, P. and Schuiling, R. D. 1965. Sur la presence du Permian superior non-metamorphic a Naxos, *Prakt. Acad. Athinon*, Vol. 40, pp. 96 – 99.
- Mayer, L., Jakobsson, M., Allen, G., Dorschel, B., Falconer, R., Ferrini, V., et al. 2018. The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project: the quest to see the world's oceans completely mapped by 2030. *Geosciences*, Vol 8, Issue 63.
- McCartney, K. 1993. Silicoflagellates. pp. 143-154 in: Lipps, J.H., ed. *Fossil Prokaryotes and Protists*. Blackwell Scientific, Boston.
- Melidonis, N. G. 1980. The geological structure and mineral deposits of Tinos island (Cyclades, Greece). *The Geol. Of Greece*, Vol. 13., pp. 1 – 80.
- Miura N. and Yamanouchi, T. 1975. Effect of water on the behavior of a quartz-rich sand under high stresses. *Soils Found.*, Vol. 15, Issue 4, pp. 23-34.
- Murray, J.W. 1991. *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman, Harlow.
- Murray, J. and Renard, A. F. 1981. Report on deep-sea deposits based on the specimens collected during the voyage of H.M.S. Challenger in the years 1872 to 1876. *Challenger Repts.*, pp. 525.
- Neff, J. M. 1979. *Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: sources, fates, and biological effects*. Applied Science Publishers.
- Negris, Ph. 1915. *Roches cristallophylliennes et tectonique de la Grece*, Athenes.
- Negris, Ph. and Boussac, J. 1914. Decouverte du Miocene a Naxos (Cyclades). *C. R. somm. Soc. Geol. France*, Vol. 4, Issue 14, pp. 143 – 1.
- Oberhänsli, H. 1992. Planktonic foraminifers as tracers of ocean currents in the eastern South Atlantic. *Paleoceanography*, Vol. 7, pp. 607–632.
- Palma L. and Mecozzi, R. 2007. Heavy metal mobilization from harbour sediments with EDTA and citric acid as chelating agents. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 147, pp. 768-775.
- Papanikolaou, D. 1980. Contribution to the geology of Aegean Sea: The island of Paros. *Ann. Geol. Pays Hell.*, Vol. 30, Issue 1, pp. 65 – 96.
- Papanikolaou, D. 1987. Tectonic evolution of the Cycladic blueschist belt (Aegean Sea, Greece). In: Helgeson, H. C. (ed.) *Chemical transport in metasomatic processes*. NATO ASI Series, pp. 429 – 450.
- Papavasiliou, S. 1914. Die Smirgellagerstätten von Naxos, nebst denjennigen von Iraklia und Sikinos. *Z. Deutsch. Geol. Ges*, Vol. 65, pp. 1 – 123.

- Paschen, S. 1986. Diatomaceous earth extraction, processing and application. *Erzmetall*, Vol. 39, pp. 158-161.
- Pelton, A., Stamatakis, M. G., Kelepertzis, E. and Panagou, T. 2015. The origin and archaeometallurgy of a mixed sulphide ore for copper production on the island of Kea, Aegean sea, Greece. *Archaeometry*, Vol. 57, Issue 2, pp. 318–343.
- Pempkowiak, J., Sikora, A. and Biernacka, E. 1999. Speciation of heavy metals in marine sediments vs their bioaccumulation by mussels. *Elsevier, Chemosphere*, Vol. 39, No. 2, pp. 313 – 321.
- Peng, T-H and Takahashi, T. 1993. Ocean uptake of carbon dioxide. Oak Ridge National Laboratory. USA. 44 p.
- Petrushevskaya, M. G. 1962. Significance of the Growth of Radiolarian Skeletons for Their Systematics. *Zool. Zh.*, Vol. 41, Issue 3, pp. 331–341.
- Philippon, M., Brun, J-P. and Gueydan, F. 2011. Tectonics of the Syros blueschists (Cyclades, Greece): From subduction to Aegean extension. *Tectonics*, Vol. 30, TC4001.
- Poulos, S. E, Drakopoulos, P. G. and Collins, M. B. 1997. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): An overview. *Journal of Marine Systems*, Vol. 13, pp. 225-244.
- Poulos, S. E., Alexandrakis, G., Karditsa, A. and Drakopoulos, P. 2007. Heavy metal investigation, as pollutant indicators, in bottom sediments, in the harbors Heraklion and Alexandroupolis (Aegean Sea, Greece). *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology*, Kos island, Greece, 5-7 September.
- Poulos, S. E. 2009. Origin and distribution of the terrigenous component of the unconsolidated surface sediment of the Aegean floor: A synthesis. *Continental Shelf Research*, Vol. 29, pp. 2045-2060.
- Processes and principles of erosion and sedimentation. Government of North Carolina.
- Punetha, M. 2018. Thermal pollution: Mathematical modelling and analysis. In book: *Environmental contaminants: Measurement, modelling and control*. Springer, eds: Gupta, T., Agarwal, A. K., Agarwal, R. A., Labhasetwar, N. K.
- Riegman, R. 1995. Nutrient-related selection mechanisms in marine plankton food web. *Water Science Technology*, Vol. 32, pp. 63-75.
- Ring, U., Thomson, S. N. and Bröcker, M., 2003. Fast extension but little exhumation: the Vari detachment in the Cyclades, Greece. *Geol. Mag.*, Vol. 140, pp. 245–252.
- Reischmann, T. 1998. Pre – Alpine origin of tectonic units from the metamorphic complex of Naxos, Greece, identified by simple zircon Pb/Pb dating. *Bull. Geol. Soc. Grec*, Vol. 32, pp. 101 – 111.
- Robson, A. J. and Neal, C. 1997. A summary of regional water quality for Eastern UK Rivers. *The Science of the Total Environment*, Vol. 194/195, pp. 15-37.
- Roussiez, V., Ludwig, W., Probst, J. L., Monaco, A. 2006. Background levels of heavy metals in surficial sediments of the Gulf of Lions (NW Mediterranean): an approach based on ¹³³Cs normalization and lead isotope measurements. *Environ Pollut*, Vol. 138, pp. 167–177.
- Rubio, B., Alvarez – Iglesias, P., Bernabeu, A. M., Leon, I., Mohamed, K. J., Rey, D. and Vilas, F. 2011. Factors controlling the incorporation of trace metals to coastal marine sediments: Cases of study in the Galician Rias Baixas (NW Spain). *InTech, Relevant Perspectives in Global Environmental Change*.
- Salomons, W. and Forstner, U. 1984. *Metals in the hydrocycle*, Springer – Verlag, Berlin.
- Schulz, H. D. and Zabel, M. 2000. *Marine geochemistry*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Schumacher, J. C., Brady, J. B., Cheney, J. and Tonnsen, R. R. 2008. Glaucofane – bearing marbles on Syros, Greece. *Journal of petrology*, Vol. 49, No. 9, pp. 1667-1686.
- Scudder, R. P., Murray, R. W., Schindlbeck, J. C., Kutterolf, S., Hauff, F., Underwood, M. B., Gwizd, S., Lauzon, R. and McKinley, C. C. 2016. Geochemical approaches to the quantification of

- dispersed volcanic ash in marine sediment. *Progress in Earth and Planetary Science*, Vol. 3, Issue 1.
- Seibold, E. and Berger, W. 1982. *The Sea Floor*, Springer Verlag, N.Y., 288 p.
- Singh, M. R. and Gupta, A. 2016. Water pollution sources, effects and control.
- Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Balaji, G. et al. 2016. Assessment of heavy metal enrichment and the Degree of Contamination in coastal sediment from South East coast of Tamilnadu, India. *J Heavy Met Toxicity Dis.*, 1:2.
- Smith, V. H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environ Sci & Pollut Res*, Vol. 10, Issue 2, pp. 126-139.
- Sonnenfeld, P. 1980. *Brines and Evaporates*. Orlando Academic Press, pp. 1 -613.
- Soukis, K. and Stöckli, D. F., 2013. Structural and thermochronometric evidence for multi-stage exhumation of Southern Syros, Cycladic islands, Greece. *Tectonophysics*, Vol. 595, pp. 148–164.
- Stamatakis, M. G., Fragoulis, D., Csirik, G., Bedeleian, I. and Pedersen, S. 2003. The influence of biogenic micro-silica-rich rocks on the properties of blended cements. *Cem Concr Comp*, Vol. 25, pp. 177-184.
- Stamatis, N., Ioannidou, D., Christoforidis, A. and Koutrakis, E. 2002. Sediment pollution by heavy metals in the Strymonikos and Ierissos Gulfs, North Aegean Sea, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 80, pp. 33-49.
- Stefatos, A., Charalampakis, M., Papatheodorou, G. and Ferentinos, G. 1999. Marine Debris on the Seafloor of the Mediterranean Sea: Examples from Two Enclosed Gulfs in Western Greece. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 38, No. 5, pp. 389-393.
- Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In *Vent e Chow P.H.D. (ed). Handbook of applied hydrology*. McGraw – Hill, New York, pp. 4 -76.
- Subbarao, K. V. and Shankar, R. 2003. *Story of the oceans*. Geological Society of India.
- Sutherland, R. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ Geol*, Vol. 39, pp. 611-627.
- Sverdrup, H. U. 1942. *The oceans, their physics, chemistry and general biology*. Prentice – Hall.
- Szefer, P., Glassby, G. P., Pempkowiak, J., Kaliszan, R. 1995. Extraction studies of heavy-metal pollutants in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland. *Chem Geol*, Vol. 120, pp. 111-126.
- Taymaz, T., Yilmaz, Y. and Dilek, Y. 2007. The geodynamics of the Aegean and Anatolia. *Geological Society, Special publication* 291.
- Thompson, R. and Wasserman, H. 2016. Sediment Quality Guidelines (SQGs): A Review and Their Use in Practice. Online article.
- Tomaschek, F., Kennedy, A. K., Villa, I. M., Lagos, M., and Ballhaus, C. 2003. Zircons from Syros, Cyclades, Greece - Recrystallization and mobilization of zircon during high - pressure metamorphism. *J. Petrol.*, Vol. 44. Issue 11, pp. 1977 – 2002.
- Tomaschek, F., Keiter, M., Kennedy, A. K., and Ballhaus, C. 2008. Pre - Alpine basement within the Northern Cycladic Blueschist Unit on Syros Island, Greece. *Z. Dtsch. Ges. Geowiss.*, Vol. 159, pp. 521 - 532.
- Tombros, S. F., Seymour, K. St., Williams – Jones, A. E., Zhai, D. and Liu, J. 2015. Origin of a barite – sulfide ore deposit in the Mykonos intrusion, Cyclades: Trace element, isotopic, fluid inclusion and raman spectroscopy evidence. *Ore Geology Reviews*, Vol. 67, pp. 139-157.
- Tombros, S., Seymour, K. St., Williams-Jones, A. E. 2010. Controls on Tellurium in Base, Precious, and Telluride minerals in the Panormos bay Ag-Au-Te Deposits, Tinos Island, Cyclades, Greece. *Econ. Geol.*, Vol. 105, pp. 1097–1111.

