



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΟΑΝΗ ΣΟΦΙΑ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΗΣ
ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2016

ΔΟΑΝΗ ΣΟΦΙΑ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

**Ιζηματολογικά και παλαιοπεριβαλλοντικά
χαρακτηριστικά των ιζημάτων του πυθμένα της λίμνης
Κορώνειας**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος
Σπουδών 'Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον'
Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης:
23/06/2016

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) Αλμπανάκης Κωνσταντίνος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, **Επιβλέπων**
- 2) Βουβαλίδης Κωνσταντίνος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, **Μέλος**
- 3) Συρίδης Γεώργιος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, **Μέλος**

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επιτηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°

© Δοάνη Σοφία, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ
ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Τμήμα της διατριβής υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «Προκαταρκτική έρευνα προσδιορισμού του επιφανειακού χαλαρού στρώματος ιζημάτων της Λίμνης Κορώνειας, και διατύπωση προτάσεων για την συστηματική μελέτη του» που χρηματοδοτήθηκε από τον Φορέα Διαχείρισης Κορώνειας – Βόλβης με ανάδοχο τον ΧΡΟΝΗ ΙΩΑΝΝΗ – ΔΡ. ΑΓΡΟΟΙΚΟΛΟΓΟ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη προς τον Αναπληρωτή Καθηγητή και Διευθυντή του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας, κ. Αλμπανάκη Κωνσταντίνο, ο οποίος υπέδειξε το θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής και με εμπιστεύτηκε με την ανάθεσή του. Η καθοδήγηση και η συμβολή του σε όλα τα στάδια της προσπάθειας ήταν καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τους κ. Βουβαλίδη Κωνσταντίνο Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας και κ. Συρίδη Γεώργιο Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας, μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για την συμβολή τους στην ολοκλήρωση της διατριβής καθώς και για τις χρήσιμες γνώσεις καθ' όλη την διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Επίσης ευχαριστώ την Δρ. Κουκουσιούρα Όλγα, Ε.ΔΙ.Π του Τμήματος Γεωλογίας για την ενεργό και ουσιαστική βοήθειά της, κυρίως στο κομμάτι της μικροπαλαιοντολογικής μελέτης αλλά και το συνεχές ενδιαφέρον μέχρι την τελική επιμέλεια του κειμένου.

Επιπλέον, βαθιές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς την Δρ. Κολιαδήμου Καλλιόπη, Ε.ΔΙ.Π του Τμήματος Γεωλογίας, για την στήριξη, τις εποικοδομητικές συζητήσεις αλλά και τις πολύτιμες συμβουλές όσον αφορά την επιμέλεια του κειμένου και τον Δρ. Ιωάννη Οικονομόπουλο της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την πολύτιμη συμβολή του σε αυτή την διατριβή ειδίκευσης με την Ανθρακοπετρογραφική και Ορυκτολογική Εξέταση δείγματος της λίμνης Κορώνειας, το οποίο μελετήθηκε με συνδυασμό διαφόρων μεθόδων.

Ακόμη, ευχαριστώ τον Λέκτορα του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Μουρατίδη Αντώνιο και τον Υποψήφιο Διδάκτορα του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Δομακίνη Χρήστο για την στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές τους σε θέματα του αντικειμένου τους, την συνάδελφο γεωλόγο και μεταπτυχιακή φοιτήτρια Καραδήμου Γεωργία για τη διαρκή συμπαράσταση και βοήθειά της στο κομμάτι της υπαίθριας έρευνας και τον κ. Οικονομίδη Σταύρο, Ε.ΤΕ.Π του Τμήματος Γεωλογίας, για την πολύτιμη βοήθειά του με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για την φωτογράφιση των Οστρακωδών.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω προς τον Φορέα Διαχείρισης Κορώνειας–Βόλβης που χρηματοδότησε τμήμα αυτής της διατριβής, η οποία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «Προκαταρκτική έρευνα προσδιορισμού του επιφανειακού χαλαρού

στρώματος ιζημάτων της Λίμνης Κορώνειας, και διατύπωση προτάσεων για την συστηματική μελέτη του», στον Δρ. Χρόνη Ιωάννη ανάδοχο του έργου και την κα Μπόμπορη Δήμητρα Επικ. Καθηγήτρια στο Τμήμα Βιολογίας, ΑΠΘ και πρόεδρο-ειδικό επιστήμονα του Φορέα Διαχείρισης λιμνών Κορώνειας-Βόλβης.

Τέλος, ευχαριστώ τον Λέκτορα του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Οικονομίδη Δημήτριο για τις γνώσεις που μου προσέφερε κατά την διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα, την κα Μουντουρλή Μαρία, γραμματέα του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας για την στήριξη και την βοήθειά της σε όλα τα στάδια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Η διατριβή ειδίκευσης αυτή, αφιερώνεται στην οικογένειά μου και τους φίλους, τόσο για την ηθική, όσο και την υλική υποστήριξη, αλλά και για την αμέριστη εμπιστοσύνη τους στις ικανότητές μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λίμνη Κορώνεια, καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα της πεδινής περιοχής της Μυγδονίας Λεκάνης, προστατεύεται από τη σύμβαση RAMSAR και περιλαμβάνεται στο δίκτυο Natura 2000 (Mitraki et al., 2004). Ωστόσο, τα τελευταία έτη η λίμνη αντιμετωπίζει έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα που οδηγούν προς την πλήρη αποξήρανση. Σκοπός της παρούσας μελέτης, είναι η διερεύνηση των ιζηματολογικών χαρακτηριστικών του πυθμένα της λίμνης Κορώνειας έως το βάθος των 3.5m κάτω από τον πυθμένα. Η δειγματοληψία των ιζημάτων πραγματοποιήθηκε σε μια περίοδο κατά την οποία ο πυθμένας της λίμνης ήταν εκτεθειμένος σε χερσαίο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η ιζηματολογική μελέτη, έδειξε ότι τα ιζήματα αποτελούνται από ιλύ, άργιλο και μικρά ποσοστά πολύ λεπτής άμμου (πηλός προς αμμούχος πηλός), με 2 φάσεις του κλάσματος της άμμου. Η αναλογία της οργανικής ύλης επί ξηρού που περιέχεται στα ιζήματα, φαίνεται να είναι γενικά μικρή (~2%), ενώ τα ποσοστά της υγρής φάσης είναι σε υψηλά επίπεδα (38.28% έως 53.63%). Επιπλέον, μελετήθηκαν τα οστρακώδη που περιέχονταν στα δείγματα ως προς την κατανομή των πληθυσμών τους σε σχέση με το βάθος, το μέγεθος των κόκκων και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Προσδιορίστηκαν τέσσερα είδη: *Candona neglecta*, *Darwinula stevensoni*, *Heterocypris* spp. και *Limnocythere inopinata*. Ακόμη, προσδιορίστηκαν με στοιχειακή ανάλυση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο Jeol JSM-840A οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca από το κέλυφος των οστρακωδών. Η μελέτη των οστρακωδών παρείχε πληροφορίες για τις παλαιοοικολογικές/παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την απόθεση των ιζημάτων.

Λέξεις κλειδιά: Περιβάλλον γλυκού νερού, κοκκομετρική ανάλυση, οστρακώδη.

Abstract

Lake Koronia, occupies the western lowland area of Mygdonia Basin, protected by the RAMSAR Convention and included in the Natura 2000 network (Mitraki et al., 2004). However, in recent years the lake is facing environmental problems and heading towards a total drying up. The aim of the present study is to investigate the sedimentological characteristics of Lake Koronia bottom and down to a depth of 3.5m below the lakebed. Sampling operations took advantage of a period that the lake bottom was exposed to subaerial conditions. The sedimentological analysis proved that sediments consist of silt, clay and small rates of very fine sand fractions (mud to sandy mud), with two phases recognized in the sand fractions. The proportion of dry organic matter contained into the sediment, appears to be generally small (~2%), while the rates of liquid content are relatively high (38.28% to 53.63%).

Furthermore, this study examines the distribution of ostracod populations in the sediments of the lake, in relation to depth, grain size and other environmental conditions of this water body. Four ostracod species were identified: *Candona neglecta*, *Darwinula stevensoni*, *Heterocypris* spp. and *Limnocythere inopinata*. The Mg/Ca and Sr/Ca ratios of the shells were determined by trace element analysis, using a Jeol JSM- 840A scanning electron microscope. The study of freshwater ostracods provides information for the palaeoecological and/or palaeoenvironmental conditions during the sedimentation process.

Keywords: Freshwater environment, grain size analysis, ostracods.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

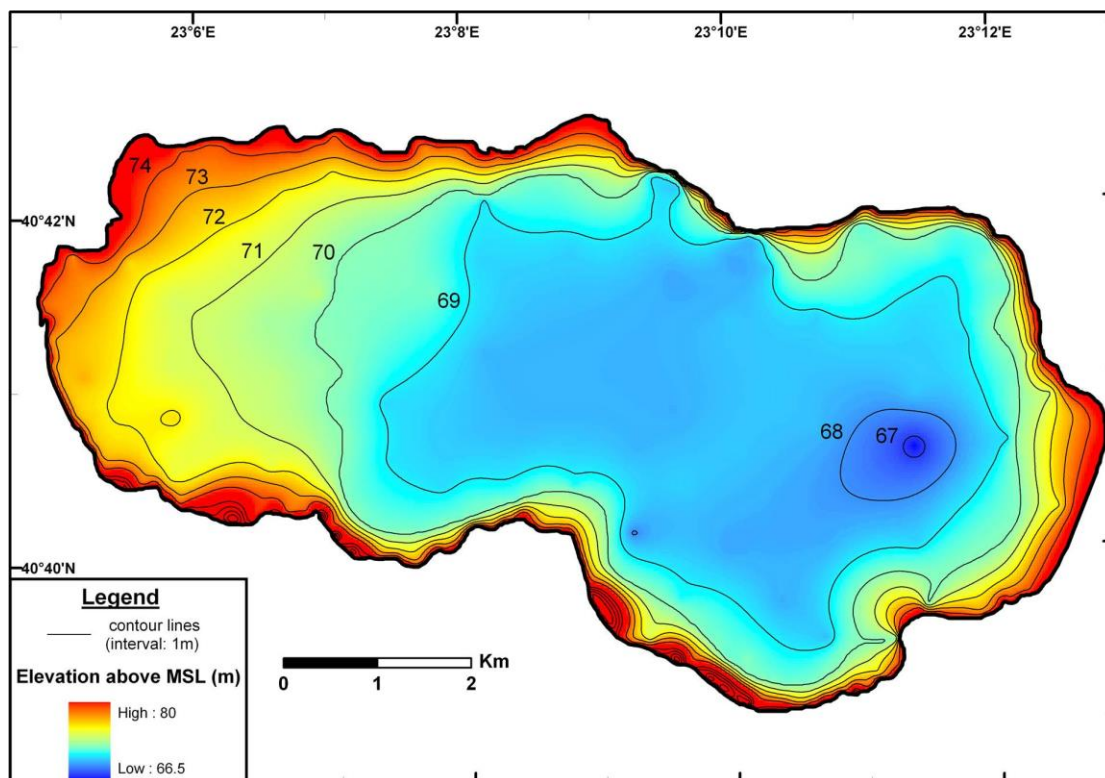
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
Abstract	7
1)ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1) Σκοπός της διατριβής – Τοποθέτηση του προβλήματος	13
2) ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	15
2.1) Μυγδονία λεκάνη	15
2.2) Λίμνη Κορώνεια.....	18
2.3) Γεωλογική δομή	19
3) ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	22
3.1) Δειγματοληψία	22
3.2) Εργαστηριακές αναλύσεις	31
3.2.1) Ιζηματολογικές αναλύσεις	31
Υπολογισμός Υγρής Φάσης και Οργανικών	31
Υπολογισμός πυκνότητας-ειδικού βάρους.....	33
Μηχανική ανάλυση ιζημάτων	36
3.2.2) Μικροπαλαιοντολογική ανάλυση.....	41
Εισαγωγή στα Οστρακώδη	41
Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων	43
Επεξεργασία Οστρακωδών	43
4.1) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
4.1.1) ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	45
4.1.2) ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	56
5) ΣΥΖΗΤΗΣΗ	62
Συζήτηση για το περιβάλλον σε σχέση με τα είδη οστρακωδών	64

Συζήτηση για το περιβάλλον σύμφωνα με τους λόγους Mg/Ca και Sr/Ca των κελυφών.....	65
Γενική συζήτηση συνδυασμού των αποτελεσμάτων	66
6) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
7) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71
i. Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	71
ii. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	72
iii. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III	92

1)ΕΙΣΑΓΩΓΗ

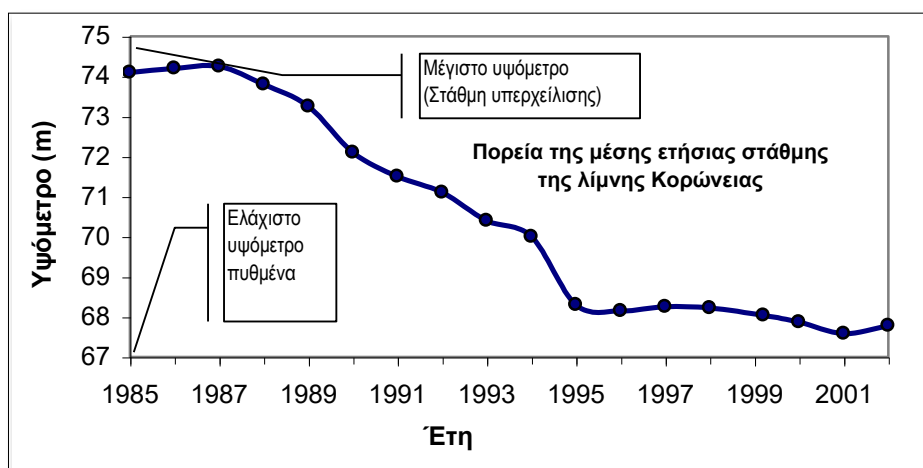
Η λίμνη Κορώνεια, καταλαμβάνει τη δυτική πεδινή περιοχή της Μυγδονίας Λεκάνης όπου υπάρχει ένα σύνθετο σύστημα υγροτόπων, που προστατεύονται από τη σύμβαση RAMSAR και περιλαμβάνονται στο δίκτυο Natura 2000 (Mitraki et al., 2004). Ωστόσο, η λίμνη θεωρείται σήμερα ως μία από τους πλέον υποβαθμισμένους υγροτόπους στην Ελλάδα. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η λίμνη αντιμετωπίζει έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα και στην πραγματικότητα κατευθύνεται προς την πλήρη αποξήρανση.

Κατά τον Ψιλοβίκο (1977), την δεκαετία του '70 η στάθμη της Κορώνειας δεν είχε διακυμάνσεις μεγάλης σημασίας, πέραν από αυτές που θεωρούνταν φυσιολογικές και οφείλονταν στις εναλλαγές των υδρολογικών ετών. Συγκεκριμένα, η επιφάνεια της λίμνης είχε υψόμετρο μέσης στάθμης +75m όπως φαίνεται και στον χάρτη (Σχήμα 1) ο οποίος είναι βασισμένος στον τοπογραφικό χάρτη της Γ.Υ.Σ φύλλο Θέρμη, 1982.