- Toulia, E., Kokinou, E. and Panagiotakis, K. 2018. The contribution of pattern recognition techniques in geomorphology and geology: The case study of Tinos Island (Cyclades, Aegean, Greece). *European Journal of Remote Sensing*, Vol. 51, No. 1, pp. 88-99.
- Trabidou, G., Florou, H., Angelopoulos, A. and Sakeliou, A. 1996. Environmental study of the radioactivity of the spas in the island of Ikaria. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 63, Issue 1, pp. 63-67.
- Troeh, F. R., Hobbs, J. A. and Donahue, R. L. 2004. Soil and water conservation for productivity and environmental protection. 4th edn, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Trotet, F., O. Vidal, and L. Jolivet (2001b), Exhumation of Syros and Sifnos metamorphic rocks (Cyclades, Greece). New constraints on the P - T paths. *Eur. J. Mineral.*, Vol. 13, Issue 5, pp. 901– 920.
- Tsoutsia, A., Kapsimalis, V., Poulos, S., Paraskevopoyloy, V. and Dasenakis, E. 2013. Assessment of heavy metals contamination in the coastal sediments o the broader area of Chios harbor (Aegean Sea). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Vol, XLVII. Proceedings of the 13th International Congress, Chania.
- Tucker, M. E. 1991. Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Boston .
- Twenhofel, W. H. 1939. Principles of sedimentation. McGraw-Hill Book Company, inc, New York and London.
- Twenhofel, W. H. 1950. Principles of sedimentation. 2nd edn. McGraw-Hill Book Company, inc, New York and London, pp. 1-673.
- Uriz, M. J. , Turon, X. , Becerro, M. A. and Agell, G. 2003. Siliceous spicules and skeleton frameworks in sponges: origin, diversity, ultrastructural patterns, and biological functions. *Microsc. Res. Tech.*, Vol. 23, pp. 279-299.
- Vanderhaeghe, O., Hibsich, C., Siebenaller, L., Martin, L., Duchene, S., de St Blanquat, M., Kruckenberg, S. and Fotiadis, A. 2007. Penrose conference – Extending a continent – Naxos field guide. In: (Eds.) G. Lister, M. Forster, and U. Ring, *Inside the Aegean Metamorphic Core Complexes*. *Journal of the Virtual Explorer*, Vol. 27, Issue 4.
- Vasilikiotis, G., Fytianos, K. and Zotou, A. 1983. Heavy metals in marine organisms of the North Aegean Sea, Greece. *Chemosphere*, Vol. 12, No. 1, pp. 75-81.
- Wentworth, K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, Vol. 30, No. 5, pp. 377-392.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, Vol. 95, pp. 185–187.
- Wijbrans, J. R. and McDougall, I. 1988. Metamorphic evolution of the Attic – Cycladic metamorphic belt on Naxos (Cyclades, Greece) utilizing 40Ar/39Ar age spectrum measurements. *J. Metam. Geol.*, Vol. 6, pp. 571 – 594.
- Williams, C. 1996. Combating marine pollution from land-based activities. Australian initiative, *Ocean and Coastal Management*, Vol. 33, Issue 1-3, pp. 87-112.
- Yamamoto, T., Nakaoka, M., Komatsu, T., Kawai, H., Marine Life Research Group of Takeno, Ohwada, K., 2003. Impacts by heavy oil spill from the Russian tanker Nakhodka on intertidal ecosystems: recovery of animal community. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 47, Issue 1-6, pp. 91–98.
- Yang, J., Zhang, B., Peng, X., Wang, H., Li, Z., Cai, W. and Fang, H. 2014. Sediment quality assessment for heavy metals contamination in the Dongzhai Harbor (Hainan Island, China) with pollution Indice approach. *The Open Chemical Engineering Journal*, Vol. 8, pp. 32-37.
- Yoo, J-C., Lee, C-D., Yang, J-S. and Baek, K. 2013. Extraction characteristics of heavy metals from marine sediments. *Elsevier, Chemical Engineering Journal*, 228, pp. 688-699.

- Yu, K. Y., Tasi, L. J., Chen, S. H., Ho, S. T. 2001. Chemical binding of heavy metals in anoxic river sediments. *Water Res.*, Vol. 35, Issue 7, pp. 4086-4094.
- Zhang, C., Yu, Z., Zeng, G., Jiang, M., Yang, Z., Cui, F., Zhu, M., Shen, L., Hu, L. 2014. Effect of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. *Environ. Int.*, Vol. 73, pp. 270–281.
- Zhang, J. and Liu, C. L. 2002. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China—Weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 54, Issue 6, pp. 1051-1070.

Ελληνόφωνη

- Αναγνώστου, Χ., Τσορμπατζόγλου, Γ. και Σιούλας, Α. 1993. Τα σύγχρονα ιζήματα στις κεντρικές Κυκλάδες. Πρακτικά 4^{ου} Πανελλήνιου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Ρόδος, σελ. 465-466.
- Αναγνώστου, Β., Κυριακίδου, Χ. και Δρακοπούλου, Π. 2009. Η μορφοδυναμική της νήσου Τήνου (Κυκλάδες) ως μηχανισμός διαμόρφωσης των ακτών της. 9th Symposium on Oceanography & Fisheries – Proceeding, Vol. 1, pp. 190-195.
- Αρβανίτης, Λ. 2006. Γεωχημική μελέτη σε επιφανειακά ιζήματα του επιβατικού τμήματος του Λιμένα Πειραιώς. Μεταπτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Πάτρας. Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.
- Αργυρίου, Α., Γάγλια, Α., Δασκαλάκη, Ε., Ζαχαρίας, Π., Κατσάνος, Δ., Κοντογιαννίδης, Σ., Λαδόπουλος, Γ. και Λαδόπουλος, Ι. 2012. Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών. Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-2/2010. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.
- Αυδής, Β. 2004. Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος (κλίμακα 1:50.000). Φύλλο Ν. Μύκονος –Ν. Ρήνεια. Αθήνα: Ι.Γ.Μ.Ε.
- Βακόνδιος, Π., Τσικαλάκη, Α. και Χατζηγηργίου, Π. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Σύρου – Ερμούπολης 2012- 2014. Τμήμα Προγραμματισμού και Τ.Π.Ε. Δήμου Σύρου.
- Βολάκης, Σ. και Αναγνώστου, Χ. 1993. Η σύγχρονη ιζηματογένεση στο βόρειο τμήμα του πλατώ των Κυκλάδων. Πρακτικά 4^{ου} Πανελλήνιου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Ρόδος, σελ. 101-104.
- Βουτσα – Ρεντζεποπούλου, Σ. Μ. 2010. Γεωλογική χαρτογράφηση και τεκτονική επεξεργασία δεδομένων από το νησί της Τήνου. Πτυχιακή εργασία. Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά.
- Γαβαλάς, Μ. 2015. Ολοκληρωμένη διαχείριση του παράκτιου χώρου: Η περίπτωση της Πάρου. Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος.
- Γαϊτάνης, Χ. 2007. Δίκτυο αειφόρων νήσων: Πάρος. Ερευνητικό έργο. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, Αθήνα.
- Γερασίδη, Α. 2004. Αξιολόγηση προτάσεων διαχείρισης υδατικών πόρων στη Ν. Πάρο. Μεταπτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πειραιάς.
- Δασενάκης, Μ., Λαδάκης, Μ., Καραβόλτσος, Σ. και Παρασκευοπούλου, Β. 2015. Χημική ωκεανογραφία. Ελληνικά ακαδημαϊκά ηλεκτρονικά συγγράμματα και βοηθήματα (www.kallipos.gr).
- Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020: Σύρος. Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου. Γενική διεύθυνση περιφερειακής αγροτικής οικονομίας και κτηνιατρικής.
- Ζέρβα, Ε. Συνθήκες και παράγοντες ιζηματογένεσης στο βόρειο Αιγαίο. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων – Μηχανικών, Αθήνα.

- Θεοχαράτος, Γ. 1978. Το κλίμα των Κυκλάδων. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα.
- Καϊμπαλή, Ζ. 2011. Διάβρωση παραλιών λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας: Η περίπτωση των νήσων Μυκόνου, Άνδρου και Σύρου στις Κυκλάδες. Πτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Σχολή Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη.
- Κανελλοπούλου, Γ. 2003. Γεωχημική και ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του κόλπου της Ελευσίνας. Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Καραγεώργης, Α. 1992. Ορυκτολογική – Γεωχημική & Στρωματογραφική μελέτη του Ολοκαινικού καλύμματος στη Θάλασσα περιοχή Αττικής – Εύβοιας – Β. Κυκλάδων. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
- Καραδήμα, Ν. Κ. 2013. Η προέλευση της μεταλλοφορίας βαρύτη του γρανίτη της Μυκόνου – Παλαιογεωγραφική μελέτη της Μεσογείου. Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.
- Κελεπερτζής, Α. και Μητρόπουλος, Π. 2011. Σημειώσεις Γεωχημείας. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα.
- Κόκκινου, Ε. Θαλάσσιο περιβάλλον. Σημειώσεις μαθήματος Περιβαλλοντικής Γεωλογίας και Γεωτεχνολογίας.
- Λαμανδρέα, Α. Σ. 2014. Η επίδραση του ρηγματογόνου τεκτονισμού στη μορφολογία των ακτών της νήσου Τήνου και στο υδρογραφικό δίκτυο του νησιού. Πτυχιακή εργασία. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα.
- Λειβαδίτης, Γ. και Αλεξούλη – Λειβαδίτη, Α. 2001. Μορφολογία της νήσου Τήνου. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τόμος 34 (1), σελ. 389-396.
- Λεωνιδοπούλου, Δ. Β. 2008. Γεωλογικοί και γεωμορφολογικοί παράγοντες διαμόρφωσης της εσωτερικής τρωτότητας σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων – Εφαρμογή στη νήσο Τήνο. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα.
- Μαστρακάς, Ν. Α. 2006. Ο γρανίτης της Τήνου και οι συνδεόμενοι με αυτόν σχηματισμοί SKARN. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.
- Ματαράγκας, Δ. και Ματαράγκα – Βαρτή, Μ. 2001. Γεωλογική – Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του Αιγαίου πελάγους και γεωλογική δομή νήσου Πάρου. Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.).
- Μουμουλίδης, Ν., Καμπιτάκης, Μ. και Νάκου, Γ. 2008. Διασύνδεση Κυκλάδων – Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων Υ/Σ Σύρου. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Διεύθυνση νέων έργων μεταφοράς, Αθήνα.
- Μποτσιάλας, Ν. Κ. 2007. Ανάλυση, ερμηνεία και εκτίμηση του υδρογεωλογικού και τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος του μέσου ασυνεχειών – Εφαρμογή στο σχιστολιθικό σύστημα της νήσου Τήνου. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα.
- Μπουρδάκου, Ρ. Γ. 2009. Φύση και ερμηνεία υδραυλικών και υδροχημικών χρονοσειρών και υδραυλικών παραμέτρων σε μέσο ασυνεχειών – Εφαρμογή στο υδατικό περιβάλλον της νήσου Τήνου. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα.
- Μυλωνάς, Ν. 2012. Ανάλυση οικιστικού δικτύου Ν. Νάξου – Νομός Κυκλάδων – Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου. Διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.
- Νικολαΐδου, Α. 2014. Σπόγγοι - Πλακόζωα. Σημειώσεις μαθήματος Ζωολογίας. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Βιολογίας, Αθήνα.

- Ντούλα, Μ. 2004. Μέταλλα στα θαλάσσια ιζήματα, Πηγές προέλευσης, διασπορά και τύχη των μετάλλων, Εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης. Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών, Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Λυκόβρυση.
- Παγουλάτου, Μ. 2013. Κατασκευή υποσταθμού GIS 150kV/MT στη Μύκονο – Γεωτεχνική / Γεωλογική Αναγνώριση. Γεωτεχνική Μελέτη. ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε., Αθήνα.
- Παπανικολάου, Δ. 1978. Συμβολή στη γεωλογία του Αιγαίου: Η νήσος Άνδρος. *Annales geologiques des pays Helleniques*.
- Παπανικολάου, Δ. 2015. Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Πατάκη.
- Παπασταματίου, Ι. 1951. Η σμύριδα της Νάξου. Γεωλ. Γεωφ. Μελ., ΙΓΜΕ, Τόμος 1, σελ. 37 – 69.
- Πεχλιβάνογλου, Κ. και Σουρή – Κουρούμπαλη, Φ. 1997. Ορυκτολογική μελέτη των επιφανειακών ιζημάτων του Στενού Καφηρέας. Πρακτικά 5^{ου} Πανελλήνιου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Τόμος Ι, σελ. 387- 390.
- Πολέμης, Η. 2010. Συμβολή της γνώσης της βιοποικιλότητας των Κυκλάδων (Κεντρικό Αιγαίο): Μελέτη των Βασιδιομυκήτων (Υπόφυλο Agaricomycotina) στα νησιά Άνδρο, Νάξο και Αμοργό. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Βιολογίας, Πάτρα.
- Ρεπάνη, Σ. 2017. Επίπεδα και γεωχημική κατανομή μετάλλων σε επιφανειακά ιζήματα και πυρήνες του κόλπου της Ελευσίνας. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Χημείας, Αθήνα.
- Σαμανίδου, Β. 1990. Μελέτη κατανομής και επαναδιάλυσης βαρέων μετάλλων σε νερά και ιζήματα ποταμών της βόρειας Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημείας.
- Σκουλάτος, Δ. 2016. Αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων σε νησιωτικές περιοχές: Η περίπτωση της Σύρου. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα.
- Σουκισιάν, Τ., Χατζηνάκη, Μ., Κορρές, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Κάλλος, Γ. και Αναδρανιστάκης, Ε. 2007. Άτλας ανέμου και κύματος των Ελληνικών Θαλασσών. Εκδ. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών, 300 σελ.
- Σπυρόπουλος, Χ. 2010. Μορφολογική ανάλυση παράκτιας ζώνης με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών – Εφαρμογή: Ν. Μύκονος. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Τμήμα αγρονόμων και τοπογράφων μηχανικών, Αθήνα.
- Τσιμενίδης, Ν. 2000. Θαλάσσια βιολογία. Σημειώσεις μαθήματος. Πανεπιστήμιο Κρήτης. Τμήμα Βιολογίας, Ηράκλειο. 2015. Λειτουργία χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων δήμου Μυκόνου: Μελέτη – Τεχνικές Προδιαγραφές. 2016. Τοπικό σχέδιο διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) Δήμου Νάξου και Μικρών Κυκλάδων. Μελέτη. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα.

Διαδικτυακή

<http://penteli.meteo.gr/stations/tinos/>

<http://www.syroswx.gr/wxhistory.php?date=201701>

<http://penteli.meteo.gr/stations/mykonos/>

<http://enaxos.eu/2010/11/02/λειτουργία-μετεωρολογικών-σταθμών/>

<http://penteli.meteo.gr/stations/paros/>

<http://penteli.meteo.gr/stations/naxos/>

https://www.mpg.de/38853/hm08_UnderstandingSea.pdf

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

7.1. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

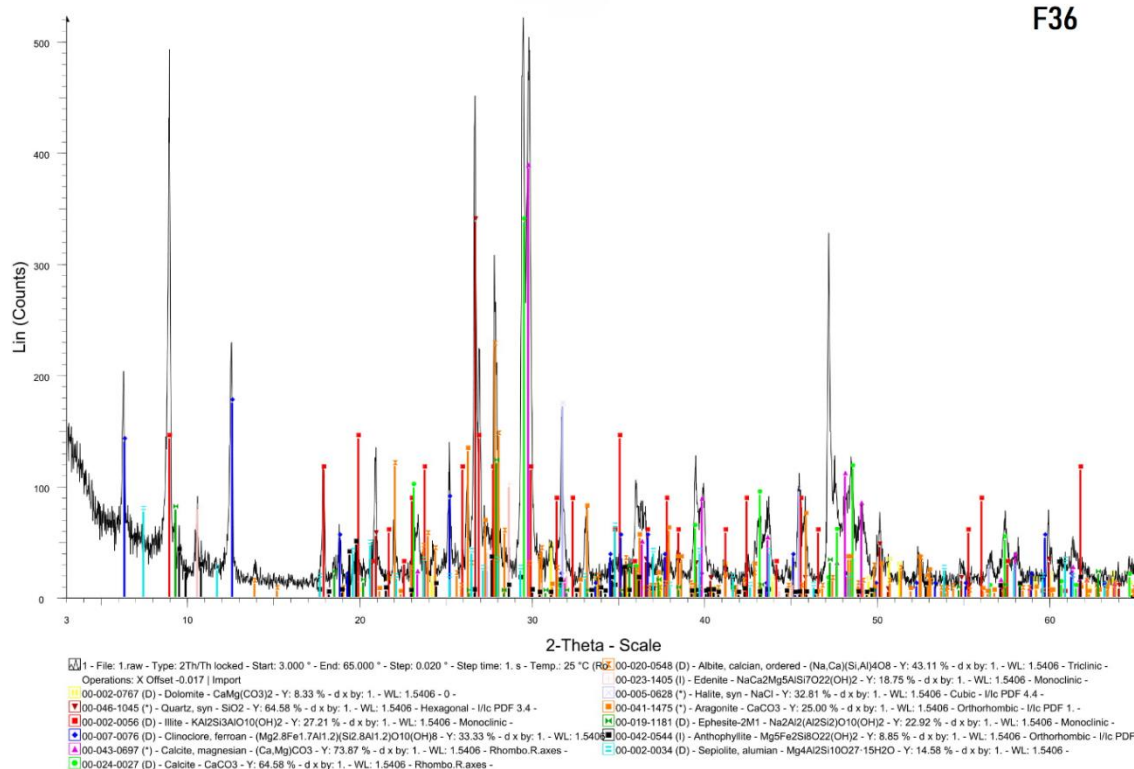
Πίνακας 1. Δειγματοληπτικές θέσεις και βάθος νερού

A/A	Δείγμα	Lon	Lat	Βάθος (μ.)
1	F36	24,81050	37,63817	210
2	F37	24,88833	37,63633	220
3	F38	24,97333	37,63650	135
4	F45	24,83983	37,59950	210
5	F46	24,93700	37,60267	200
6	F47	25,04350	37,59200	105
7	F55	24,81967	37,55317	220
8	F56	24,86133	37,51850	120
9	F57	24,89267	37,56400	190
10	F58	24,98733	37,54833	160
11	F59	25,06433	37,56550	115
12	F68	24,95833	37,47700	84
13	F69	24,92400	37,51817	115
14	F70	25,02000	37,50667	136
15	F71	25,12000	37,52967	84
16	F72	25,06033	37,46667	120
17	F73	25,17683	37,51583	50
18	F74	25,23983	37,52633	76
19	F75	25,19350	37,48733	80
20	F103	24,99633	37,43183	80
21	F106	25,13983	37,45867	95
22	F107	25,25667	37,47317	95
23	F108	25,28517	37,50000	95
24	F109	25,30167	37,45300	60
25	F110	25,24333	37,44000	70
26	F114	25,00350	37,38033	90
27	G47	25,0713	37,4172	100
28	G48	25,1285	37,4172	85
29	G49	25,1800	37,4187	70
30	G50	25,0787	37,3822	87
31	G51	25,1412	37,3772	80
32	G52	25,1925	37,3817	78
33	G53	24,9263	37,3675	75
34	G54	24,9830	37,3667	84
35	G55	25,0500	37,3600	84
36	G56	25,1200	37,3600	70
37	G57	25,1763	37,3625	80
38	G58	25,2438	37,3600	80
39	G59	25,3083	37,3605	80
40	G60	25,3737	37,3733	78
41	G61	25,4340	37,3867	88

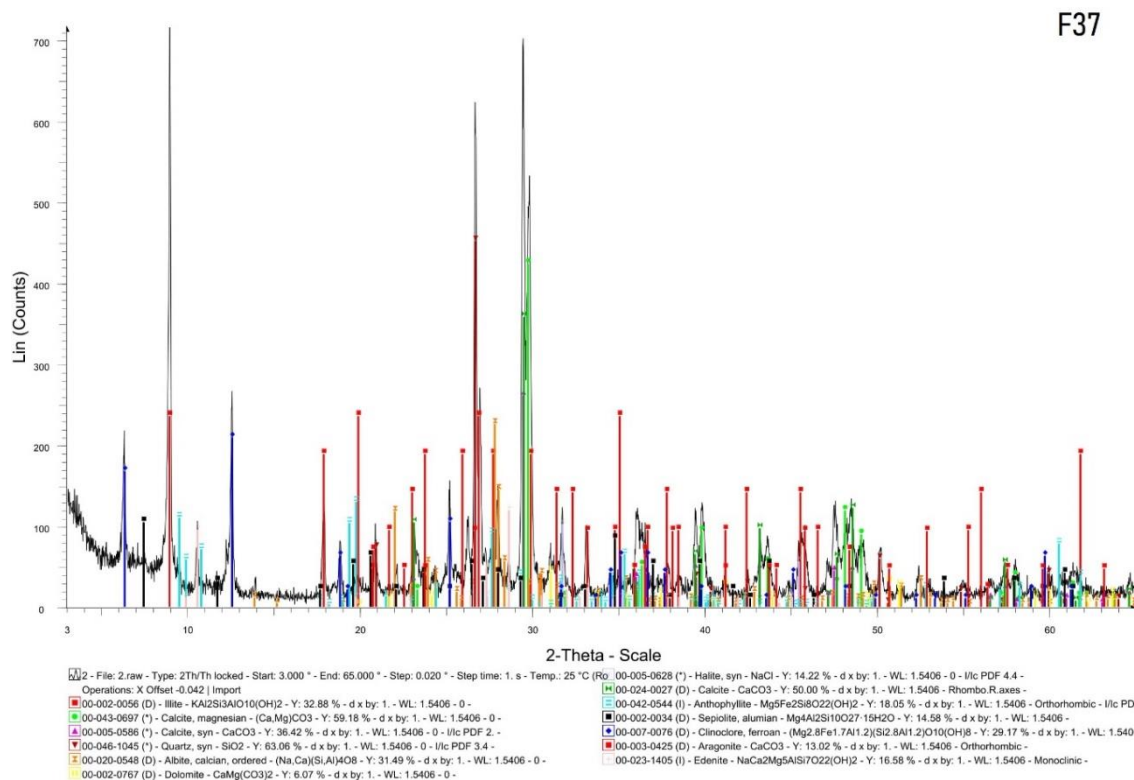
42	G62	25,5017	37,3925	89
43	G63	25,5633	37,3933	110
44	G64	25,6283	37,3900	228
45	G65	24,9453	37,3092	88
46	G66	25,0067	37,3090	88
47	G67	25,0767	37,3000	80
48	G68	25,1458	37,2967	90
49	G69	25,2100	37,3008	98
50	G70	25,2719	37,3106	103
51	G71	25,3333	37,3133	118
52	G72	25,3993	37,3200	125
53	G73	25,4600	37,3328	105
54	G74	25,5283	37,3322	108
55	G75	25,5933	37,3370	133
56	G76	24,9930	37,2563	88
57	G77	25,0408	37,2467	80
58	G78	25,1000	37,2500	84
59	G79	25,1658	37,2467	96
60	G80	25,2322	37,2483	100
61	G81	25,3130	37,2617	102
62	G82	25,3600	37,2617	107
63	G83	25,4400	37,2775	107
64	G84	25,4892	37,2787	100
65	G85	25,5493	37,2883	90
66	G86	25,0334	37,2004	88
67	G87	25,0792	37,1983	78
68	G88	25,1500	37,1900	90
69	G89	25,2034	37,1863	89
70	G90	25,0736	37,1501	80
71	G91	25,1228	37,1135	82
72	G92	25,1800	37,1500	84
73	G93	25,2637	37,1800	87
74	G94	25,3233	37,2000	80
75	G95	25,3897	37,2117	90
76	G96	25,4567	37,2225	96
77	G97	25,5125	37,2383	95
78	G98	25,5763	37,2463	100