Σχήμα 1. Υψομετρικός χάρτης του πυθμένα της Κορώνειας, βασισμένος στο χάρτη της Γ.Υ.Σ (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) 1:50.000 (φύλλο Θέρμη, Μάρτιος 1982), από Mouratidis et. al., 2015.

Πριν ξεκινήσουν οι μεγάλες απώλειες υδάτων, κατά το έτος 1985, η έκτασή της κυμαινόταν από 45km² έως 49km², είχε περίπου 5-6m βάθος και κατατασσόταν (όσον αφορά την έκταση), ως η 4^η μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας (Myloroulos et al., 2007). Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, η λίμνη Κορώνεια παρουσίαζε ενεργό εμπορική αλιεία, αλλά αυτό είχε καθοδική πορεία όταν άρχισε η προοδευτική μείωση της στάθμης των υδάτων της (Economidis et al., 1988; Fotis et al., 1992). Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 η αλιεία κατέρρευσε εντελώς, με αποκορύφωμα τη μαζική εξαφάνιση των ψαριών κατά το έτος 1995 (Grammatikopoulou et al., 1996), λόγω της εκτεταμένης μόλυνσης και των πολύ έντονων πλέον περιβαλλοντικών προβλημάτων. Από τότε, η γενικότερη πορεία της λίμνης είναι συνεχώς πτωτική (Σχήμα 2), καθώς το 2001 η λίμνη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως έλος (Μουζούρη et al. 2002).

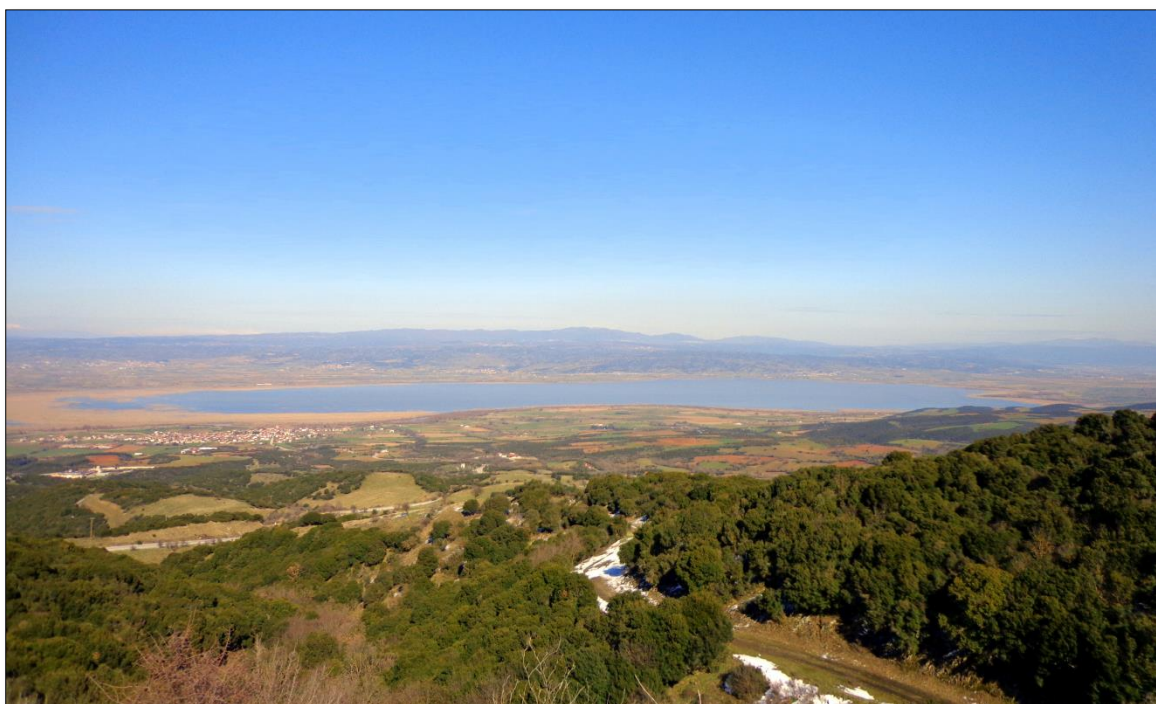


Σχήμα 2. Η πορεία της μέσης ετήσιας στάθμης στη λίμνη Κορώνεια κατά τα έτη 1985-2001 (από Μουζούρη et al. 2002).

Η υποβάθμιση, εκτός από ποσοτική είναι και ποιοτική, καθώς απόβλητα και λύματα από τις βιομηχανικές δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή, όπως και από τον οικισμό του Λαγκαδά αποστραγγίζονταν κατ' ευθείαν στη λίμνη. Προς το τέλος του 2014 αλλά και κατά την διάρκεια του 2015, οι έντονες βροχοπτώσεις αύξησαν την στάθμη των νερών της λίμνης με αποτέλεσμα να φτάσει έως και τα 2m. Σύμφωνα με μετρήσεις του Φορέα Διαχείρισης Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης αλλά και από προσωπική υπαίθρια παρατήρηση, η στάθμη ανέβηκε και σε σημεία που δεν υπήρχε καθόλου νερό τα προηγούμενα χρόνια (<http://www.foreaskv.gr/>) (Σχήματα 3,4).



Σχήμα 3. Γενική άποψη της λίμνης Κορώνειας, 16/11/2011, (από Thomas Esch-Panoramio <http://www.panoramio.com/photo/62258579>).



Σχήμα 4. Γενική άποψη της λίμνης Κορώνειας μετά την αύξηση της στάθμης της, 12/02/2015.

1.1) Σκοπός της διατριβής – Τοποθέτηση του προβλήματος

Λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Κορώνεια, η Ελλάδα παραπέμφθηκε στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο για την παράλειψή της να την προστατεύσει. Η λίμνη αποτέλεσε το αντικείμενο διάφορων μελετών, καθώς πρόκειται για σημαντικό υδάτινο πόρο για την γύρω περιοχή και επιπρόσθετα πολύτιμο υγρότοπο, που προστατεύεται από συνθήκες, συμβάσεις, Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις, οδηγίες και ρυθμιστικές πράξεις.

Στις μελέτες αυτές, συμπεριλαμβάνεται το MASTER PLAN, στα πλαίσια του οποίου οι Knight Piesold και Karavokyris and Partners (1998), αναφέρονται στην περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Ένα δεύτερο MASTER PLAN εκπονήθηκε από τους Ζαλίδης και άλλοι (2004) και αναφέρεται επίσης στην περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης, καθώς προτείνονται μέτρα προστασίας, τα οποία λαμβάνουν υπόψη όλες τις προηγούμενες μελέτες που είχαν πραγματοποιηθεί έως τότε.

Για την αποκατάσταση τέτοιων λιμνών, σύμφωνα και με άλλες διεθνείς περιπτώσεις, απαιτείται παράλληλη εφαρμογή οριζόντιας και κάθετης διαχείρισης του υγροτόπου (Crisman et al., 2004). Όσον αφορά την κάθετη διαχείριση, προτάθηκε η δημιουργία βαθέων ενδαιτημάτων εντός της λίμνης. Στο αναθεωρημένο σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας, αναλύονται μεταξύ άλλων τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η περιοχή, μερικά από τα οποία αφορούν την παρούσα διατριβή και είναι τα εξής:

- 1) Ο ετήσιος όγκος φερτών υλών που καταλήγουν στην λίμνη, είναι 393.614m^3 με κύριο τροφοδότη το χείμαρρο του Μπογδάνα που μεταφέρει 134.120m^3 (Κωτούλας, 1997, από Ζαλίδης et al., 2004). Αυτές οι ποσότητες υλικών, μειώνουν την υδατοχωρητικότητα και επιβαρύνουν την ποιότητα των υδάτων.
- 2) Σύμφωνα με στοιχεία από την μελέτη «Περιβαλλοντική αποκατάσταση της Λίμνης Κορώνειας, 1998»: «Οι υψηλές αναλογίες COD/BOD που παρατηρούνται ιδιαίτερα μετά το 1997 δηλώνουν τη συσσώρευση μη βιο-διασπώμενης οργανικής ύλης.»

Κατόπιν από προσωπική επικοινωνία με τον Φορέα Διαχείρισης Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης για το έργο του βαθέως ενδαιτήματος, διαπιστώθηκε ότι αυτό έμεινε ανολοκλήρωτο λόγω των μη αναμενόμενων συνθηκών και ιδιοτήτων του ιζήματος από το οποίο αποτελείται ο πυθμένας της λίμνης. Συγκεκριμένα, έγινε αντιληπτό από μετρήσεις του ανάδοχου εργολάβου του έργου, ότι υπήρξε μια

ανύψωση στο επίπεδο τμήμα του πυθμένα της λίμνης περίπου +1.5m σε σχέση με τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. Την διαπίστωση αυτή, ακολούθησαν διάφορες υποθέσεις επιστημόνων σε σχέση με την προέλευση των υλικών στα οποία οφείλεται αυτή η πλήρωση του πυθμένα, με επικρατέστερη ότι τα υλικά είναι στην πραγματικότητα συσσώρευση οργανικής ύλης.

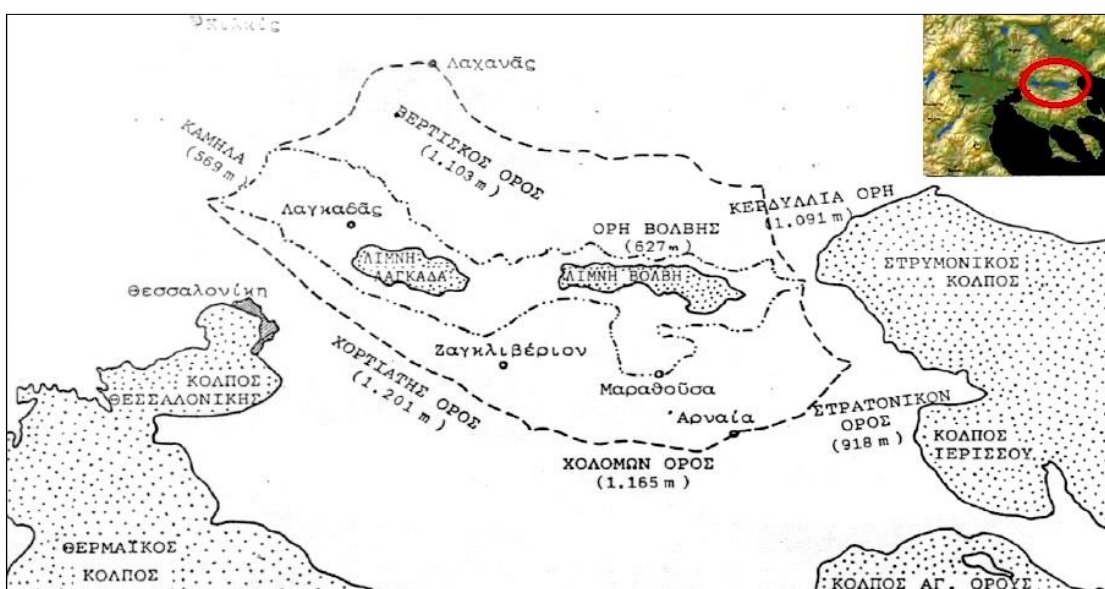
Προκύπτει λοιπόν, ότι η **λεπτομερής γνώση** των ιζηματολογικών χαρακτηριστικών σε ένα υποβαθμισμένο σύστημα υδροτόπων, είναι **απαραίτητη προϋπόθεση** για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων από τα οποία πάσχει η περιοχή, καθώς και για την επιτυχημένη διεξαγωγή οποιουδήποτε έργου σε αυτή.

Σκοπός της παρούσας διατριβής, αποτελεί η διερεύνηση των ιζηματολογικών χαρακτηριστικών σε συγκεκριμένη θέση του πυθμένα της λίμνης Κορώνειας και έως το βάθος των 3.5m κάτω από τον πυθμένα της. Κύριος στόχος όσον αφορά τη θέση που επιλέχτηκε για δειγματοληψία, ήταν να υπάρχουν αμιγώς λιμναία ιζήματα χωρίς ενδιάμεσες παρεμβολές υλικών από τα δέλτα των ρεμάτων έτσι ώστε να μελετηθεί η εξέλιξη της αμιγώς λιμναίας ιζηματογένεσης και όχι η εξάπλωση των δελταϊκών αποθέσεων. Επιπρόσθετα, γίνεται μια προσπάθεια να απαντηθούν ερωτήματα που αφορούν τα ιζηματολογικά στοιχεία, τα οποία δημιούργησαν εμπόδια κατά την προσπάθεια της περιβαλλοντικής αποκατάστασής της. Λεπτομερέστερα, ο κύριος στόχος της μελέτης, είναι η τεκμηρίωση των φυσικών ιδιοτήτων των ιζημάτων του πυθμένα της λίμνης, καθώς και της κοκκομετρίας τους (μέγεθος των κόκκων). Όσον αφορά τις φυσικές ιδιότητες, εξετάζεται η υγρή φάση του ιζήματος, δηλαδή η περιεκτικότητά του σε νερό, το ειδικό βάρος των κόκκων και η περιεκτικότητά του ιζήματος σε οργανική ύλη. Όσον αφορά την κοκκομετρία, γίνεται μηχανική ανάλυση και χαρακτηρισμός του ιζήματος σύμφωνα με τα ποσοστά των κλασμάτων άμμος-ιλύς-άργιλος. Επιπλέον, εξετάζεται η κατανομή των πληθυσμών των οστρακωδών στο ίζημα της συγκεκριμένης θέσης στη λίμνη, σε σχέση με το βάθος, το μέγεθος των κόκκων και άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές. Η μελέτη των οστρακωδών γλυκού νερού είναι ιδιαίτερης σημασίας, διότι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες τόσο για την παλαιοπεριβαλλοντική, όσο και για την παλαιοοικολογική ανάλυση των λιμναίων αποθέσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα διατριβή δεν ήταν δυνατό να εφαρμοστεί η μέθοδος της ραδιοχρονολόγησης για τα κελύφη των οστρακωδών κυρίως λόγω του υψηλού κόστους της ανάλυσης αλλά και της μικρής ποσότητας διαθέσιμου υλικού. Ωστόσο, οι πληροφορίες που έδωσε η μελέτη τους ήταν ικανές να παρέχουν μια γενική εικόνα για το παλαιοπεριβάλλον της περιοχής δειγματοληψίας.

2) ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1) Μυγδονία λεκάνη

Η Μυγδονία λεκάνη, ορίζεται σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο (1977), ως το επίμηκες βύθισμα που εκτείνεται μεταξύ του όρους Καμήλα και των στενών της Ρεντίνας. Οριοθετείται στα βόρεια από τα όρη Βερτίσκος και Κερδύλια και νότια από τα όρη Χορτιάτης και Χολομώντας. Εσωτερικά του βυθίσματος βρίσκονται οι λίμνες Βόλβη (Ανατολικά) και Κορώνεια (Δυτικά), (Σχήμα 5). Οι λίμνες αυτές, είναι υπολειμματικές μιας μεγαλύτερης λίμνης, της Μυγδονίας, η οποία λειτούργησε κατά το Πλειστόκαινο. Η λεκάνη της Μυγδονίας, βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία στο 10^ο Υδατικό Διαμέρισμα της Ελλάδας (νόμος 1739/87 - ΦΕΚ 201Β/20-11-1987).