7.2. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

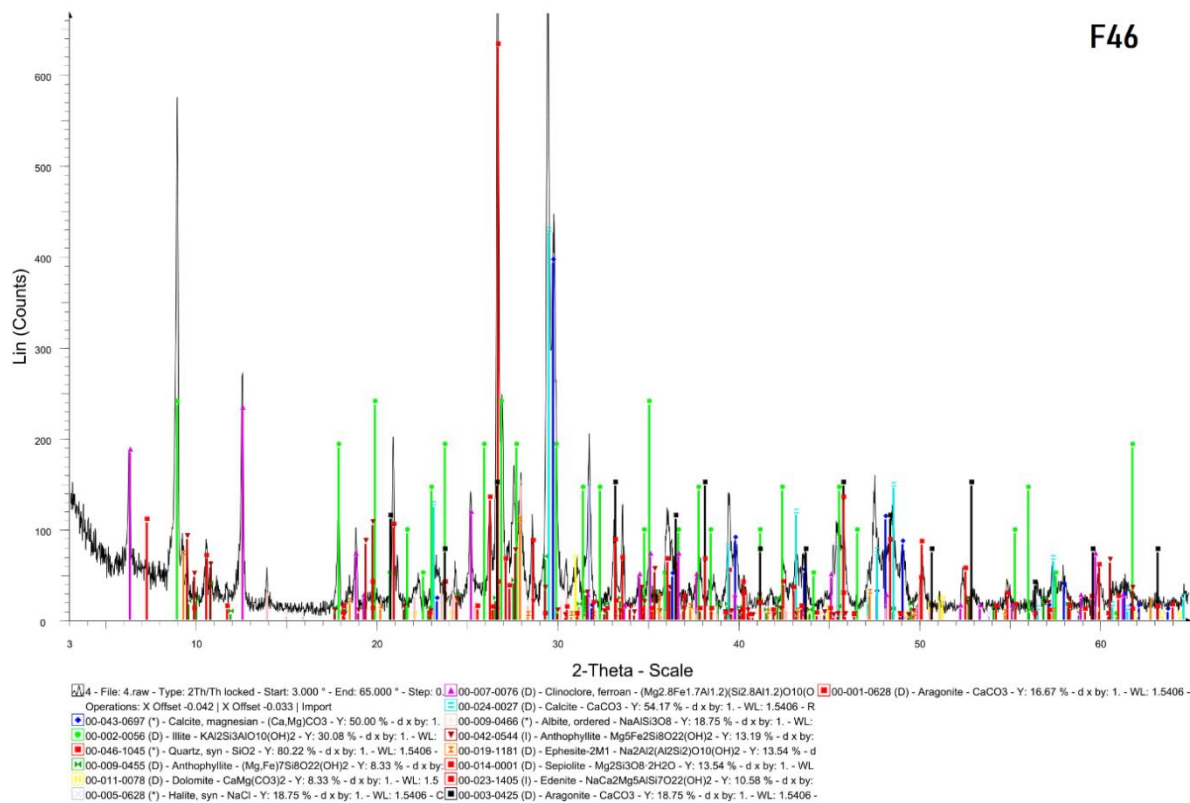
Ακτινοδιαγράμματα



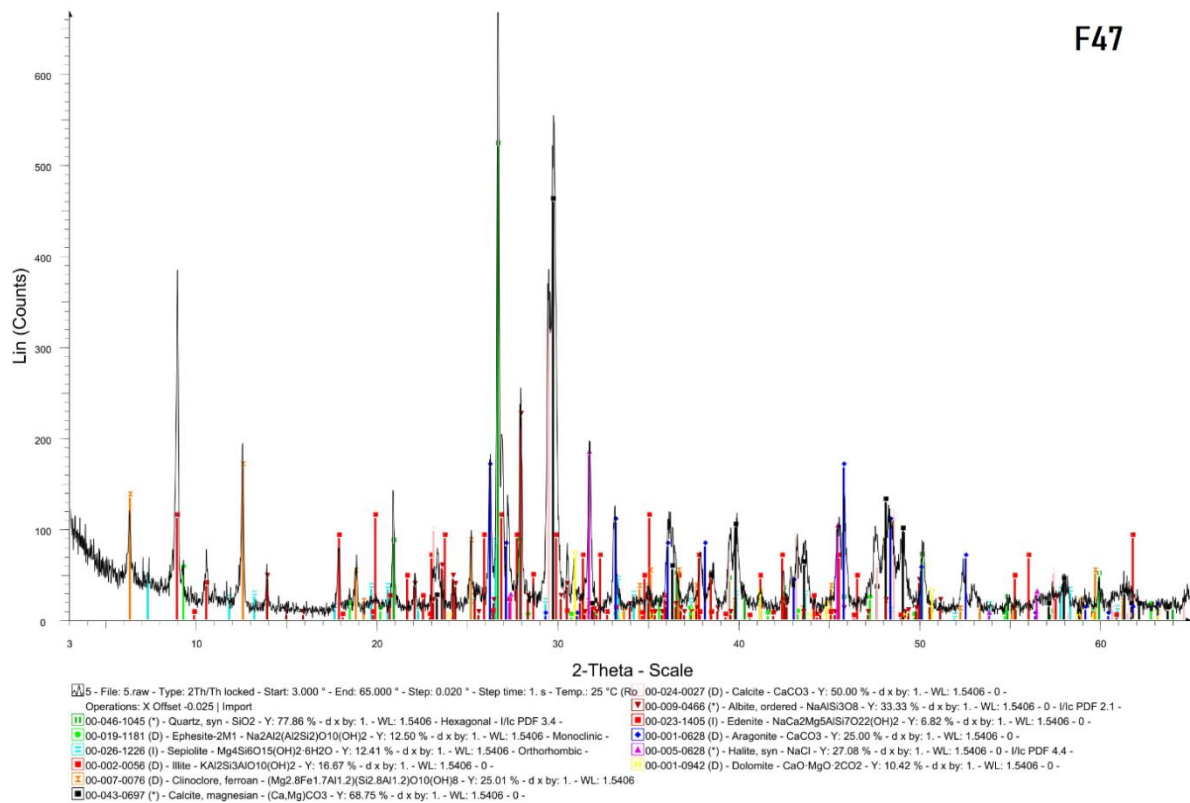
Δείγμα F36



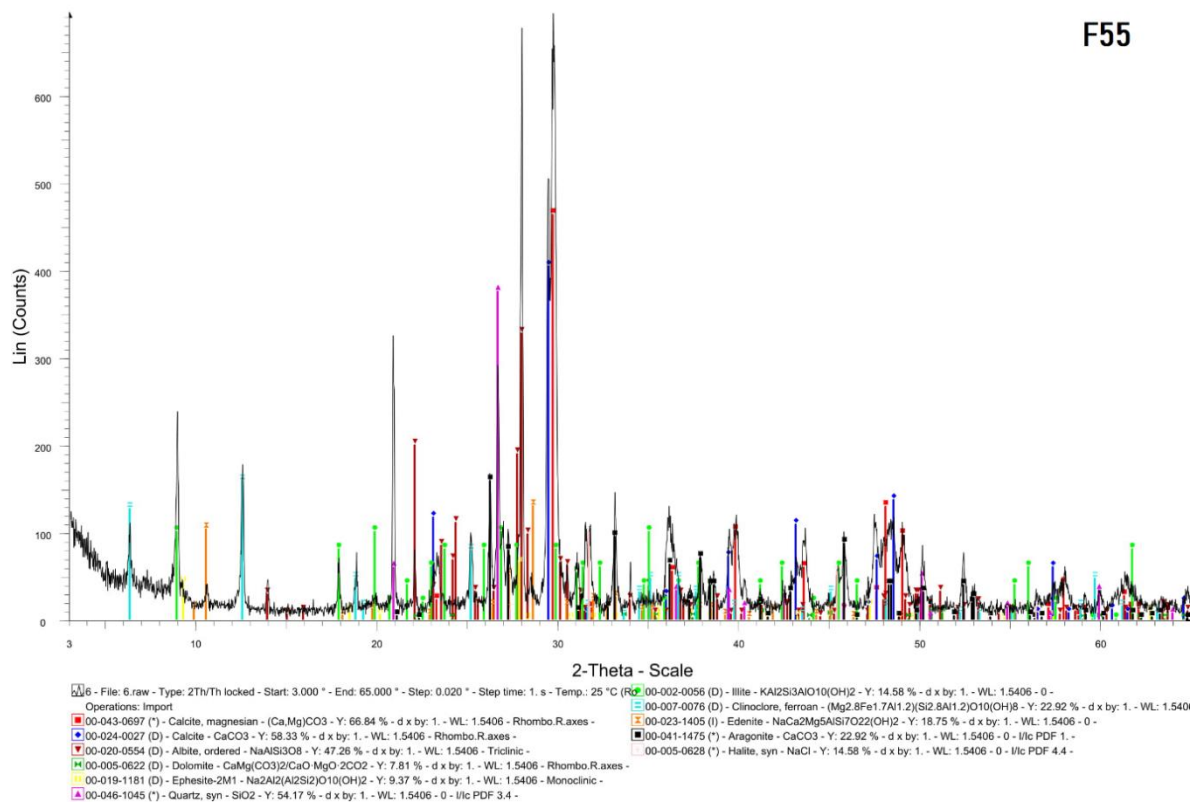
Δείγμα F37



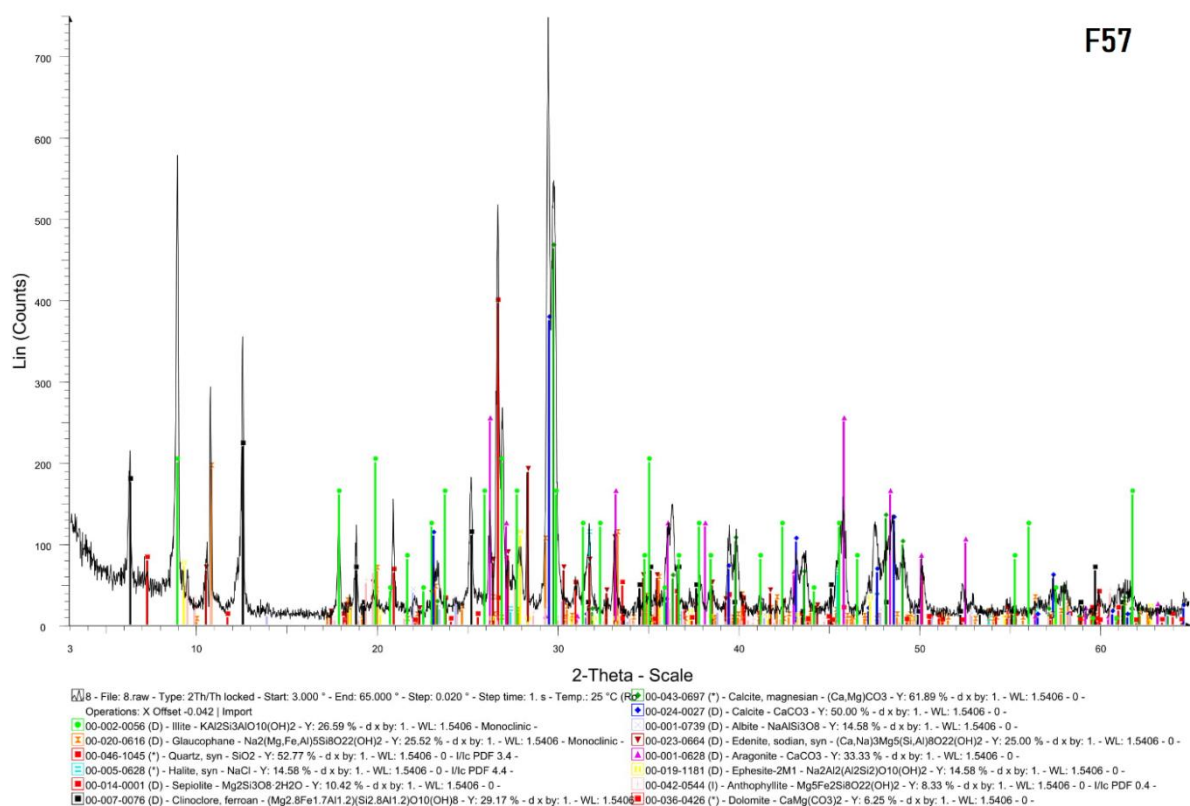
Δείγμα F46



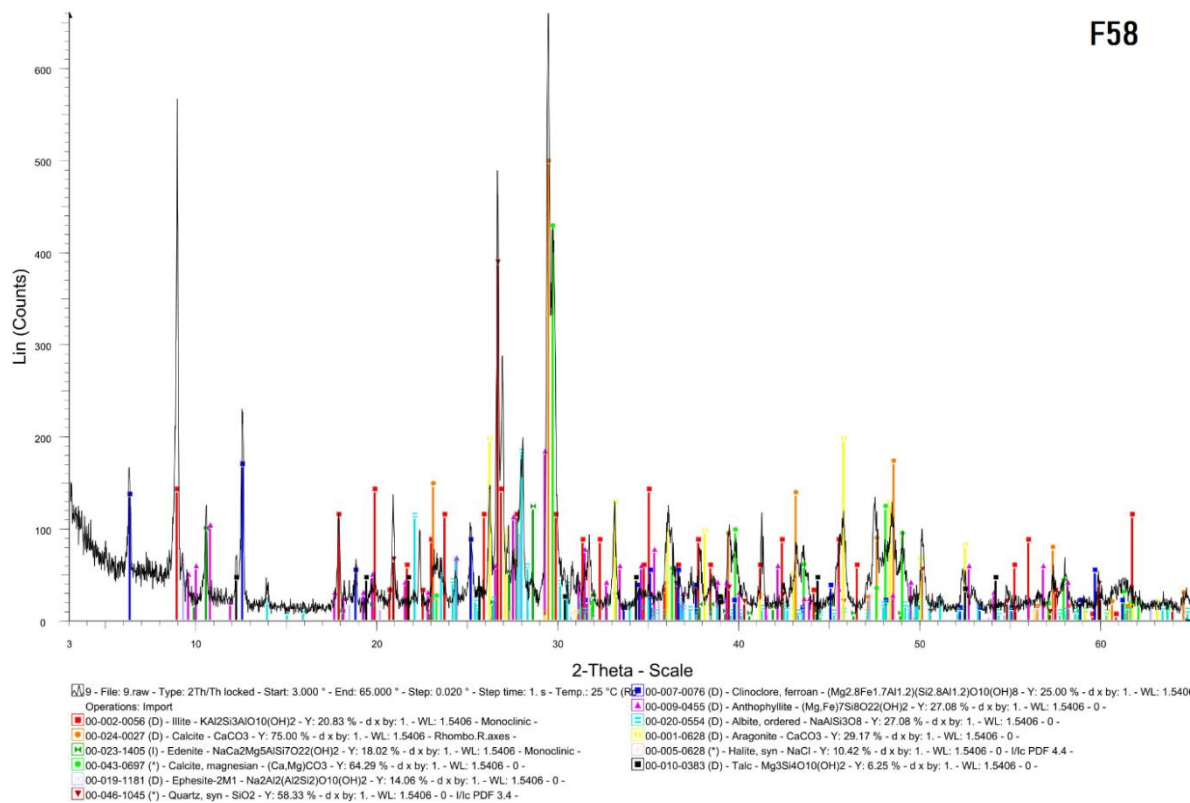
Δείγμα F47



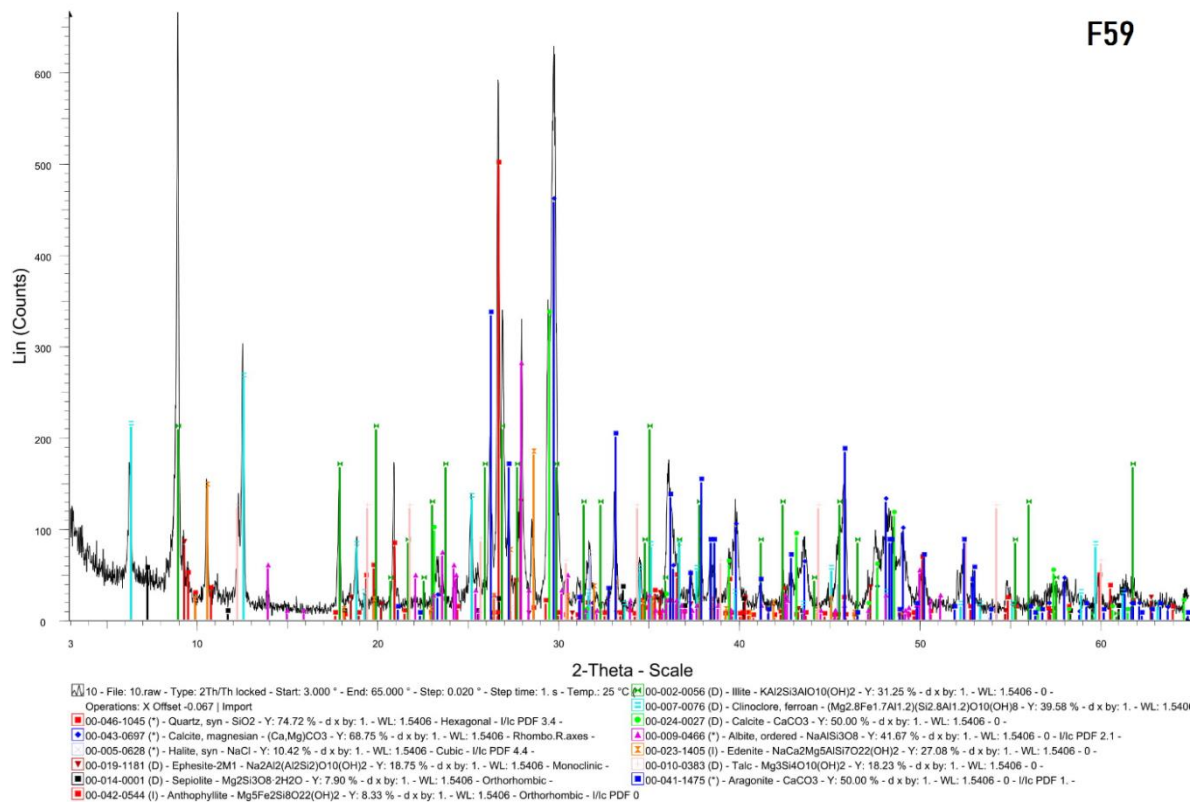
Δείγμα F55



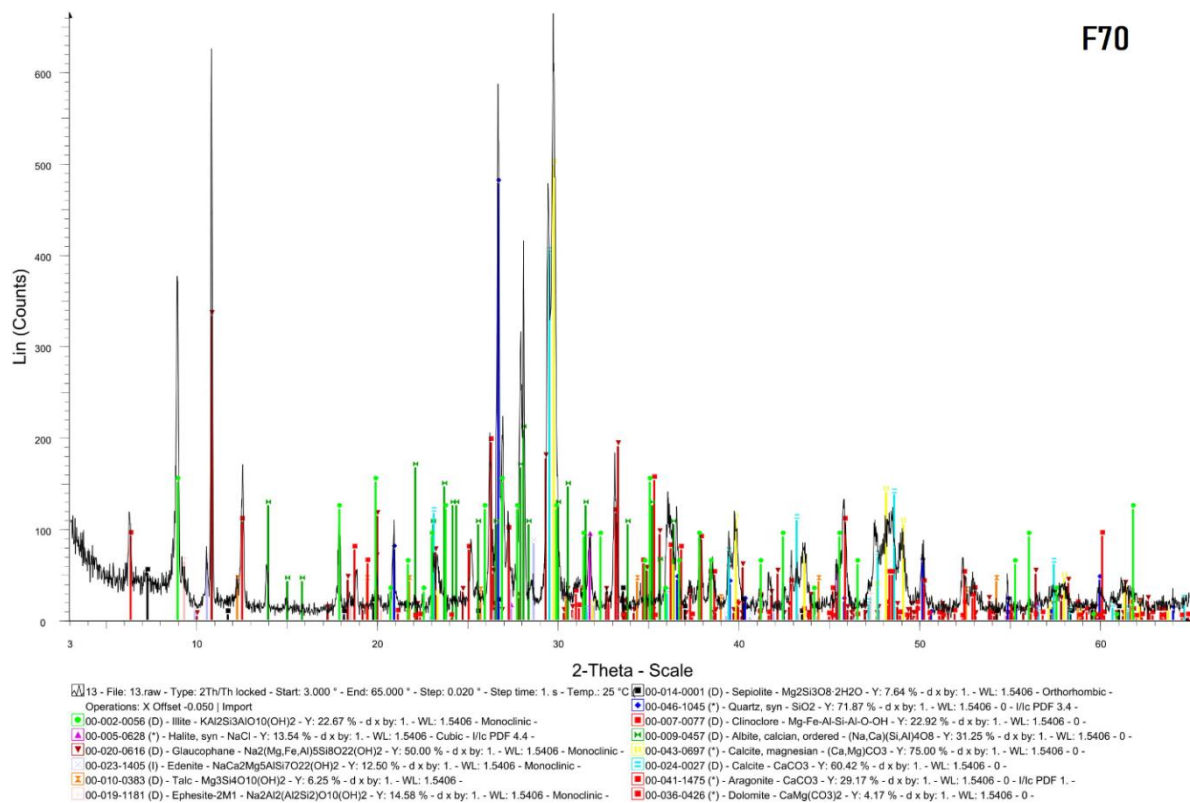
Δείγμα F57



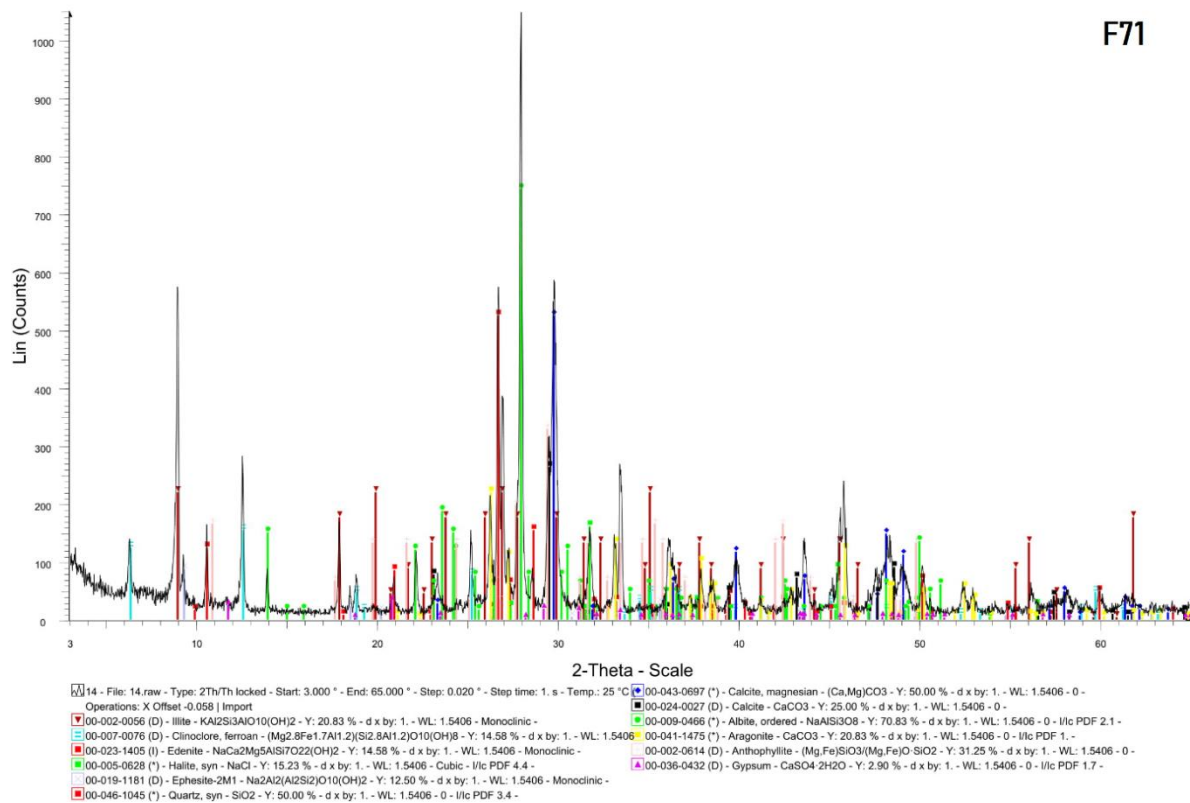
Δείγμα F58



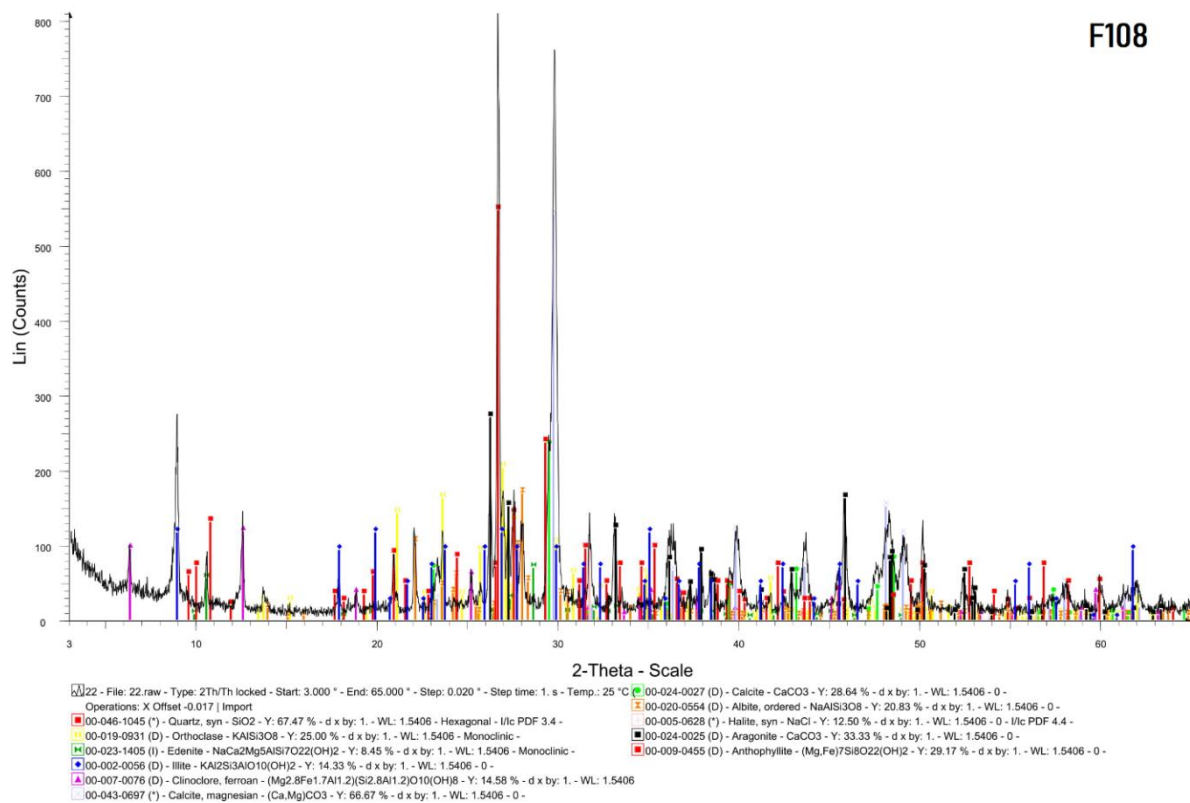