Σχήμα 5. Τοπογραφικό διάγραμμα της ευρύτερης περιοχής στην οποία ανήκει η λεκάνη της Μυγδονίας (Ψιλοβίκος, 1977).

Η λεκάνη της Μυγδονίας έχει έκταση 2026km² (Nimforoulos et al., 2002), και αποτελείται πρακτικά από δυο υπολεκάνες, αυτή της λίμνης Κορώνειας και αυτή της λίμνης Βόλβης. Το όριό τους, δεν είναι καθορισμένο με ακρίβεια, αλλά τοποθετείται στην περιοχή Στίβου-Σχολαρίου, μέσω ενός συστήματος λόφων (Ψιλοβίκος, 1977), διαμέσου των οποίων περνά ο ποταμός Δερβένι. Τα επιφανειακά νερά της λεκάνης, οργανώνονται σε χείμαρρους και αποστραγγίζονται στο πεδινό της τμήμα, στις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη (Ζαλίδης et al., 2004). Συγκεκριμένα, την υπολεκάνη της Κορώνειας, σύμφωνα με τους Nimforoulos et al. (2002), αποστραγγίζουν ο ποταμός Μπογδάνας και τα ρέματα Κολχικού, Δρακόντιου, Ανάληψης, Ευαγγελισμού και

Γερακαρούς. Αντίστοιχα, η υπολεκάνη της Βόλβης διασχίζεται από τα ρέματα Σχολαρίου, Αρεθούσας, Χολομόντα, Ν. Απολλωνίας και Λαγκαδικίων.

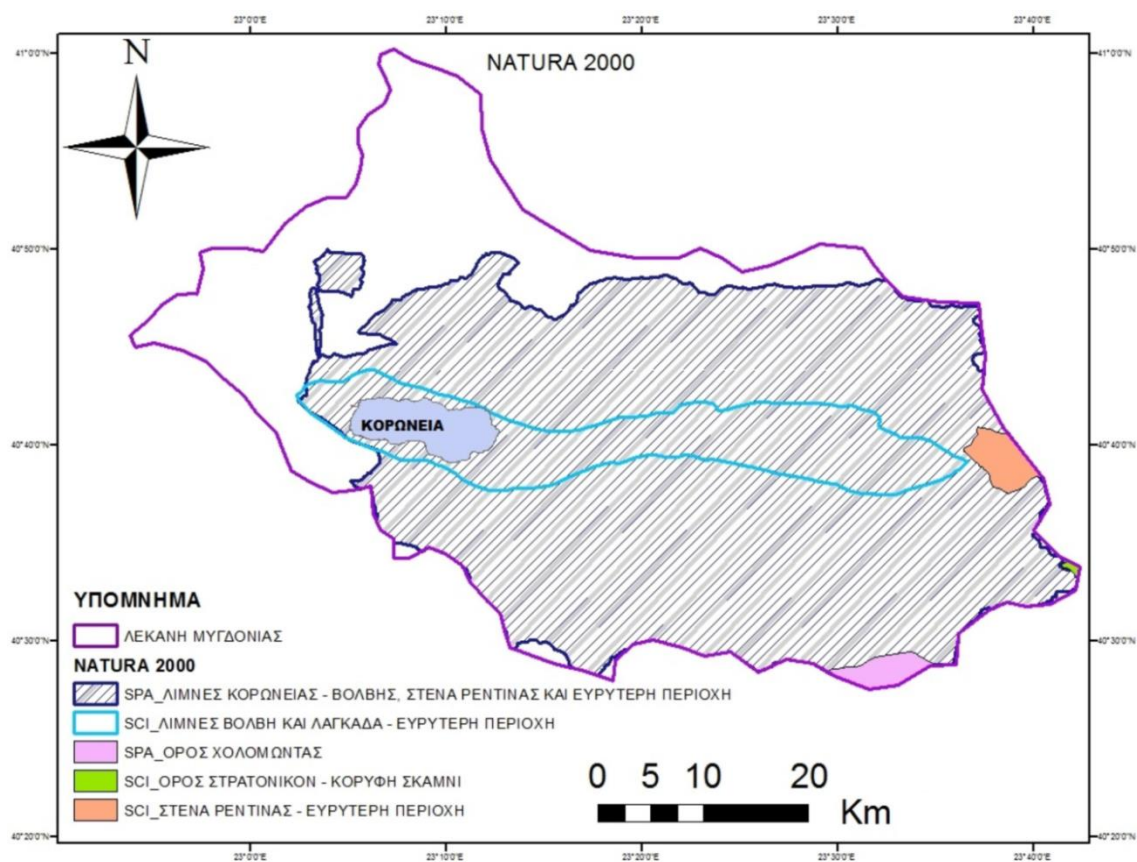
Το σύμπλεγμα λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και τα στενά της Ρεντίνας με τον Ρήχιο ποταμό (Σχήμα 6), σχηματίζουν ένα υδροτοπικό σύστημα που προστατεύεται από διεθνείς συμβάσεις, Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις, οδηγίες και ρυθμιστικές πράξεις. Σκοπός τους είναι η διαφύλαξη, διαχείριση και οικολογική ισορροπία της περιοχής.

- Σύμφωνα με την ΚΥΑ 6919/11-2-2004 (ΦΕΚ 248/Δ/5-3-2004), χερσαίες και υδάτινες περιοχές του υδροτοπικού συστήματος των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης και των Μακεδονικών Τεμπών χαρακτηρίστηκαν ως «Εθνικό Πάρκο».
- Στις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη, αναφέρεται το Διαχειριστικό Σχέδιο ΚΥΑ 58481/2012 (ΦΕΚ 3159/β/27-11-2012).
- Σύμφωνα με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ οι «Λίμνες Βόλβη και Λαγκαδά και Στενά Ρεντίνας» χαρακτηρίστηκαν ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας (Special Protected Area- SPA), δίκτυο NATURA 2000 (GR1220009).
- Σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ οι «Λίμνες Βόλβη και Λαγκαδά- Ευρύτερη περιοχή» και τα «Στενά Ρεντίνας- Ευρύτερη περιοχή» χαρακτηρίστηκαν ως Τόπος Κοινοτικής Σημασίας (Site of Community Importance- SCI), δίκτυο NATURA 2000 (GR1220001) και (GR1220003) αντίστοιχα.
- Σύμφωνα με το ΦΕΚ 894B/3-7-2003, έχει δημιουργηθεί «Φορέας Διαχείρισης Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης».
- Σύμφωνα με την σύμβαση Ramsar οι λίμνες Κορώνεια-Βόλβη χαρακτηρίστηκαν «Υδροβιότοπος διεθνούς σημασίας», νομοθετικό διάταγμα 191/1974 (ΦΕΚ 350/Α'/20.11.1974).

Σύμφωνα με υπολογισμούς που έγιναν για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής, με χρήση του λογισμικού ArcGIS, συνολικά προστατεύεται το **74.9%** της λεκάνης της Μυγδονίας (Σχήμα 7).



Σχήμα 6. Ζώνες Προστασίας και Διοίκησης της Περιοχής Εφαρμογής του Σχεδίου Διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου των Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών. (<http://www.foreaskv.gr/>).



Σχήμα 7. Η θέση της λίμνης Κορώνειας στη λεκάνη της Μυγδονίας και η περιοχή του δικτύου NATURA 2000 που προέκυψε από επεξεργασία με το λογισμικό ArcGIS.

2.2) Λίμνη Κορώνεια

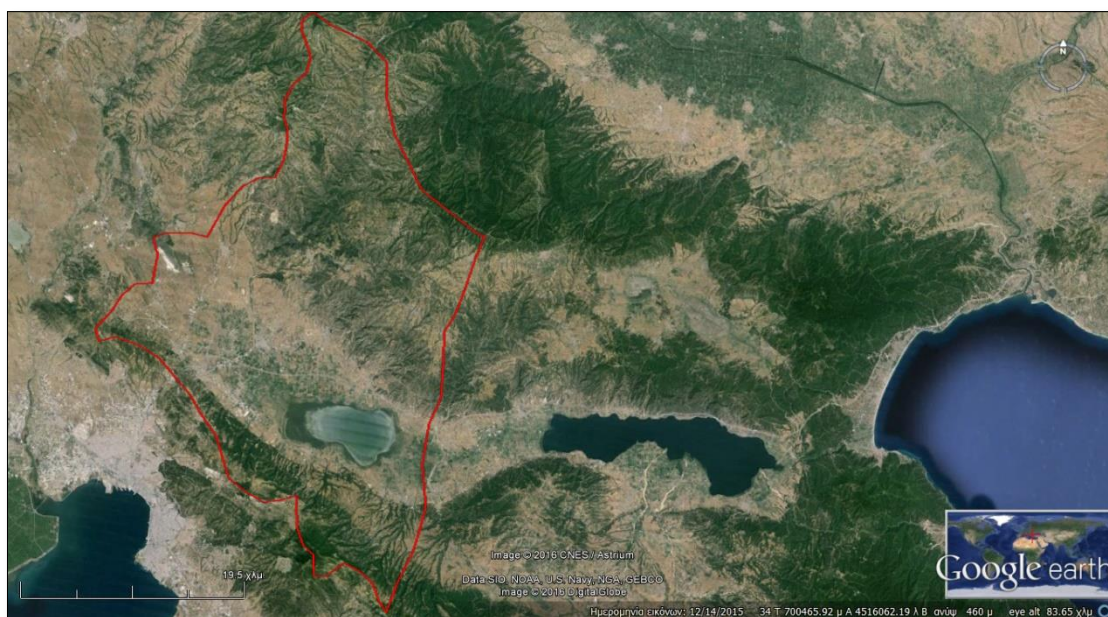
Η λίμνη Κορώνεια, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εκτείνεται στο δυτικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης λίγα χιλιόμετρα ανατολικά από την πόλη της Θεσσαλονίκης (Σχήμα 8), με συντεταγμένες:

$\varphi = 40^{\circ} 39' \text{ έως } 40^{\circ} 43'$ Γεωγραφικό Πλάτος

$\lambda = 23^{\circ} 05' \text{ έως } 23^{\circ} 12'$ Γεωγραφικό Μήκος

από Μουζούρη (2002).

Το σχήμα της είναι ελλειψοειδές και έχει μικρό βάθος το οποίο αλλάζει ανάλογα το υδρολογικό έτος από περίπου 0.9m έως και 2.5-3m (Ζαλίδης et al., 2004). Είναι το πιο ρηχό από τα δυο βυθίσματα της παλιάς λίμνης Μυγδονίας και βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με τη λίμνη Βόλβη που είναι το δεύτερο βύθισμα, κατά περίπου 38m (Ψιλοβίκος, 1977).



Σχήμα 8. Θέση της λίμνης Κορώνειας και μορφολογία της λεκάνης απορροής της (Δορυφορική Εικόνα GoogleEarth, 14/12/2015, επεξεργασία στο λογισμικό ArcGIS).

Κατά την διάρκεια της φυσικής κατάστασης των δυο λιμνών, πριν δηλαδή υποστούν ανθρώπινες επεμβάσεις, δεν υπήρχε μεταξύ τους υδάτινη επικοινωνία. Έπειτα αυτό άλλαξε με την διάνοιξη της τεχνητής αποστραγγιστικής τάφρου (τάφρος Δερβενίου) κατά το 1930 έως 1940 με σκοπό να δημιουργηθούν νέες εκτάσεις προς καλλιέργεια (Ζαλίδης et al., 2004).

Οι βασικοί χείμαρροι που εκχύνονται στην λίμνη Κορώνεια, είναι το ρέμα Μπογδάνας που αποστραγγίζει την περιοχή στα νότια του Λαχανά και εκβάλλει δυτικά της λίμνης, το ρέμα Κολχικού που αποστραγγίζει τις περιοχές Όσση-Κρυονέρι-Κολχικό και εκβάλλει βόρεια της λίμνης και το ρέμα Αγίας Παρασκευής και Πλαταναρά που αποστραγγίζει τις περιοχές Αδραμέριο-Βασιλούδι-Γερακαρού-ΒΑ πλευρά του Χορτιάτη και εκβάλλει νοτιοανατολικά της λίμνης. Λόγω των ρεμάτων αυτών μεταφέρονται μέσα στην λίμνη μεγάλες ποσότητες ιζημάτων με αποτέλεσμα την σταδιακή πρόσχωση τμημάτων της (Ψιλοβίκος, 1977).

2.3) Γεωλογική δομή

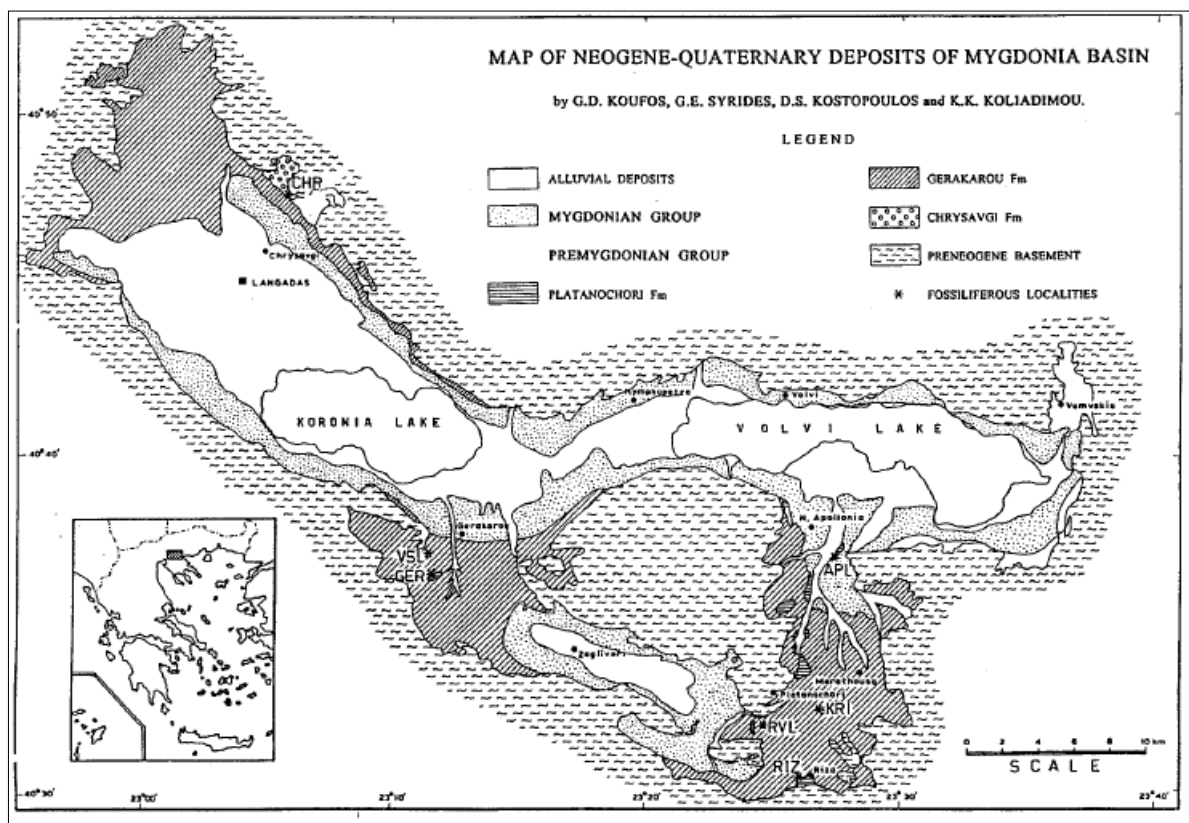
Η υπολεκάνη της Κορώνειας, τοποθετείται γεωτεκτονικά στο όριο μεταξύ της Σερβομακεδονικής Μάζας και της Περιροδοπικής ζώνης. Το υπόβαθρο αποτελείται από Προαλπικής και Αλπικής ηλικίας μεταμορφωμένα πετρώματα. Συγκεκριμένα, οι προ-νεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από γνεύσιους και αμφιβολίτες, μάρμαρα, πετρώματα της φυλλιτικής σειράς, ασβεστόλιθους, χαλαζίτες και γρανίτες.