Δείγμα F59



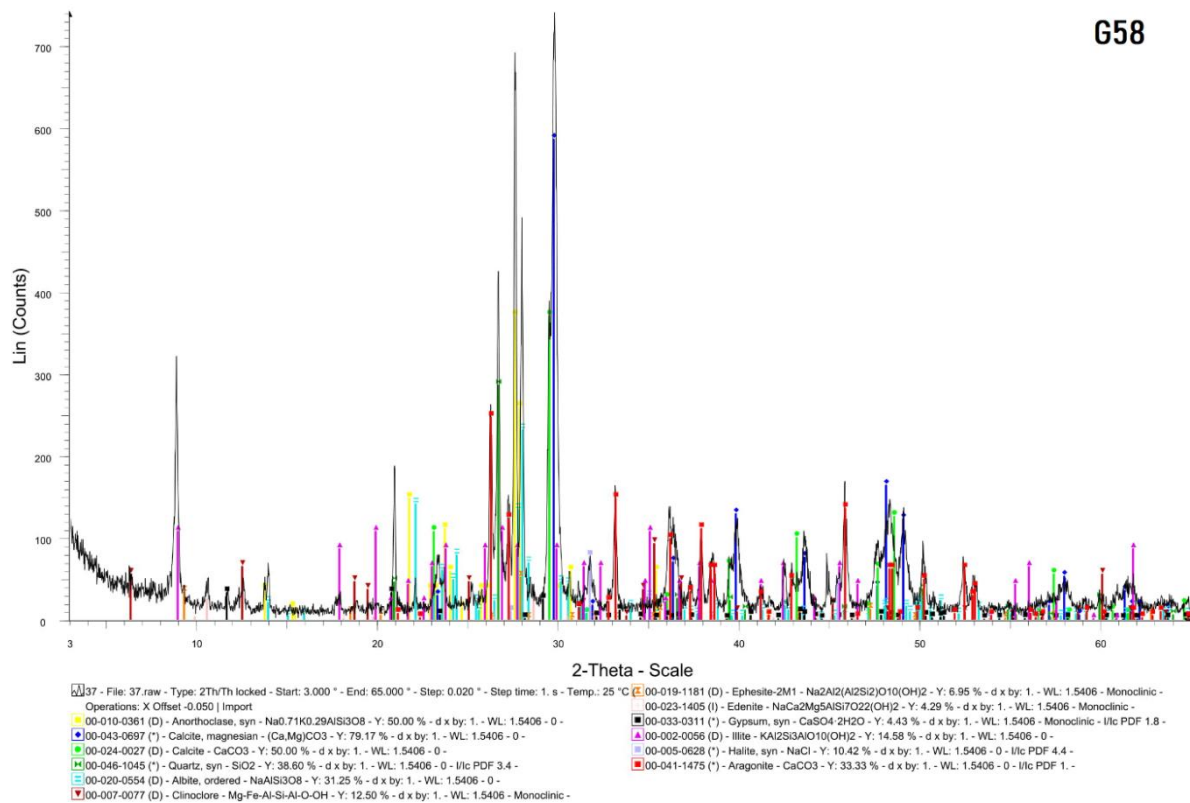
Δείγμα F70



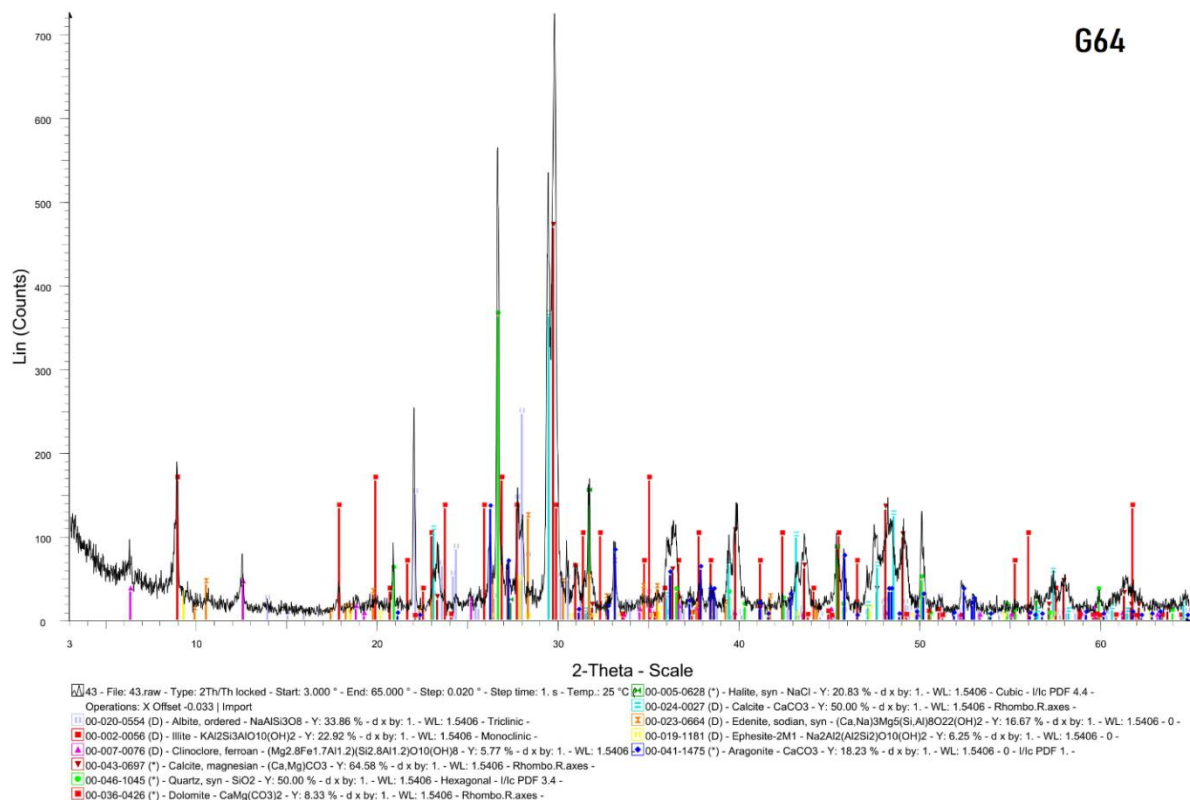
Δείγμα F71



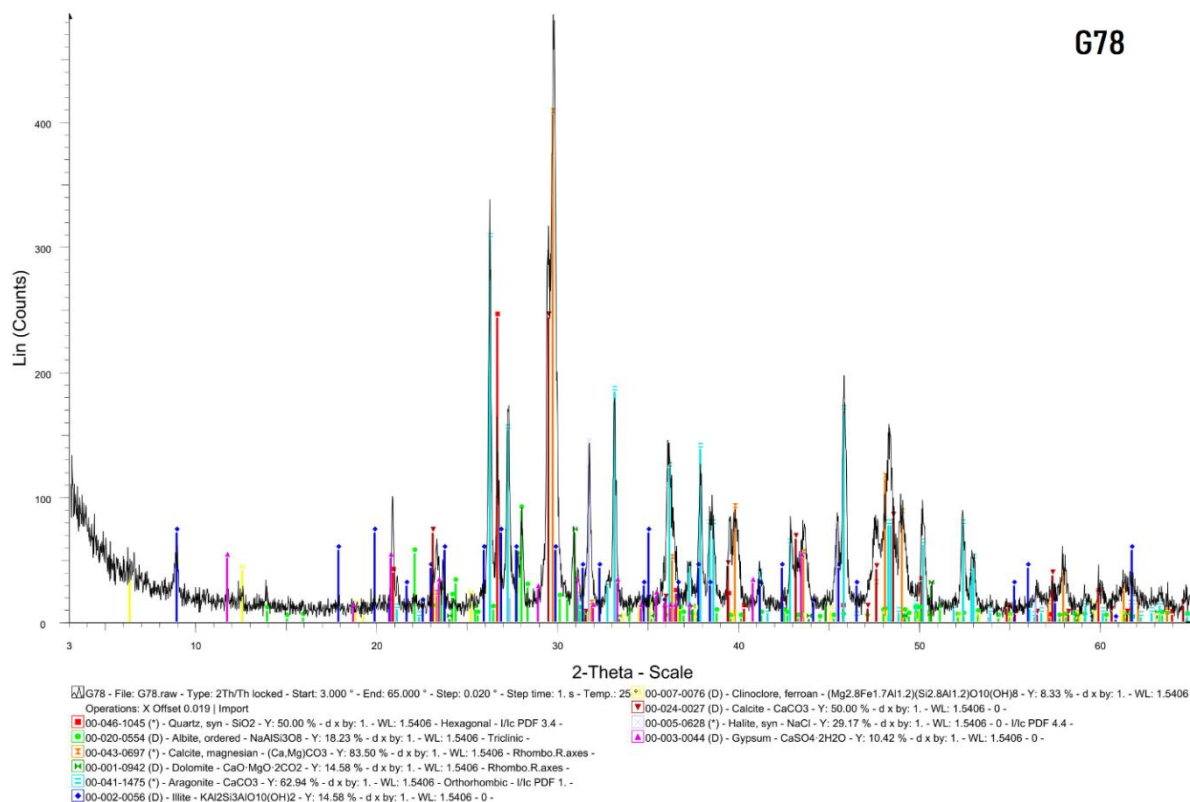
Δείγμα F108



Δείγμα G58



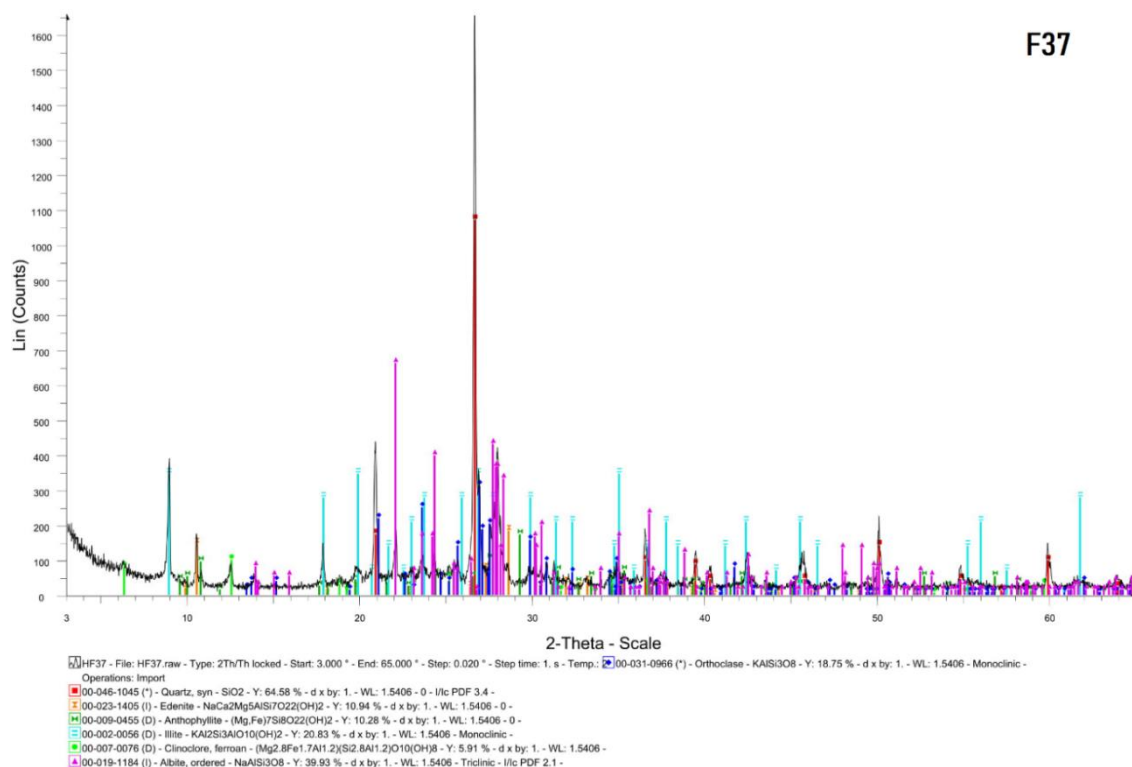
Δείγμα G64