Αναλυτικότερα, η Σερβομακεδονική μάζα που καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης, αποτελείται κατά κύριο λόγο από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία χωρίζονται σε δυο μεγάλες σειρές. Η κατώτερη σειρά των Κερδυλλίων είναι η αρχαιότερη ενώ η ανώτερη σειρά του Βερτίσκου θεωρείται νεώτερη (Kockel et al., 1971). Το ανατολικό περιθώριο της υπολεκάνης της Κορώνειας, αποτελείται από πετρώματα της σειράς του Βερτίσκου, δηλαδή βιοιτιτικούς και διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, οφθαλμογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους με λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων, μεταγάββρους, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες που προέρχονται από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων. Κατά τους Kockel et al. (1971), μέσα στα πετρώματα αυτά υπάρχουν παρεμβολές σερπεντινικών σωμάτων μέσω τεκτονικών επαφών. Έχουν ηλικία Παλαιοζωικό ή και Προκάμβριο ενώ τα πετρώματα βασικής σύστασης, έχουν ηλικία πιθανότατα Μεσοζωικό. Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής, υπέστη δυο φάσεις μεταμορφώσεων, η πρώτη κατά το Παλαιοζωικό (αμφιβολιτική φάση) και η δεύτερη κατά το Κ. Κρητιδικό (πρασινοςχιστολιθική φάση) (Μουντράκης, 2010, σύμφωνα με Mercier, 1966).

Το δυτικό περιθώριο της υπολεκάνης της Κορώνειας, αποτελείται από πετρώματα της Περιροδοπικής ζώνης η οποία διακρίνεται σε τρεις ενότητες πετρωμάτων: 1) ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, 2) ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, 3) ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη. Τα πετρώματα αυτά είναι ελαφρώς μεταμορφωμένα ιζήματα Περμοτριάδικής ηλικίας, φλύσχης

ημιμεταμορφωμένος και σχιστοκερατολιθική διάπλαση με ηλικία Ιουρασικό (Μουντράκης, 1985, σύμφωνα με Kauffmann et al., 1976). Στο όρος Καμήλα, συναντώνται οι χαρακτηριστικοί ασβεστόλιθοι της Περιοδοποτικής ζώνης με ηλικία Μ-Α Τριαδικό (Mercier, 1966). Κατά τους παραπάνω ερευνητές, η Περιοδοποτική ζώνη, υπέστη μια φάση μεταμόρφωσης κατά το Α. Ιουρασικό-Κ. Κρητιδικό (πρασινοσχιστολιθική φάση).

Επάνω στους Προνεογενείς σχηματισμούς, επικάθονται Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται ως λιμναία και χερσαία ιζήματα. Τα ιζήματα αυτά διαχωρίζονται σε προ-Μυγδονιακή Ομάδα (Νεογενείς αποθέσεις) και σε Μυγδονιακή Ομάδα (Τεταρτογενείς αποθέσεις) (Ψιλοβίκος, 1977; Koufos et al., 1995) (Σχήμα 9). Η Προ-Μυγδονιακή ομάδα, αποτελείται από ιζήματα που αποτέθηκαν πριν τη δημιουργία της Μυγδονίας λεκάνης, μέσα σε μία λεκάνη ευρύτερη, την Προμυγδονιακή. Οι σχηματισμοί της Προ-Μυγδονιακής ομάδας, από κάτω προς τα επάνω είναι: Σχηματισμός Χρυσαιγής (Ορίζοντας αποσάθρωσης μεταμορφωμένου υποβάθρου, Κροκαλοπαγή, Ψαμμίτες, Αργιλλοψαμμιτικά ιζήματα) ηλικίας τέλους Μέσου Μειόκαινου-Ανώτερου Μειόκαινου, Σχηματισμός Γερακαρούς (Ερυθροστρώματα) ηλικίας Ανώτερου Πλειοκαίνου, Σχηματισμός Πλατανοχωρίου (ποταμολιμναία ιζήματα που επικάθονται ως υπολειμματικές εμφανίσεις στα παλαιότερα ιζήματα) ηλικίας Κατώτερο Πλειστόκαινο (Koufos et al. 1995). Η Μυγδονιακή ομάδα, αποτελείται από ιζήματα που αποτέθηκαν μέσα στη Μυγδονία λεκάνη και έχουν ηλικία ίδια με την ηλικία του σχηματισμού της (Μέσο Πλειστόκαινο-Ολόκαινο). Αποτελούνται από δυο κύριες λιθολογικές ενότητες, μια κατώτερη και μία ανώτερη. Η κατώτερη ενότητα, δημιουργήθηκε στην φάση πλήρωσης της Μυγδονίας λεκάνης και αποτελείται από τα παλαιότερα προς τα νεώτερα εναλλαγές στρωμάτων κροκαλών και άμμου, στρώματα διαβαθμισμένης άμμου, εναλλαγές ιλύος και αργίλου και αργιλικές αποθέσεις. Η ανώτερη λιθολογική ενότητα, δημιουργήθηκε όταν η ελεύθερη στάθμη της λίμνης Μυγδονίας άρχισε να υποχωρεί και αποτελείται από αργιλικά ιζήματα, εναλλαγές ιλύος και άμμου, διαβαθμισμένη άμμο, κροκάλες και άμμους παράκτιας προέλευσης και κατά θέσεις τραβερτινικές αποθέσεις (Ψιλοβίκος, 1977).



Σχήμα 9. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Μυγδονίας λεκάνης (από Koufos et al., 1995).

Κατά τον Μουντράκη (1985), υπάρχει εμφάνιση μολασσικού τύπου ιζημάτων με ηλικία Ηώκαινο-Ολιγόκαινο στην περιοχή του Λαγκαδά. Αυτά σχετίζονται με την Τριτογενή μολάσσα της ζώνης Αξιού η οποία φτάνει μέχρι το περιθώριο της Σερβομακεδονικής, και αποτελούνται από κροκαλοπαγή, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, ψαμμίτες και αργίλους θαλάσσιας, λιμναίας και χερσαίας φάσης.

3) ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στον παρόν κεφάλαιο, περιγράφονται αναλυτικά οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν κατά την εκπόνηση της διατριβής, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την κατάσταση του πυθμένα της λίμνης Κορώνειας όσον αφορά τα ιζηματολογικά και παλαιοπεριβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, τα στάδια που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι εργασίες πεδίου, στις οποίες έγινε συλλογή δειγμάτων από γεώτρηση συνολικού βάθους ~3.5m που ακολουθήθηκαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις.

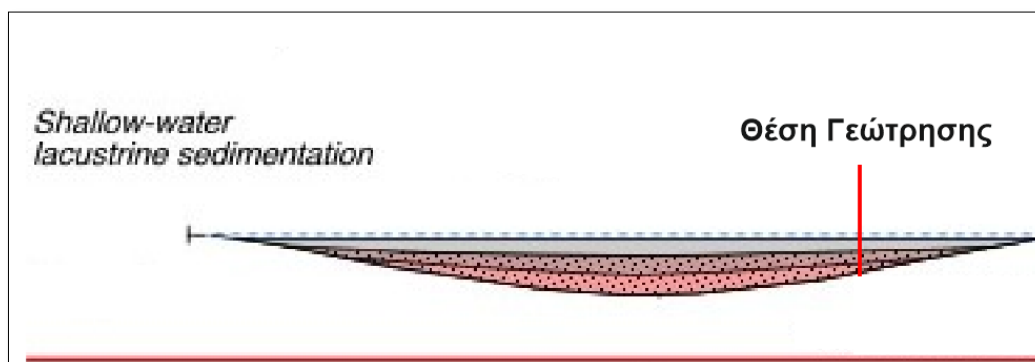
Η διαχείριση των δεδομένων έγινε με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S) και συγκεκριμένα με το λογισμικό ArcGIS, ενώ χρησιμοποιήθηκαν ακόμη: τα λογισμικά Vertical Mapper, Corel και Grapher, δορυφορικές εικόνες από το Google Earth, αρχεία (shapefiles) για την καταγραφή των προστατευόμενων περιοχών από το δίκτυο NATURA 2000, ο τοπογραφικός χάρτης φύλλο Θέρμη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού με κλίμακα 1:50.000 και οι χάρτες του ΙΓΜΕ φύλλα Θέρμη, Λαχανάς και Σοχός, κλίμακας 1:50.000.

3.1) Δειγματοληψία

Η θέση δειγματοληψίας παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον, αφού πραγματοποιήθηκε στο αποξηραμένο τμήμα της λίμνης για εκείνη την εποχή (Οκτώβριος του 2014). Η έκτασή της ήταν η μικρότερη δυνατή, σε σχέση με τις άλλες εποχές του υδρολογικού έτους. Σαφώς, τους επόμενους μήνες το καθεστώς άλλαξε και ο καθρέφτης της λίμνης αυξήθηκε σημαντικά, όπως φαίνεται και από την δορυφορική εικόνα από το Google Earth (9/11/2015) (Σχήμα 11).

Συγκεκριμένα, η θέση της γεώτρησης (Σχήμα 12) βρισκόταν στο επίπεδο τμήμα του πυθμένα της λίμνης, σε απόλυτο υψόμετρο ~71m (Το υψόμετρο αυτό προέκυψε από προσωπική επικοινωνία με τον Φορέα Διαχείρισης Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης, σύμφωνα με χαρτογράφηση ακρίβειας που έγινε από τον ανάδοχο εργολάβο του έργου κατασκευής βαθέως ενδαιτήματος της Κορώνειας, ως τμήμα του αναθεωρημένου 'Master Plan'). Ωστόσο, η θέση αυτή με βάση το χάρτη της Γ.Υ.Σ στο φύλλο της Θέρμης, Μάρτιος 1982, βρίσκεται σε υψόμετρο 69.9m (Σχήμα 13). Η λήψη των συντεταγμένων 40° 41' 45.4" N – 23° 11' 08.8" E πραγματοποιήθηκε με φορητό GPS. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κύριος στόχος όσον αφορά τη θέση δειγματοληψίας, ήταν να υπάρχουν όσο το δυνατόν αμιγώς λιμναία ιζήματα χωρίς

ενδιάμεσες παρεμβολές υλικών από τα δέλτα των ρεμάτων. Έτσι, επιλέχθηκε η θέση στα ΒΑ της λίμνης, όπου μπορούσαν να βρεθούν αποσφηνωμένα όλα τα λιμναία στρώματα ιζημάτων με την ίδια ακριβώς διαδοχή που υπάρχουν και στο κέντρο της λίμνης αλλά με μικρότερο πάχος (Σχήμα 10). Για το λόγο αυτό η θέση αυτή είχε το πλεονέκτημα ότι με μικρότερο μήκος γεώτρησης, συναντώνται περισσότερες εναλλαγές λιμναίων στρωμάτων.



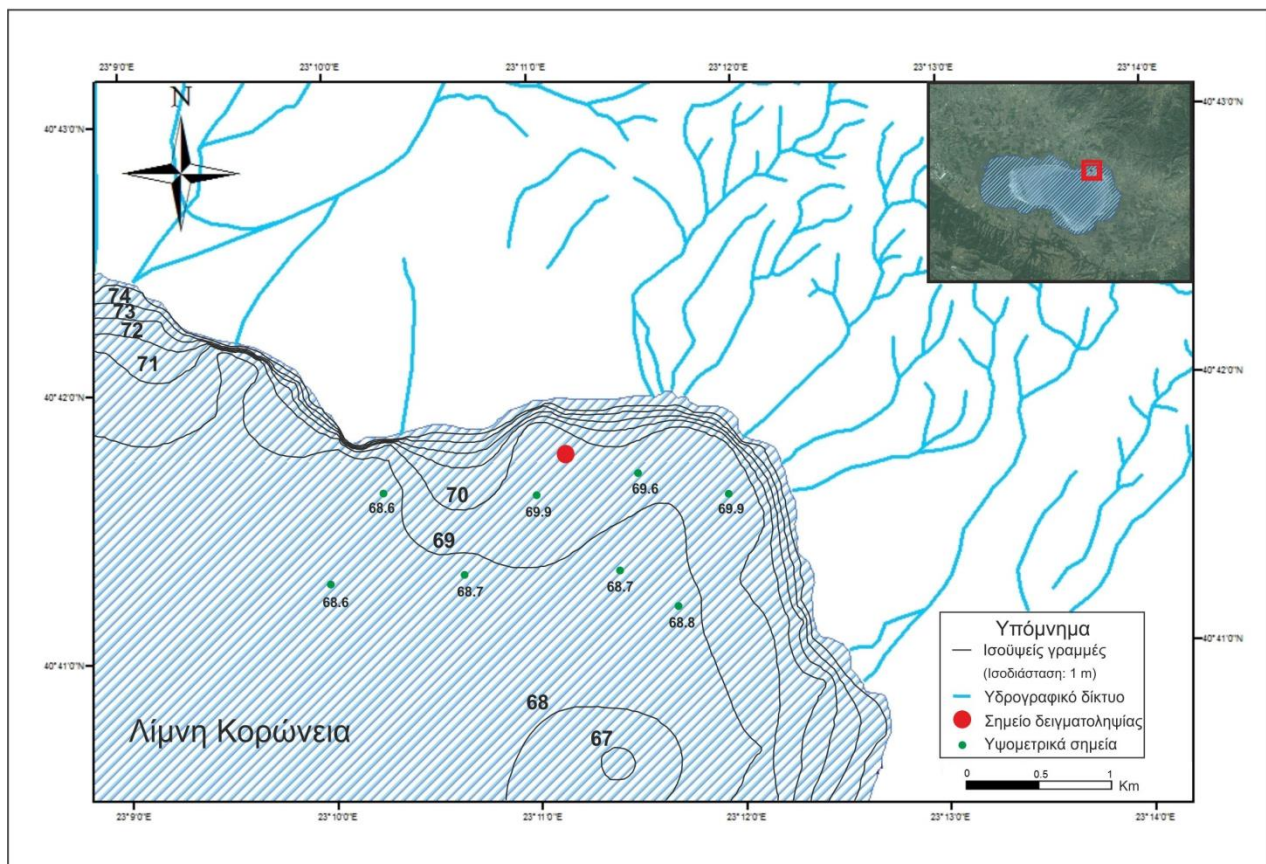
Σχήμα 10. Θέση δειγματοληψίας στα αποσφηνωμένα στρώματα ιζημάτων της λίμνης. Τροποποιημένο σχήμα από Schlische και Anders (1996).



Σχήμα 11. Θέση δειγματοληψίας στη λίμνη Κορώνεια (Δορυφορική Εικόνα Google Earth, 9/11/2015).



Σχήμα 12. Θέση δειγματοληψίας $40^{\circ}41'45.4''\text{N}$, $23^{\circ}11'08.8''\text{E}$, λίμνη Κορώνεια. (Φωτογραφία από τους Α. Αβραμίδης, Κ. Κουκουμάκας, 30/07/2014, <http://www.vice.com/gr/read/limni-korwneia>). Από Doani et al., 2016 (μεταφρασμένο).



Σχήμα 13. Υψομετρικός χάρτης του ΒΑ τμήματος της Κορώνειας, με στοιχεία βασισμένα στο χάρτη της Γ.Υ.Σ (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) 1: 50.000 (φύλλο Θέρμη, Μάρτιος 1982), Επεξεργασία στο ArcGIS, Σύστημα Συντεταγμένων: WGS 1984 UTM, Ζώνη: 34B, Προβολή: Εγκάρσια Μερκατορική. Από Doani et al., 2016 (μεταφρασμένο).

Κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου, παρατηρήθηκαν πολύ μεγάλης έκτασης πηλορωγμές (mudcracks), σε ασυνήθιστο μέγεθος (~50-70cm διάμετρο και ~40-70cm βάθος), στην επιφάνεια των οποίων αναπτυσσόταν βλάστηση και ενδιάμεσά τους παρατηρήθηκε ύπαρξη ποσοτήτων νερού (Σχήμα 14). Η επιφάνεια των mudcracks ήταν αρκετά ξηρή, ώστε ένα άτομο μέσου βάρους να περπατήσει επάνω τους χωρίς να βυθίζεται μέσα στα υποκείμενα υλικά, που απαρτιζόταν από ιδιαίτερα υδαρή αργιλικά και ιλυώδη ιζήματα (λάσπη). Έτσι, υπήρχε περιορισμός όσον αφορά το βάρος του εξοπλισμού δειγματοληψίας, που προφανώς θα ήταν πολύ μεγαλύτερο από το βάρος που μπορούσε να αντέξει η επιφάνεια των mudcracks. Ειδικός εξοπλισμός γεωτρήσεων όπως συσκευή vibracoring αποκλείστηκε, όχι μόνο λόγω των προβλημάτων μεταφοράς, αλλά και καθώς υπήρχε κίνδυνος υδροποίησης των

υποκείμενων υδαρών ιζημάτων εξαιτίας των δονήσεων, διακινδυνεύοντας προσωπικό και εξοπλισμό να βυθιστούν στη λάσπη.



Σχήμα 14. Τα *mudcracks* στην επιφάνεια των οποίων αναπτυσσόταν βλάστηση (10/2014).

Ως εκ τούτου, λόγω των δύσκολων συνθηκών στην περιοχή (φύση του υλικού και προσβασιμότητα), μια ειδική μέθοδος δειγματοληψίας σχεδιάστηκε στον Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα ιζήματα που εισέρχονται σε πυρήνες δειγματοληψίας (ειδικής κατασκευής), προέρχονται **αδιατάρακτα** από **συγκεκριμένο βάθος**. Όπως έχει συμβεί και στο παρελθόν, αρκετοί ερευνητές έχουν δημιουργήσει νέους ή παραλλαγμένους τύπους πυρηνοληπτών ώστε να αντιμετωπίσουν ειδικές ανάγκες (Ali, 1984; Cooper et al., 1991 από Fisher et al., 1992). Έτσι, η ειδική αυτή κατασκευή, βασίστηκε σε συνδυασμό δύο γνωστών μεθόδων πυρηνοληψίας, την συσκευή Shelby tube sampler και την συσκευή Piston Corer sampler. Σύμφωνα με τον Frew (2014), οι δειγματολήπτες τύπου Piston Corer είναι ειδικά σχεδιασμένοι για την εξαγωγή αδιατάρακτων ιζημάτων και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρηχά λιμναία περιβάλλοντα έπειτα από προσαρμογή που έκανε ο Livingstone (1955) στο θαλάσσιο Piston Corer. Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται είναι είτε PVC είτε μεταλλικοί. Συνήθως οι Piston corer samplers έχουν 3.8-15.2cm εσωτερική διάμετρο και 46-305cm μήκος (ASTM International, 1972). Οι Shelby tube samplers αναφέρονται από τους Assaad et al. (2004), ως η πρότυπη πρακτική για να ληφθούν αδιατάρακτοι πυρήνες σε μαλακά ιζήματα, λόγω της χρήσης σωλήνα-δειγματολήπτη με πολύ λεπτά τοιχώματα. Συγκεκριμένα, το τοίχωμα του σωλήνα-δειγματολήπτη πρέπει να είναι λιγότερο από 2.5% της συνολικής εξωτερικής διαμέτρου του και να προσαρμοστεί στο άκρο από ράβδο διάτρησης ώστε να κατέβει στο εσωτερικό της γεώτρησης (Assaad et al., 2004). Οι πιο συχνοί Shelby σωλήνες, είναι μεταλλικοί με 4-6 inches εσωτερική διάμετρο και 24-30 inches μήκος, ενώ σε πιο βαθιές γεωτρήσεις συστήνεται η χρήση 3-inches εσωτερική διάμετρο λόγω της μικρότερης αντίστασης που ασκείται κατά την διείσδυση στο υλικό (Fang, 1991). Ωστόσο, σύμφωνα με τις Mobile Drilling Company, 1988; Acker Drill Company, 1985 (από Assaad et al., 2004) χρησιμοποιούνται Shelby σωλήνες με 5.1cm εσωτερική διάμετρο.

Στην τεχνική που εφαρμόστηκε στην παρούσα διατριβή, έγινε προσπάθεια να τηρηθούν όσο ήταν δυνατόν οι προδιαγραφές από τις γνωστές μεθόδους πυρηνοληψίας αλλά με προσαρμογές ώστε να επιτευχθεί γεώτρηση στις ιδιαίτερες υπαίθριες συνθήκες που περιγράφηκαν παραπάνω. Έτσι, με σκοπό να οδηγηθεί κάθε φορά ο δειγματολήπτης στο κατάλληλο βάθος, κατασκευάστηκαν ειδικοί σωλήνες-οδηγοί, με κλιμακούμενο μήκος και βήμα όσο το μήκος του δειγματολήπτη (0.5 m), (Σχήμα 15). Ο κάθε ένας από αυτούς τους σωλήνες, έχει μια ειδική κεφαλή που σφραγίζει το βαθύτερο άκρο του. Ο σωλήνας-οδηγός πιέζεται με χειρωνακτικό τρόπο και διεισδύει εύκολα στα υδαρή ιζήματα της λίμνης. Όταν φτάσει στο

επιθυμητό βάθος δειγματοληψίας, η κεφαλή απομακρύνεται από την είσοδο του σωλήνα με κατάλληλη μηχανική διάταξη, και το κατώτερο άκρο παραμένει ανοικτό με ελεύθερη πρόσβαση στο ίζημα. Κατόπιν κατεβαίνει ο πυρηνολήπτης (μήκους 0.5 m) υποστηριζόμενος από αρθρωτά μεταλλικά στελέχη και όταν φτάσει στο βάθος του σωλήνα- οδηγού πιέζεται για να εισέλθει στο ίζημα.



Σχήμα 15. PVC σωλήνες-οδηγοί, εξωτερικής διαμέτρου 40mm, με διαφορά μήκους 0.5m. .

Κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας, ωθήθηκαν στον πυθμένα της λίμνης 6 PVC σωλήνες-οδηγοί με εξωτερική διάμετρο 40mm (0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m και 3.0m), με οριζόντια απόσταση 0.5m μεταξύ τους (Σχήμα 16). Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 7 δειγματοληπτικοί σωλήνες, οι 6 για κάθε βάθος από τα παραπάνω, ώστε να επιτευχθεί δειγματοληψία από τα διαστήματα 0.5m-1.0m, 1.0m-1.5m, 1.5m-2.0m, 2.0m-2.5m, 2.5m-3.0m μέχρι 3.0m-3.5m και ένας δειγματολήπτης που χρησιμοποιήθηκε για το δείγμα του επιφανειακού στρώματος (0-0.5m), χωρίς την χρήση σωλήνα-οδηγού (Πίνακας 3-Παράρτημα Ι).



Σχήμα 16. Σωλήνας οδηγός 40mm, βυθισμένος στον πυθμένα της λίμνης, έτοιμος να δεχτεί δειγματολήπτη (10/2014).

Μετά από μερικές δοκιμές πεδίου έγινε αντιληπτό ότι μόνο 0.5m υδαρούς ιζήματος μπορεί να διεισδύσει σε σωλήνα δειγματοληψίας χωρίς ιδιαίτερη παραμόρφωση. Συνεπώς, κατασκευάστηκαν δειγματολήπτες πυρήνα από σωλήνες PVC, εξωτερικής διαμέτρου 32mm, με μια βαλβίδα από ελαστικό φύλλο καουτσούκ να τοποθετείται στο άνω μέρος του σωλήνα, έτσι ώστε ο αέρας να βγαίνει καθώς το ίζημα ωθείται στο εσωτερικό (Σχήμα 17). Η βαλβίδα είναι απαραίτητο να κλείσει τη στιγμή της ανάσυρσης του δειγματολήπτη, ώστε να αποφευχθεί η απώλεια του δείγματος εξαιτίας αναρρόφησης, τεχνική παρόμοια με αυτή που εφαρμόζεται για το Piston Corer.



Σχήμα 17. Κέντρο: δειγματοληπτικοί σωλήνες 32mm πριν και μετά την χρήση. Αριστερά: σωλήνας οδηγός 40mm (10/2014).

Μετά την ανάκτηση, κάθε πυρήνας-δειγματολήπτης, σφραγίστηκε με μεμβράνη έτσι ώστε να μεταφερθεί στο εργαστήριο ιζηματολογίας του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας με ασφάλεια. Κατόπιν οι δειγματοληπτικοί σωλήνες, ανοίχτηκαν, έτσι ώστε να ακολουθήσει η περαιτέρω μελέτη τους. Πραγματοποιήθηκε φωτογράφιση και μία πρώτη οπτική περιγραφή των ιζημάτων ως προς το χρώμα (χρωματική κλίμακα Munsell) και την κοκκομετρία, σε φυσικές συνθήκες υγρασίας. Στη συνέχεια, μικρότερα υπο-δείγματα συλλέχθηκαν κατά συγκεκριμένα διαστήματα, για την ιζηματολογική και μικροπαλαιοντολογική ανάλυση. Στην πλειονότητα των δειγμάτων, η πληρότητα κάθε δειγματολήπτη σε ίζημα ήταν περίπου 70%. Η απώλεια 30% οφειλόταν στις συνθήκες του ιζήματος. Η παρουσία των mudcracks στο κορυφαίο στρώμα ιζήματος και το υλικό που κατέρρεε από την επιφάνειά τους μέσα στις ρωγμές, δημιούργησαν μια κατάσταση συνεχούς ανάδευσης στα υλικά του άνω στρώματος. Ως εκ τούτου, αποφασίστηκε ότι η δειγματοληψία στα 0m-0.50m δεν θα παρείχε αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα, ειδικά για την μικροπαλαιοντολογική ανάλυση. Η μέθοδος, παρά τα μικρά προβλήματα ως προς το ποσοστό της

πληρότητας των δειγματοληπτών σε ίζημα, εξασφαλίζει ότι κάθε δείγμα αντιπροσωπεύει συγκεκριμένα βάθη, κάτω από τους ήδη τοποθετημένους σωλήνες-οδηγούς.

3.2) Εργαστηριακές αναλύσεις

Μετά την δειγματοληψία, ακολούθησε λεπτομερής ανάλυση στο εργαστήριο, στην οποία προσδιορίστηκαν τα ποσοστά της υγρής φάσης (υγρασίας και πτητικών), τα ποσοστά οργανικών, μηχανικές αναλύσεις ιζημάτων με την μέθοδο του κοσκινίσματος την μέθοδο του σιφωνίου (Folk, 1974; Gee and Bauder, 1986; Ψιλοβίκος, 2010) και ταξινόμηση κατά Folk (1974). Έπειτα ακολούθησε η μικροπαλαιοντολογική μελέτη καθώς υπήρχαν ενδείξεις για την ύπαρξη μικροασπόνδυλων οργανισμών μέσα στα ιζήματα της λίμνης.

3.2.1) Ιζηματολογικές αναλύσεις

Υπολογισμός Υγρής Φάσης και Οργανικών

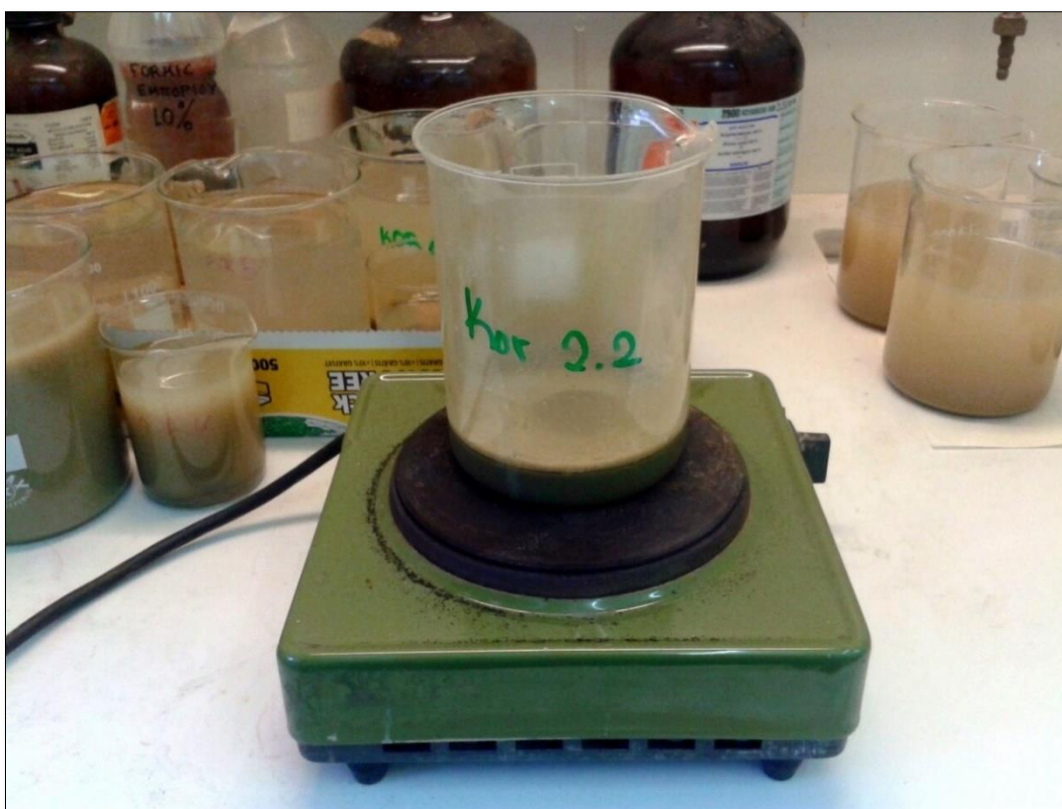
Πριν ξεκινήσει οποιοδήποτε άλλο στάδιο ανάλυσης, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί το ποσοστό της υγρής φάσης (νερό και τυχόν πτητικές ενώσεις) που περιέχει το κάθε δείγμα. Για να μειωθεί το ποσοστό του σφάλματος, ο υπολογισμός πρέπει να γίνει αμέσως μετά την δειγματοληψία, ώστε να μην χαθούν υγρασία και πτητικά μέσω της εξάτμισης. Το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως και αφού ζυγίστηκε σε ζυγαριά ακριβείας, καταγράφηκε το βάρος του. Έπειτα, ξηράνθηκαν όλα τα δείγματα σε φούρνο 90° C (Σχήμα 18) και ζυγίστηκαν ξανά, ώστε να υπολογιστεί το βάρος επί τοις % της υγρής φάσης που περιείχε το κάθε δείγμα και χάθηκε μετά την τοποθέτησή του στον φούρνο.