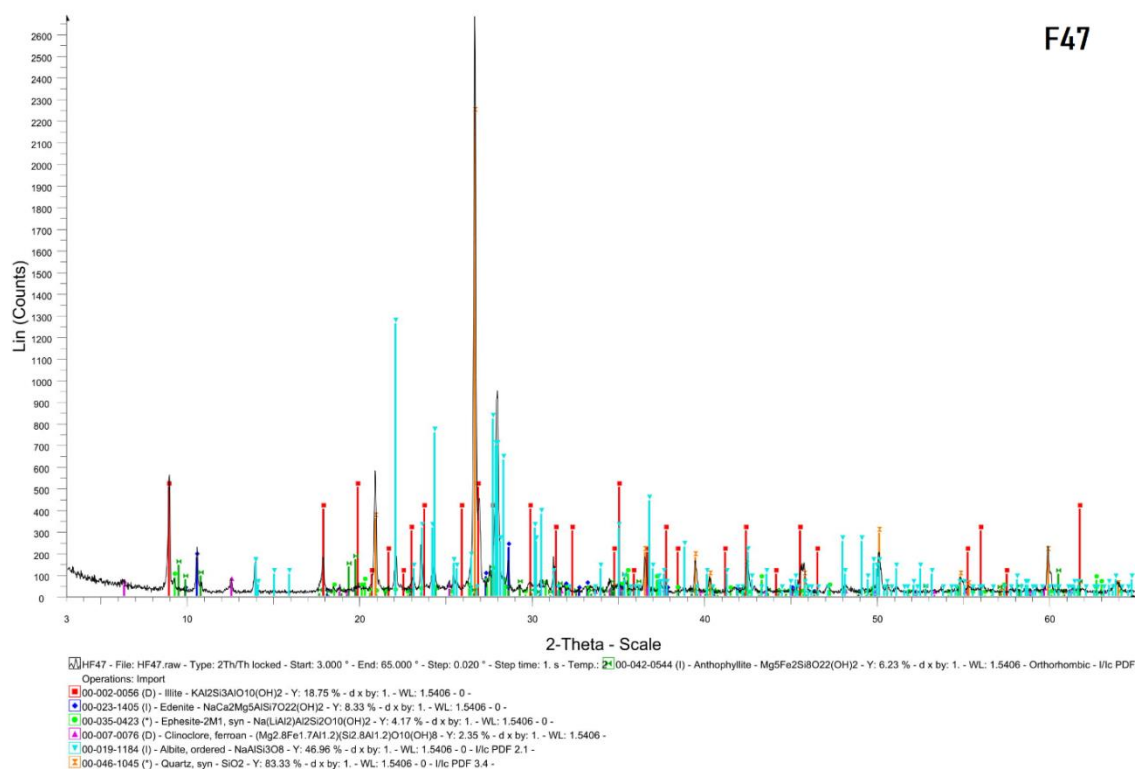
Δείγμα G78

7.3. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

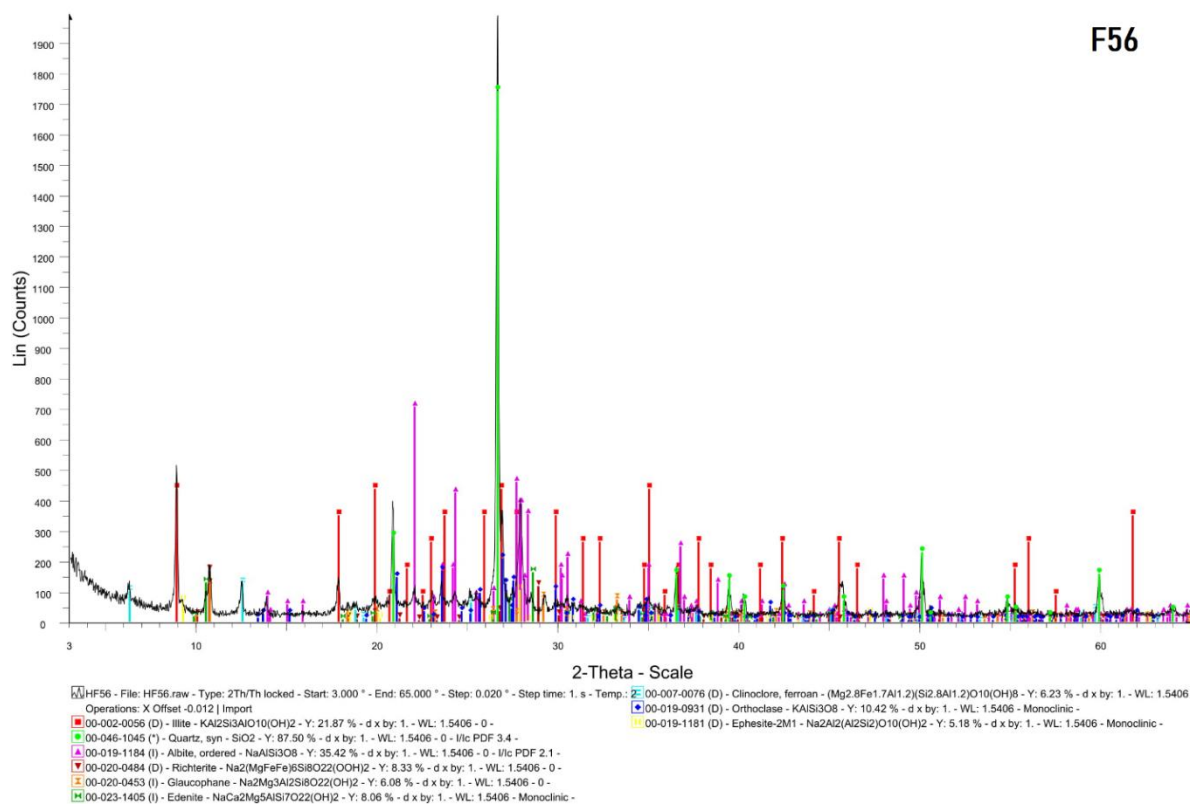
Ακτινοδιαγράμματα



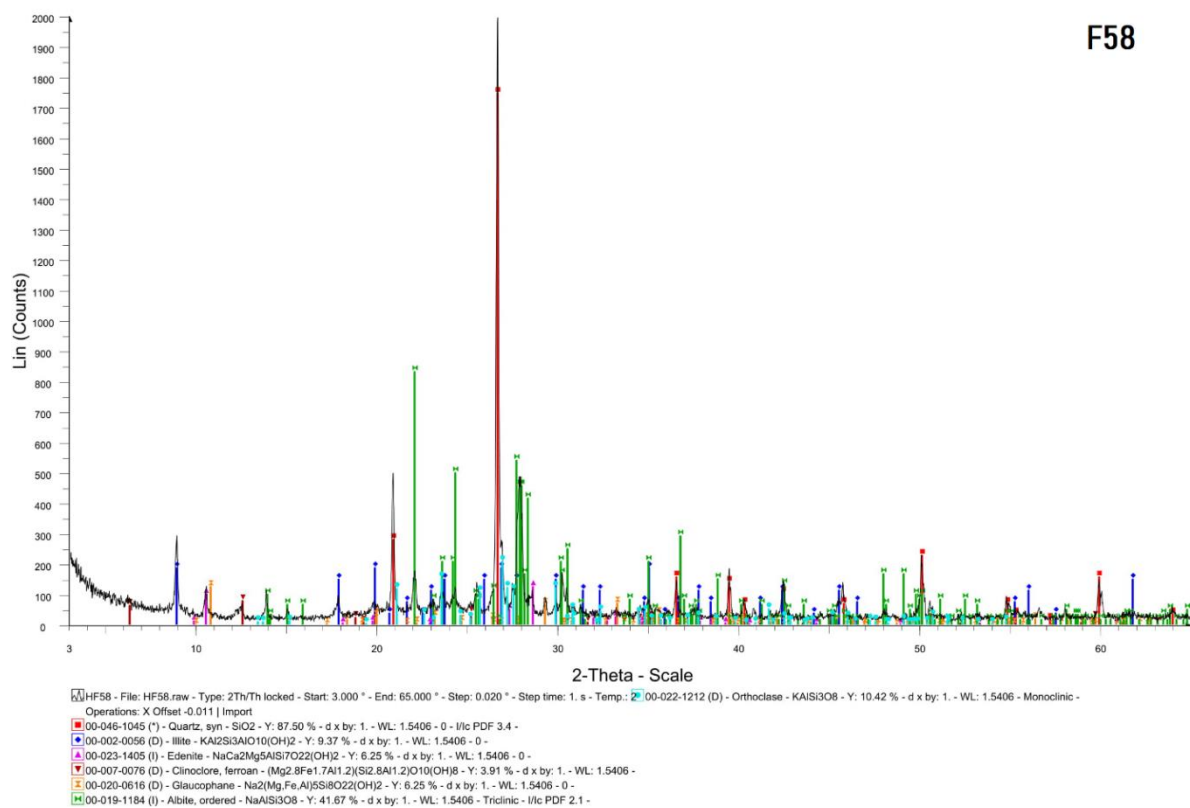
Δείγμα F37 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)