Τα δείγματα είναι δυνατόν να περιέχουν τυχόν οργανικά υλικά, τα οποία δημιουργούν συσσωμάτωση των κόκκων του ιζήματος. Έτσι, ήταν αναγκαίο να απομακρυνθούν, πριν εφαρμοστεί οποιαδήποτε άλλη μέθοδος ανάλυσης ιζημάτων.



Σχήμα 18. Φούρνος ξήρανσης που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί το βάρος επί τοις % της υγρασίας των ιζημάτων.

Για τον προσδιορισμό της οργανικής ύλης, εφαρμόστηκε η μέθοδος απομάκρυνσης των οργανικών με χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η οργανική ύλη των εδαφών μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα μέσω καύσης (Robinson, 1927). Αν η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη είναι αμελητέα, η κατεργασία με H_2O_2 καλό είναι να μην παραλείπεται, γιατί επιδρά ευνοϊκά στο διαμερισμό των κολλοειδών συστατικών. Για την απομάκρυνση των οργανικών, το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε ξηρή κατάσταση και με γνωστό το βάρος του, σε ποτήρι ζέσεως. Ακολούθως, εμποτίστηκε με μικρή ποσότητα απιονισμένου νερού. Έπειτα, έγινε σταδιακή προσθήκη H_2O_2 (Perhydrol) 30%, μέχρι να σταματήσει η χημική αντίδραση, χαρακτηριστικό της οποίας είναι ο αναβρασμός. Αφού επαναλήφθηκε η διαδικασία αυτή όσες φορές χρειάστηκε, τα δείγματα θερμάνθηκαν σε εστία, με συνεχή ανακίνηση και προσθήκη H_2O_2 (Perhydrol) 30%, για να απομακρυνθούν και τα τελευταία υπολείμματα οργανικών υλικών (Σχήμα 19).



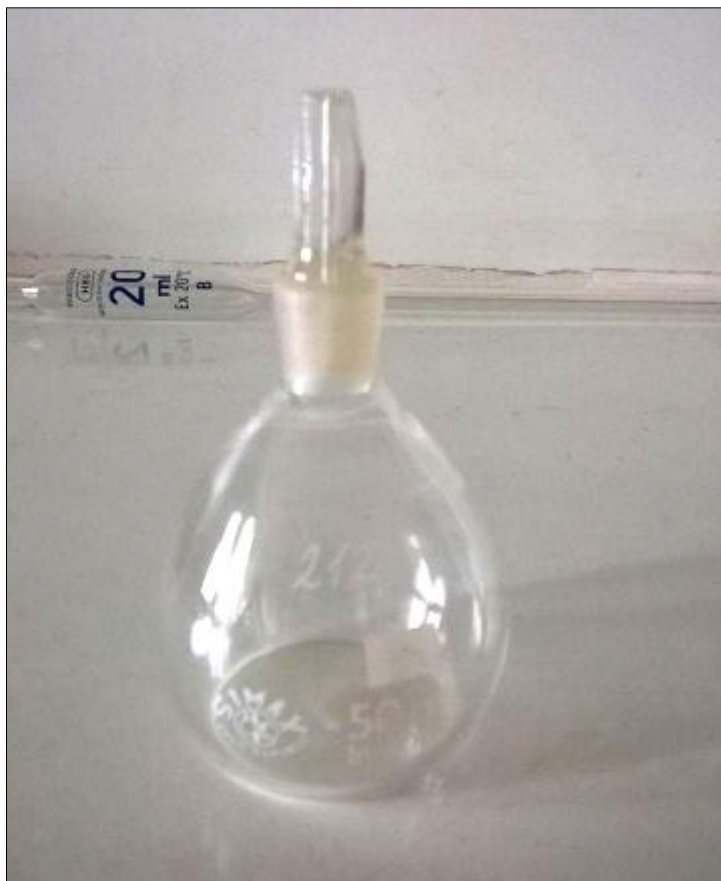
Σχήμα 19. Θέρμανση του υλικού σε εστία για την ολοκλήρωση της διαδικασίας απομάκρυνσης του οργανικού υλικού.

Τέλος, τοποθετήθηκαν τα δείγματα στον φούρνο, ώστε να εξατμιστούν τα υγρά στοιχεία που είχαν απομείνει και ζυγίστηκαν για δεύτερη φορά. Η διαφορά που προκύπτει από το αρχικό και τελικό βάρος, είναι το βάρος των οργανικών, το οποίο έπειτα υπολογίστηκε σε ποσοστό επί τοις %.

Υπολογισμός πυκνότητας-ειδικού βάρους

Η πυκνότητα ενός ιζήματος εξαρτάται από τα ορυκτολογικά συστατικά του, όπως επίσης και από την παρουσία οργανικού υλικού. Είναι γνωστό, ότι το ειδικό βάρος των αργιλοπυριτικών ορυκτών είναι $\gamma_s = 2.6-2.7$ ενώ το ειδικό βάρος της οργανικής ύλης είναι μικρότερο από 1.5 (MacFarlane, 1969). Επίσης κατά τον Skopp (2000) το ειδικό βάρος των ανόργανων εδαφών είναι 2.4-2.9, με πιο αντιπροσωπευτική τιμή το 2.65, η οποία συναντάται στην πλειοψηφία αυτών και συγχρόνως αποτελεί και τη τιμή ειδικού βάρους του χαλαζία.

Για να επαληθευτεί ότι απομακρύνθηκαν τα οργανικά στοιχεία από τα δείγματα, χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση της πυκνότητας των ιζημάτων, εκφραζόμενη ως ειδικό βάρος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της λήκυθου χωρίς θερμόμετρο (Σχήμα 20), (Ψιλοβίκος, 2010).



Σχήμα 20. Λήκυθος χωρίς θερμόμετρο.

Ως εκ τούτου εάν κατά την μέτρηση προκύψει νούμερο περίπου ίσο με $\gamma_s = 2.6-2.7$, **επιβεβαιώνεται** η απώλεια οργανικών. Κατά την μέτρηση του ειδικού βάρους, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Ζυγίστηκε η λήκυθος με κωνικό σώμα όγκου 50cm^3 μαζί με το καπάκι της, σε ζυγαριά ακριβείας Precisa balances XB220A (WA), ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων (Σχήμα 21). Προστέθηκαν 0.4gr δείγματος και η λήκυθος ζυγίστηκε για δεύτερη φορά, μαζί με το καπάκι (WS). Έπειτα, με το υλικό στο εσωτερικό της, τοποθετήθηκε ανοιχτή στον φούρνο (110°C) για 24 ώρες και την επόμενη μέρα τοποθετήθηκε στον αφυγραντήρα. Όταν έφτασε σε θερμοκρασία δωματίου, ζυγίστηκε με το καπάκι της και υπολογίστηκε η υγρασκοπικότητα ως εξής:

$$H = \frac{NS - NDS}{NS - N} * 100\%$$

όπου N: βάρος ληκύθου

NS: βάρος ληκύθου και δείγματος πριν τον φούρνο

NSD: βάρος ληκύθου και δείγματος μετά τον φούρνο



Σχήμα 21. Ζυγαριά ακριβείας που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους.

Μετά τον υπολογισμό της υγροσκοπικότητας, προστέθηκε απιονισμένο νερό στην λήκυθο και το δείγμα ζεστάθηκε σε εστία, παράλληλα με ανακινήσεις ώστε να μην

μείνει παγιδευμένος αέρας στους πόρους του ιζηματος. Αφού ήταν σίγουρο ότι δεν έμεινε καθόλου αέρας, η λήκυθος γεμίστηκε με απιονισμένο νερό και τοποθετήθηκε το καπάκι της για να ακολουθήσει ζύγιση (WSW). Τέλος, αφού ξεπλύθηκε το δείγμα από το εσωτερικό της ληκύθου, αυτή γεμίστηκε ξανά με απιονισμένο νερό και ζυγίστηκε μαζί με το καπάκι της (WW). Υπολογίστηκε το πραγματικό βάρος του υλικού, σύμφωνα με τον τύπο:

$$WS' = (WS - WA) * \frac{(100 - H)}{100}$$

όπου WS: βάρος ληκύθου με το καπάκι και το υλικό

WA: βάρος ληκύθου με το καπάκι

Και τέλος, υπολογίστηκε το ειδικό βάρος του δείγματος (Ψιλοβίκος, 2010), θεωρώντας ότι το ειδικό βάρος του απιονισμένου νερού είναι 1:

$$E.B = \frac{WS'}{WS' - (WSW - WW)}$$

όπου WS: βάρος ληκύθου με το καπάκι και το υλικό

WA: βάρος ληκύθου με το καπάκι

WSW: βάρος ληκύθου με το καπάκι, το υλικό και το απιονισμένο νερό

WW: βάρος ληκύθου με το καπάκι και το απιονισμένο νερό

Η ίδια διαδικασία, επαναλήφθηκε για όλα τα δείγματα της γεώτρησης, ξεχωριστά.

Μηχανική ανάλυση ιζημάτων

Για τον ιζηματολογικό χαρακτηρισμό του πυθμένα της λίμνης Κορώνειας, χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο η μηχανική ανάλυση λεπτόκοκκων υλικών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του σιφωνίου (pipette method), καθώς ήταν προφανές από την μακροσκοπική αλλά και στερεοσκοπική παρατήρηση των δειγμάτων ότι γενικώς πρόκειται για λεπτόκοκκο υλικό μεγέθους ιλύος-αργίλου,

γεγονός που επιβεβαιώθηκε αρχικά με την μέθοδο του κοσκινίσματος (Folk, 1974; Gee and Bauder, 1986; Ψιλοβίκος, 2010).

Σύμφωνα με τους Hartmann (2007) και Cheetham et al. (2008) από Amireh (2014) η μέθοδος του κοσκινίσματος χρησιμοποιείται ευρέως για τον χαρακτηρισμό ιζημάτων κυρίως με μεγέθη του κλάσματος της άμμου και προτιμάται από τους ιζηματολόγους σε σχέση με άλλες καινούριες τεχνικές επειδή είναι ιδιαίτερα απλή. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την πραγματοποίηση κοκκομετρικών αναλύσεων όπως το Coulter Counter, Hydrophotometer, Sedigraph και Laser Diffractometry (McCave and Syvitski, 1991) όμως τα αποτελέσματα από όλες συγκρίνονται με τα αποτελέσματα που δίνουν οι κλασικές μέθοδοι (σιφωνίου και κοσκίνων). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Buurman et al. (2001), η σύγκριση της μεθόδου των κοσκίνων με την μέθοδο της περίθλασης με λέιζερ (laser diffraction), έδειξε ότι το κλάσμα της άμμου υπολογίζεται το ίδιο και με τις δυο μεθόδους. Αντίθετα, η σύγκριση της μεθόδου με λέιζερ σε σχέση με την μέθοδο του σιφωνίου, έδειξε ότι υπάρχουν διαφορές στα αποτελέσματα των μετρήσεων ειδικά στα κλάσματα της αργίλου, όπου εμφανίζονται με μικρότερα ποσοστά όταν υπολογίζονται με Laser Diffraction (Loizeau et al., 1994; Buurman et al., 2001). Η περίθλαση με λέιζερ είναι μια γρήγορη και καλά τεκμηριωμένη μέθοδος για την ανάλυση ιζημάτων, όμως οι διαφορές που έχουν τα αποτελέσματά της σε σχέση με την **κλασική και πιστοποιημένη** μέθοδο του σιφωνίου στα κλάσματα της ιλύος και της αργίλου είναι μια σημαντική αναστολή στην χρήση της (Buurman et al., 2001).

Πριν ξεκινήσει η μηχανική ανάλυση των υλικών, τα δείγματα έπρεπε πρώτα να περάσουν από τα στάδια προετοιμασίας, τα οποία είναι διάλυση των οργανικών και υπολογισμός του E.B, όπως και έγινε. Σε αυτή τη μελέτη, 7 δείγματα από διαφορετικούς ορίζοντες αναλύθηκαν και προσδιορίστηκαν σύμφωνα με την ποσότητα των κλασμάτων: άμμος, ιλύς και άργιλος.

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι ο λόγος που έγινε μια ανάλυση για κάθε δειγματολήπτη, είναι ότι κατά την μεθοδολογία της μηχανικής ανάλυσης λεπτόκοκκων υλικών ή αλλιώς μέθοδο του σιφωνίου (Folk, 1974), απαιτούνται περίπου 15-20gr ξηρού ιζήματος ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος, υλικό που αντιστοιχούσε κατά προσέγγιση στο περιεχόμενο κάθε δειγματολήπτη λόγω της μικρής διαμέτρου τους. Τέλος, ήταν αναγκαίο να μείνει ανέπαφη κάποια ποσότητα δείγματος (δηλαδή χωρίς να γίνει επεξεργασία με προσθήκη H₂O₂ (Perhydrol) 30%), ώστε να πραγματοποιηθεί η μικροπαλαιοντολογική ανάλυση, στην οποία απαγορεύεται το ίζημα να φτάσει μέχρι την πλήρη καύση των οργανικών του ουσιών με H₂O₂ (Perhydrol) διότι καταστρέφονται-αλλοιώνονται και τα κελύφη των μικροασπόνδυλων οργανισμών.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε κόσκινο 0.063mm (4.0φ) για να διαχωριστούν οι κόκκοι της άμμου, όπου αυτοί υπήρχαν, με υγρό κοσκίνισμα (Folk, 1974) και για να επαληθευτεί το συμπέρασμα της μακροσκοπικής και στερεοσκοπικής παρατήρησης ότι πρόκειται κυρίως για λεπτόκοκκο υλικό, μεγέθους ιλύος-αργίλου. Στα δείγματα που το ποσοστό της άμμου σύμφωνα με το υγρό κοσκίνισμα ήταν μεγαλύτερο από 5%, χρησιμοποιήθηκαν και τα κόσκινα με διάμετρο βροχίδων 3.5φ και 3φ (Σχήμα 22) για λεπτομερέστερη ανάλυση και έπειτα εφαρμόστηκε η μέθοδος του σιφωνίου, η οποία είναι κατάλληλη για λεπτόκοκκα υλικά.



Σχήμα 22. Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν για την μηχανική ανάλυση χοντρόκοκκων υλικών με διάμετρο βροχίδων 4φ, 3.5φ και 3φ.

Στα δείγματα που το ποσοστό της άμμου σύμφωνα με το υγρό κοσκίνισμα ήταν μικρότερο από 5%, η διαδικασία συνεχίστηκε με τη χρήση της μεθόδου του σιφωνίου, όπου μετρήθηκε το τοις εκατό κατά βάρος κάθε κλάσματος (Folk, 1974). Η μέθοδος του σιφωνίου βασίζεται στο ότι η ταχύτητα καθίζησης του κάθε κόκκου είναι ανάλογη

με το μέγεθός του. Έτσι, σύμφωνα με χρόνο που γίνεται κάθε φορά η δειγματοληψία, λαμβάνονται οι κόκκοι που αντιστοιχούν στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή λόγω της συγκεκριμένης ταχύτητας καθίζησής τους. Η διαδικασία δειγματοληψίας εξελίχθηκε σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα για σταθερή θερμοκρασία δωματίου 23 °C:

Διάμετρος (mm)	<.625	<.031	<.016	<.0.008	<.004	<.002
Βάθος (cm)	10	10	10	10	5	5
Χρόνος	Sec"	Min'/sec"	Min'/sec"	Min'/sec"	Min'/sec"	Hour:/min'
Θερμοκρασία (°C)						
23	27	1'47"	7'08"	28'34"	57'05"	3:48

Πίνακας 1. Χρόνοι δειγματοληψίας για την μέθοδο σιφωνίου.

Ζυγίστηκαν περίπου 20gr ξηρού υλικού από το κάθε δείγμα και ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία για το κάθε ένα ξεχωριστά: στο δείγμα, προστέθηκε 20ml παράγοντας διασποράς, ή αλλιώς υδατικό διάλυμα εξαμεταφωσφορικού νατρίου (Calgon) περιεκτικότητας 0.015 % w/v, μαζί με μικρή ποσότητα απιονισμένου νερού και τοποθετήθηκε στο μηχάνημα δόνησης για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έπειτα, το μείγμα τοποθετήθηκε σε ογκομετρικό σωλήνα χωρητικότητας 1000ml (Σχήμα 23) και προστέθηκε απιονισμένο νερό μέχρι να πληρωθεί εντελώς. Ανακινήθηκε καλά το περιεχόμενο και με την έναρξη της καθίζησης τέθηκε σε λειτουργία ένα χρονόμετρο, ώστε να πραγματοποιηθούν οι δειγματοληψίες σύμφωνα με τους χρόνους του παραπάνω πίνακα.

Με το τέλος της διαδικασίας, τα επιμέρους δείγματα τοποθετήθηκαν στον φούρνο για ξήρανση, και έπειτα ζυγίστηκαν για να γίνουν οι κατάλληλοι υπολογισμοί. Αφαιρώντας το βάρος του δοχείου και το βάρος του παράγοντα διασποράς από το καθαρό βάρος του κάθε δείγματος, προέκυψαν οι πίνακες που προσδιορίζουν εν τέλει, την κοκκομετρία. Η στατιστική ανάλυση έγινε χρησιμοποιώντας την γραφική μέθοδο, σύμφωνα τους με Shepard (1954), Folk (1956) και Folk et al. (1970). Τα ποσοστά της άμμου, ιλύος και αργίλου απεικονίζονται σε ισόπλευρα τριγωνικά διαγράμματα που σύμφωνα με την USGS, επιτρέπουν την απλή παρουσίαση, ταξινόμηση και τις συγκρίσεις μεταξύ των δειγμάτων (<http://pubs.usgs.gov/of/2000/of00-358/text/chapter1.htm>).



Σχήμα 23. Εφαρμογή της μεθόδου του σιφωνιού.

Επιπροσθέτως, έγινε η Ανθρακοπετρογραφική και Ορυκτολογική εξέταση ενός δείγματος από τον Δρ. Ιωάννη Οικονομόπουλο της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με συνδυασμό διαφόρων μεθόδων. Ο σκοπός αυτής της εξέτασης ήταν η σύγκρισή της με τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής.

3.2.2) Μικροπαλαιοντολογική ανάλυση

Εισαγωγή στα Οστρακώδη

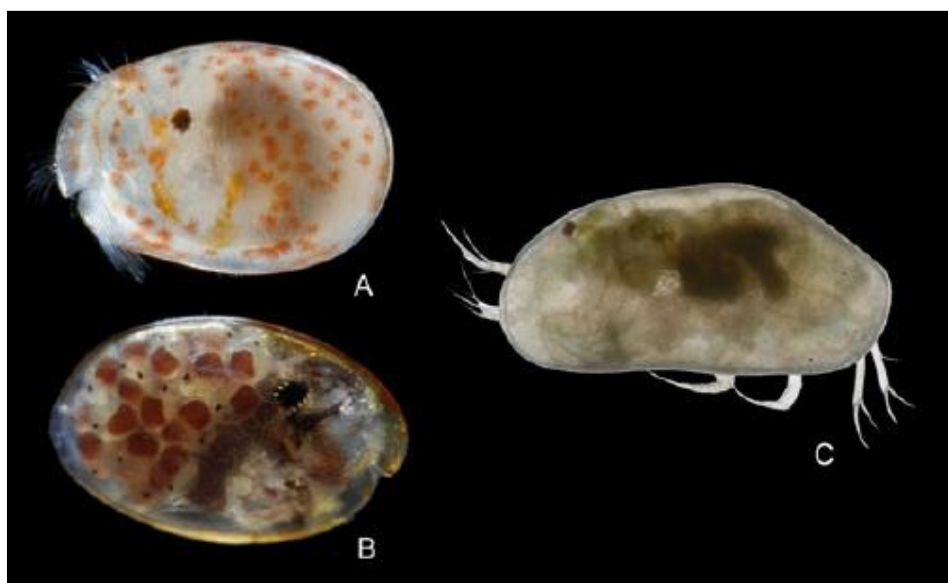
Τα οστρακώδη είναι μικροί πολυκύτταροι υδρόβιοι οργανισμοί, συγκεκριμένα αρθρόποδα, τα οποία μελετώνται με μεθόδους της μικροπαλαιοντολογίας. Ανήκουν στη Συνομοταξία των Αρθροπόδων (Arthropoda: Siebold and Stannius, 1845), στην Ομοταξία των Καρκινοειδών (Crustacea: Brünnich, 1772) και στην Τάξη Οστρακώδη (Ostracoda: Latreille, 1802). Εμφανίζονται από το Κάμβριο μέχρι σήμερα και ζουν σε θαλάσσια, υφάλμυρα περιβάλλοντα έως και γλυκά νερά. Το σώμα τους περικλείεται από όστρακο, το οποίο αποτελείται από ασβεστίτη και μικρή ποσότητα μαγνησίου (Σχήμα 24). Συναντώνται ευρέως σε λίμνες όπου αφήνουν τα κελύφη τους μέσα στα ιζήματα και βρίσκονται ως απολιθώματα (Lowe and Walker, 1987; Athersuch et al., 1989).

Τα περισσότερα είδη οστρακωδών που ζουν σε γλυκά νερά, βρίσκονται είτε στην επιφάνεια του πυθμένα, είτε μέσα στα πρώτα εκατοστά βάθους των ιζημάτων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ύπαρξή τους εκεί, είναι η θερμοκρασία του νερού, η αλατότητα και το βάθος του υδάτινου σώματος (Meisch, 2000). Επίσης οι περισσότερες έρευνες που αναλύουν τις συναθροίσεις οστρακωδών, βασίζονται στις συγκεντρώσεις μέσα στα ιζήματα του πυθμένα, καθώς το υπόστρωμα και η κοκκομετρία του, επηρεάζει την κατανομή και την αφθονία των οστρακωδών (Bonaduce et al., 1975; Ruiz et al., 2006).

Οι συναθροίσεις των ειδών απολιθωμένων οστρακωδών, έχουν χρησιμοποιηθεί για παλαιολιμνολογικές μελέτες (Delorme, 1969; Holmes, 2001; Mischke and Wünnemann, 2006). Συγκεκριμένα, η χημεία του κελύφους τους, χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο από πολλούς ερευνητές, ώστε να ανακατασκευαστούν οι παρελθοντικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας των υδάτων στις λίμνες αλλά και η αλατότητα, παράγοντες που σχετίζονται με τις αλλαγές που συμβαίνουν στο περιφερειακό περιβάλλον των λιμνών (Chivas et al., 1986; Xia et al., 1997; De Deckker et al., 1999; Holmes et al., 2007). Το κέλυφος των οστρακωδών από την ορυκτολογική σκοπιά, αποτελείται από μια σύνθετη διάταξη κρυστάλλων ασβεστίτη με χαμηλή περιεκτικότητα σε Mg, οργανικά συστατικά, χιτίνη και πρωτεΐνες (Bate and East, 1972; Depêche, 1982).

Εκτός από το ασβέστιο, ο κρύσταλλος ασβεστίτη περιλαμβάνει μια σειρά από δευτερεύοντα ιχνοστοιχεία, τα οποία εμφανίζονται να υποκαθιστούν το ασβέστιο. Η συμμετοχή των δευτερευόντων αυτών στοιχείων φαίνεται να συνδέεται με τη θερμοκρασία και την γενικότερη σύνθεση του νερού όπου σχηματίστηκε το κέλυφος.

Κατά συνέπεια, οι μετρήσεις στα δευτερεύοντα στοιχεία των κελυφών έχουν χρησιμοποιηθεί για να ανακατασκευαστεί το παρελθόν, δηλαδή οι συνθήκες του νερού στις λίμνες (Gouramanis and DeDeckker, 2010). Για τον σκοπό αυτό, περισσότερο χρησιμοποιούνται τα στοιχεία Μαγνήσιο (Mg) και Στρόντιο (Sr), γιατί αυτά υπάρχουν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μέσα στα κελύφη σε σχέση άλλα ιχνοστοιχεία (McCulloch and De Deckker, 1989). Η σχέση μεταξύ των χημικών στοιχείων στα κελύφη των οστρακωδών και των περιβαλλοντικών παραγόντων έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών. Σε αυτές κατά κύριο λόγο εξετάζονται οι λόγοι Mg/Ca στα θαλάσσια οστρακώδη, ενώ για υφάλμυρα και γλυκά νερά χρησιμοποιούνται οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca (Horne et al., 2012). Σύμφωνα με τους Holmes και Chivas (2002), Kober et al. (2007), Jin et al. (2011) και πλήθος άλλων ερευνητών, οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca έχουν γίνει σημαντικά εργαλεία για παλαιολιμνολογικές και παλαιοκλιματικές μελέτες.



Σχήμα 24. Γενική άποψη των ζωντανών οστρακωδών. (A, B) *Nekto-benthonicmyodocopids* (*Myodocopa*, *Cypridinoidea*) από υποθαλάσσια σπήλαια της Τενερίφης. (C) Μη θαλάσσια *benthonic podocopid* (*Fabaeformiscandona myllaina* Smith και Kamiya, 2007, *Podocopa*, *Cypridoidea*) από τη λίμνη Biwa (Ιαπωνία) - από Horne et al. (2012).

Εργαστηριακή επεξεργασία δειγμάτων

Προκειμένου να επιτευχθεί η μικροπαλαιοντολογική ανάλυση, λήφθηκαν δείγματα με σπάτουλα από όλο σχεδόν το μήκος του πυρήνα, περίπου ανά 4-5cm ή και πυκνότερα όπου θεωρήθηκε αναγκαίο. Συνολικά, συλλέχθηκαν 37 δείγματα από όλο το μήκος του πυρήνα, από τα οποία 12 επιλέχθηκαν, σε κατάλληλα βάθη, για την μετέπειτα λεπτομερή μικροπαλαιοντολογική μελέτη. Αφού προσδιορίστηκε το ακριβές βάρος του κάθε δείγματος σε ηλεκτρονική ζυγαριά με φυσικές συνθήκες υγρασίας, τοποθετήθηκαν σε φούρνο για ξήρανση, θερμοκρασίας 90°C. Έπειτα τα δείγματα επαναδιαιρέθηκαν σύμφωνα με το βάρος, που έπρεπε να είναι περίπου 7gr επί ξηρού το καθένα. Στην συνέχεια αυτά τοποθετήθηκαν για λίγα λεπτά σε διάλυμα απιονισμένου νερού και υπεροξειδίου του υδρογόνου H₂O₂ (Perhydrol) 30%, ώστε να επιτευχθεί μερική αποσυσσωμάτωση. Κατόπιν υπέστησαν πλύση με φυσικό νερό, σε κόσκινο με διάμετρο οπής 125μm (ώστε να διαχωριστούν μόνο τα ενήλικα άτομα) και τοποθετήθηκαν σε φούρνο χαμηλής θερμοκρασίας (60-70°C) με σκοπό την ξήρανση.

Επεξεργασία Οστρακωδών

Μετά την εργαστηριακή επεξεργασία των δειγμάτων, το κλάσμα ιζήματος >125μm κάθε δείγματος ήταν αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή και επεξεργασία των οστρακωδών. Το κάθε δείγμα διαιρέθηκε σε μικρότερο αντιπροσωπευτικό κλάσμα με την προϋπόθεση όμως να περιέχει αριθμό ατόμων τουλάχιστον ίσο με 300 οστρακώδη. Στην περίπτωση που η συλλογή του απαιτούμενου αριθμού ατόμων δεν ήταν εφικτή, έγινε μελέτη ολόκληρου του δείγματος. Σύμφωνα με τους Dix (2001) και Carnahan (2005), για τα κλάσματα αυτού του μεγέθους, ο συγκεκριμένος αριθμός ατόμων προσφέρει ισορροπία μεταξύ της ακρίβειας και του κόστους των αναλύσεων. Για την συλλογή των ατόμων, χρησιμοποιήθηκε στερεοσκόπιο προσπίπτοντος φωτός (JENA) και πινέλο No 000 καθώς αυτά τοποθετούνταν σε μικροπαλαιοντολογικά πινακίδια Cheler. Τα οστρακώδη συλλέχθηκαν και από τα 12 δείγματα σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω. Επίσης, κελύφη ατόμων με σπασίματα, φθορές και οποιουδήποτε είδους επαναεπεξεργασία δεν υπολογίστηκαν καθόλου και δεν συμπεριλαμβάνονται στην εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Για την λεπτομερέστερη μελέτη και φωτογράφιση των κελυφών, χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης Jeol JSM- 840A της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, εξοπλισμένο με μικρο-αναλυτικό σύστημα ενεργειακής διασποράς ακτίνων X (EDS) INCA. Οι συνθήκες λειτουργίας ήταν: τάση επιτάχυνσης 20 kV και ρεύμα νήματος 45nA. Τα δείγματα επικαλύφθηκαν με άνθρακα, χρησιμοποιώντας ένα μηχάνημα επανθράκωσης Jeol JEE-4X. Από τα

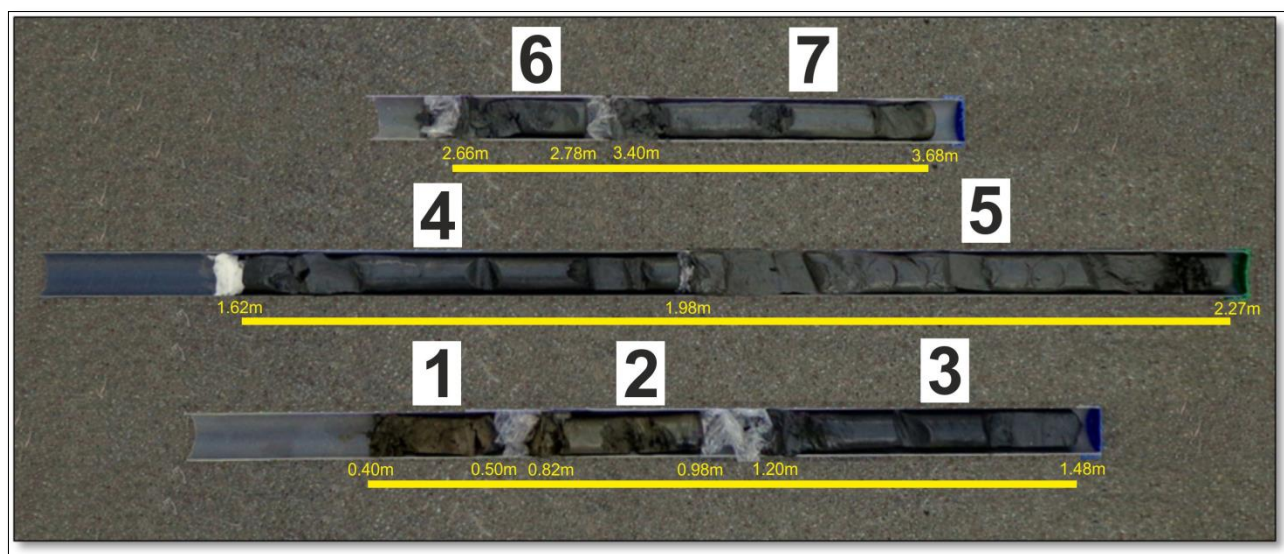
παρασκευάσματα αυτά, προσδιορίστηκαν μέσω του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και οι χημικές συγκεντρώσεις των στοιχείων στα κελύφη των οστρακωδών, εκφρασμένες ως ατομικές αναλογίες (Atomic %), από τις οποίες υπολογίστηκαν οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μόνο από το είδος *Limnocythere inopinata*, καθώς κρίθηκε το πιο αντιπροσωπευτικό είδος με ευρεία εξάπλωση σε όλα τα βάθη της γεώτρησης, ώστε να παραχθεί συνεχής καμπύλη με τις αυξομειώσεις των λόγων Mg/Ca και Sr/Ca.