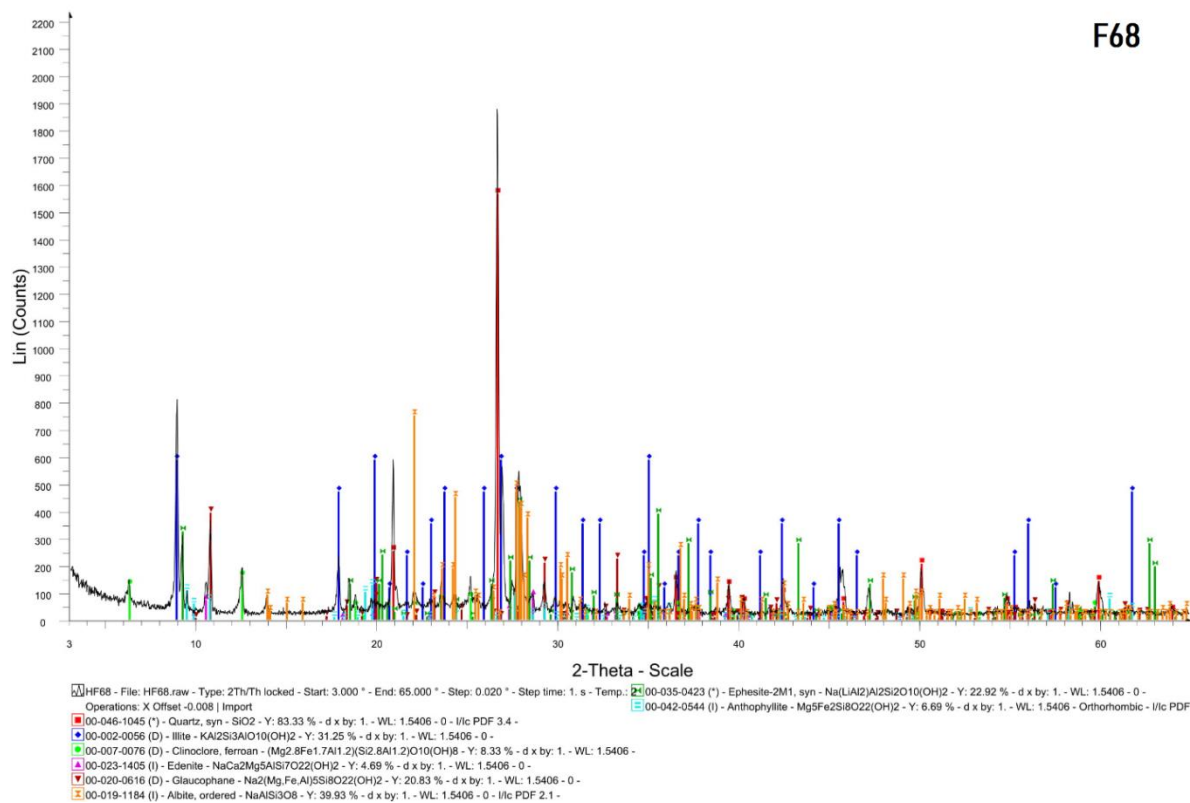
Δείγμα F47 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)



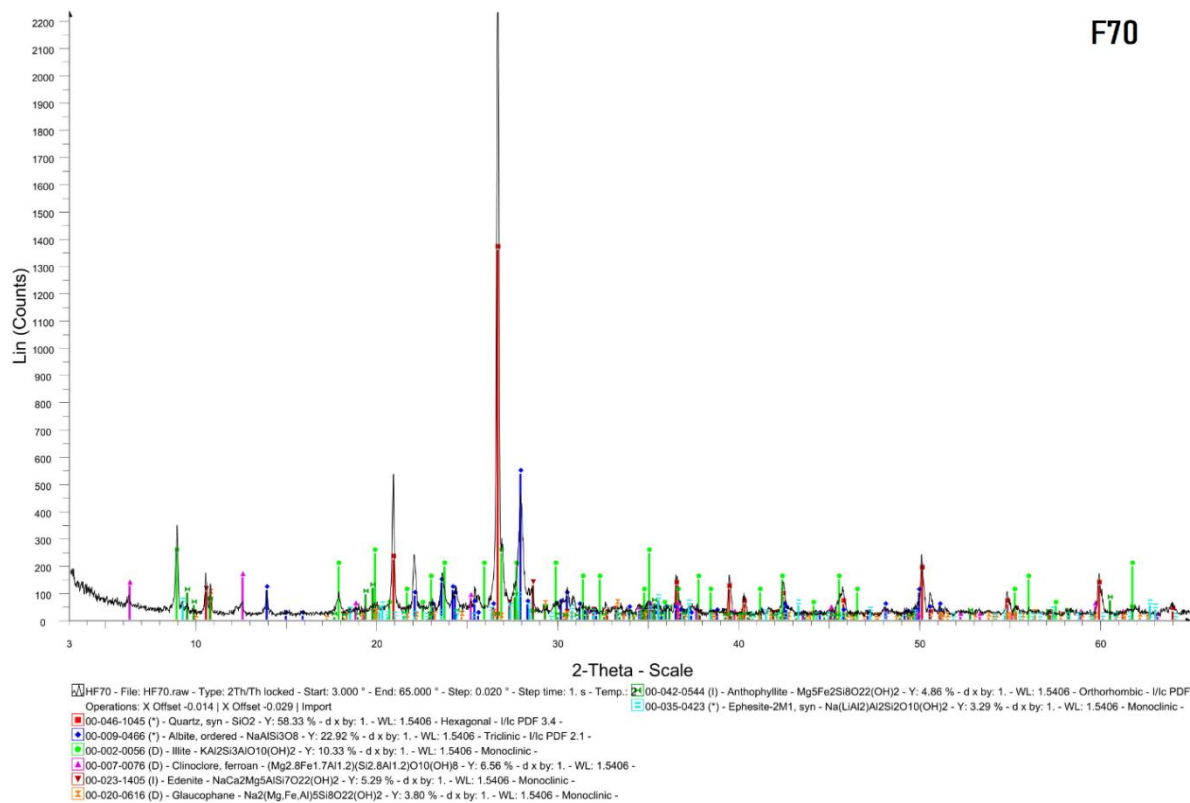
Δείγμα F56 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)



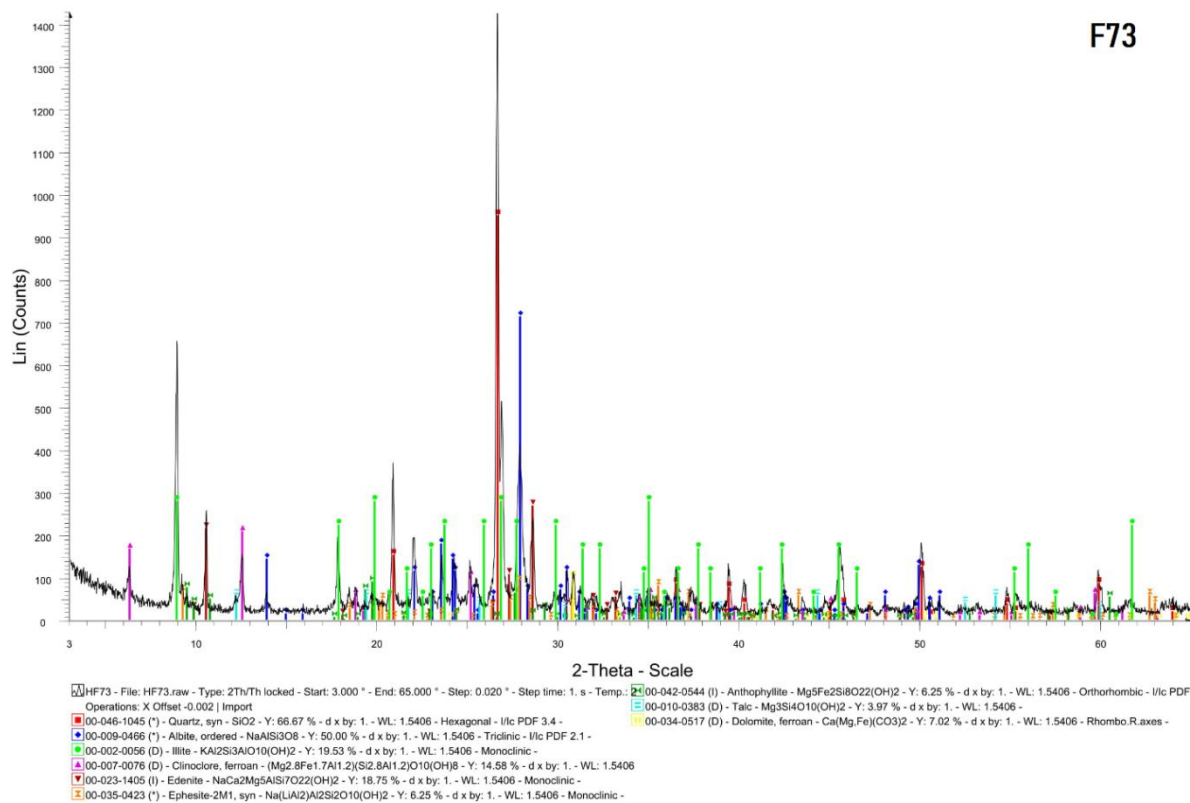
Δείγμα F58 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)



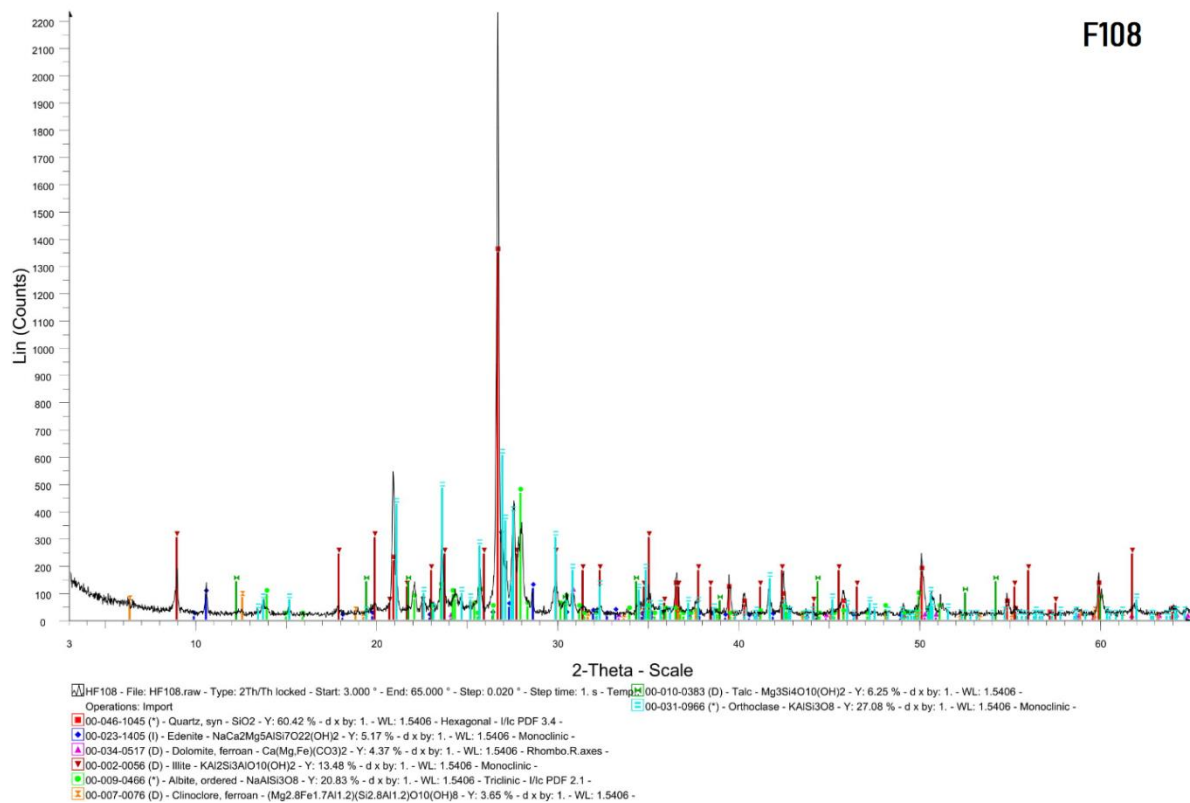
Δείγμα F68 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)



Δείγμα F70 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)



Δείγμα F73 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)



Δείγμα F108 (μετά την αφαίρεση του ανθρακικού υλικού)