Η συστηματική ταξινόμηση των οστρακωδών, βασίστηκε στους: Holmes et al. (2002), Horne et al. (2012), Xiangzhong et al. (2010), Mischke et al. (2012), Van Baak et al. (2012) και πλήθος άλλων επιστημονικών άρθρων. Σε κάθε δείγμα συλλέχθηκε και μετρήθηκε το σύνολο της πανίδας οστρακωδών. Στη συνέχεια, οι συναθροίσεις των οστρακωδών υπολογίστηκαν ως σχετική αφθονία. Η πυκνότητα/gr (Density/gr) υπολογίζεται ως ο συνολικός αριθμός των συναθροίσεων οστρακωδών που περιέχονται σε 1gr ξηρού ιζήματος. Επιπλέον, άλλοι δείκτες όπως Taxa (S) και Dominance (D), υπολογίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού Past.exe 1.23 (Hammer et al., 2001). Τέλος, δημιουργήθηκαν διαγράμματα με την βοήθεια του λογισμικού Grapher ώστε να γίνει σύγκριση μεταξύ των δεικτών Taxa_S, Dominance_D, Density/gr, των σχετικών αφθονιών των ειδών *C. neglecta*, *D. stevensoni*, *Heterocypris* spp. και *L. inopinata* καθώς και των λόγων Mg/Ca και Sr/Ca.

4.1) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1.1) ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, στη παρούσα διατριβή αναλύθηκαν 7 δείγματα (Σχήμα 25) από διαφορετικούς ορίζοντες, όπως λήφθηκαν από τη θέση της γεώτρησης.



Σχήμα 25. Οι πυρήνες της γεώτρησης από την επιφάνεια του πυθμένα (Δείγμα 1) έως το βάθος των 3.68m (Δείγμα 7).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις για την υγρή φάση των ιζημάτων, παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά, που κυμαίνονται από ~37.2% έως ~53.63% κατά βάρος σε κάθε δείγμα (Πίνακας 4-Παράρτημα Ι). Συγκεκριμένα, ξεκινώντας από το επιφανειακό δείγμα, η τιμή της είναι ~38.28%. Όσο το βάθος μεγαλώνει, τόσο μεγαλώνουν και οι τιμές της υγρασίας, φτάνοντας στο μέγιστό της στα δείγματα 4 (1.98m-1.62m) ~52.23% και 5 (2.27m-1.98m) ~53.63%. Έπειτα, παρατηρήθηκε μια απότομη πτώση στα ακόμη βαθύτερα στρώματα, όπου συναντώνται οι μικρότερες τιμές, δείγμα 6 (2.78m-2.66m) ~37.2% και δείγμα 7 (3.68m-3.40m) ~38.22%.

Η αναλογία της οργανικής ύλης σε ξηρή κατάσταση που περιέχεται στα ιζήματα, αντιπροσωπεύεται γενικά από τιμές <2% (0.3-1.9%) σε όλα τα δείγματα, με εξαίρεση

το ενδιάμεσο στρώμα (δείγμα 4, 1.98m-1.62m), καθώς περιέχει 4% κατά βάρος οργανικά (Πίνακας 4-Παράρτημα Ι). Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο όπου περιγράφεται λεπτομερώς η μεθοδολογία, ήταν απαραίτητο να επαληθευτεί ότι απομακρύνθηκαν όλα τα οργανικά στοιχεία από τα δείγματα, όχι μόνο προς όφελος της κοκκομετρικής ανάλυσης αλλά και για να πιστοποιηθεί ότι τα ποσοστά οργανικής ύλης σε ξηρή κατάσταση που υπολογίστηκαν ήταν όντως αντιπροσωπευτικά. Ως εκ τούτου, υπολογίστηκε το ειδικό βάρος με την μέθοδο της ληκύθου και προέκυψαν τιμές μεγαλύτερες του 2.6 σε όλα τα δείγματα (Πίνακας 2), δηλαδή ειδικό βάρος ίσο με αυτό των αργιλοπυριτικών ορυκτών. Εφόσον το ειδικό βάρος της οργανικής ύλης είναι μικρότερο από 1.5 (MacFarlane, 1969), αποδεικνύεται ότι τα δείγματα απαλλάχτηκαν από την οργανική τους ύλη και ο υπολογισμός του βάρους της είναι κατά προσέγγιση ορθός.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ
1	0.40-0.50	2.74
2	0.82-0.98	2.76
3	1.20-1.48	2.64
4	1.62-1.98	2.68
5	1.98-2.27	2.75
6	2.66-2.78	2.69
7	3.40-3.68	2.70

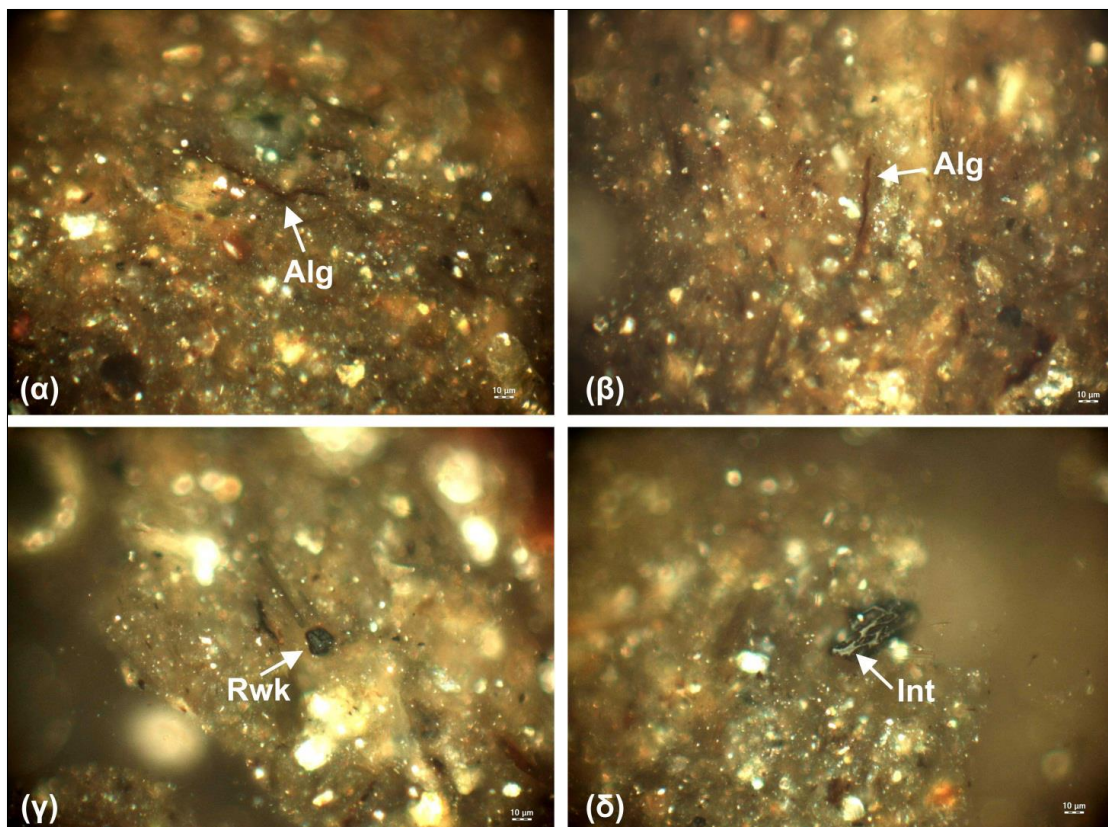
Πίνακας 2. Αποτελέσματα του ειδικού βάρους με την μέθοδο της ληκύθου μετά την εφαρμογή της μεθόδου του υπεροξειδίου του υδρογόνου.

Επιπρόσθετα, με σκοπό να επιβεβαιωθούν τα ευρήματα της διατριβής, εστάλη για Ανθρακοπετρογραφική και Ορυκτολογική εξέταση, ενδεικτικά ένα δείγμα (από βάθος 2.08m-1.98m), στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ανάλυση από τον Δρ. Ιωάννη Οικονομόπουλο).

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα έδειξαν πολύ μικρή περιεκτικότητα οργανικής ύλης και ταυτοποιήθηκαν τα αργιλικά ορυκτά ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης και χλωρίτης, ενώ από μη αργιλικά πυριτικά ορυκτά επικρατούν χαλαζίας και άστριοι. Από την παρατήρηση του δείγματος σε ανθρακοπετρογραφικό μικροσκόπιο, με φακό ελαιοκατάδυσης (50X), προέκυψε ότι το περιεχόμενο οργανικό υλικό συνίσταται κυρίως από λαμινοειδείς πτυχωμένες άλγες (φύκη) (Σχήμα 26, α,β), οι οποίες εμφανίζουν καφετί-κεχριμπαί χρώμα στο λευκό ανακλώμενο φως. Με μικρότερη συμμετοχή παρατηρήθηκαν μικρού μεγέθους θραύσματα χουμινιτιωμένου οργανικού υλικού, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις φέρουν χαρακτηριστικά αλλόχθονης

προέλευσης (reworked organic matter) (Σχήμα 26, γ), όπως επίσης και μικρά θραύσματα ινερτινίτη (οξειδωμένο οργανικό υλικό) (Σχήμα 26, δ).

Από την εφαρμογή της μεθόδου “Virtual Kerogen Assessment” (VKA) για την ποσοτική κατανομή του οργανικού υλικού με χρήση ανθρακοπετρογραφικού μικροσκοπίου, **προέκυψε ότι η περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό, του δείγματος που μελετήθηκε, δεν ξεπερνάει το 2,0% (1,5%-2,0%).**



Σχήμα 26. Μικροφωτογραφίες διαφόρων τύπων οργανικού υλικού σε λευκό ανακλώμενο φως με φακό ελαιοκατάδυσης 50×. α,β– Χαρακτηριστικές λαμινοειδείς καφετί-κεχριμπάρι άλγες (Alg), γ– Μικρού μεγέθους θραύσμα χουμινιτιομένου οργανικού υλικού με χαρακτηριστικά αποστρογγυλωμένα περιθώρια (Rwk), δ– Ινερτινίτης (Int) με χαρακτηριστική δομή κενών κυτταρικών χώρων, (από Δρ. Ιωάννη Οικονομόπουλο, «Ανθρακοπετρογραφική και Ορυκτολογική εξέταση»).

Τα αποτελέσματα της μηχανικής ανάλυσης ιζημάτων, έδειξαν ότι τα δείγματα αποτελούνται κυρίως από ιλύ, άργιλο και μικρά ποσοστά λεπτόκοκκης άμμου (πηλός έως αμμούχος πηλός). Από την στερεοσκοπική εξέταση των κλασμάτων της λεπτής άμμου, προέκυψε ότι σε αυτή περιέχεται σημαντικός αριθμός από κελύφη οστρακωδών (ειδικά στο δείγμα 4 (1.98m-1.62m)). Ακόμη, η στερεοσκοπική εξέταση έδειξε ότι η φάση του κλάσματος της άμμου για το δείγμα 6 (2.78m-2.66m) αποτελείται από πολύ λεπτούς κόκκους μαρμαρυγία και χαλαζία, ενώ το δείγμα 3

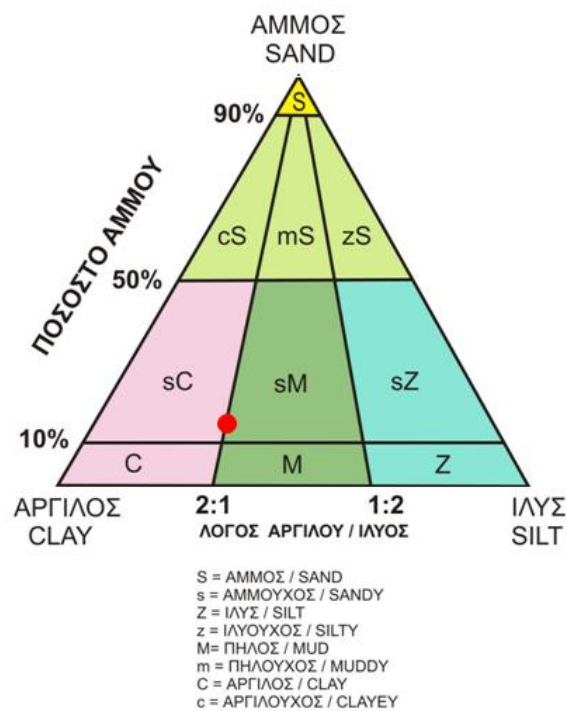
(1.48m-1.20m) αποτελείται μόνο από πολύ λεπτούς κόκκους χαλαζία. Αναλυτικότερα, παρατίθενται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης που έγινε με χρήση της γραφικής μεθόδου, σύμφωνα τους με Shepard (1954), Folk (1956) και Folk et al. (1970). Ο πίνακας 3, παρουσιάζει τις λιθολογικές τάξεις των ιζημάτων κατά Folk et al. (1970).

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
S	αμμώδες
C	αργιλώδες
M	πηλώδες
Z	ιλυώδες
cS	αργιλοαμμώδες
mS	πηλοαμμώδες
zS	ιλοαμμώδες
sC	αμμοαργιλώδες
sM	αμμοπηλώδες
sZ	αμμοίλυδες

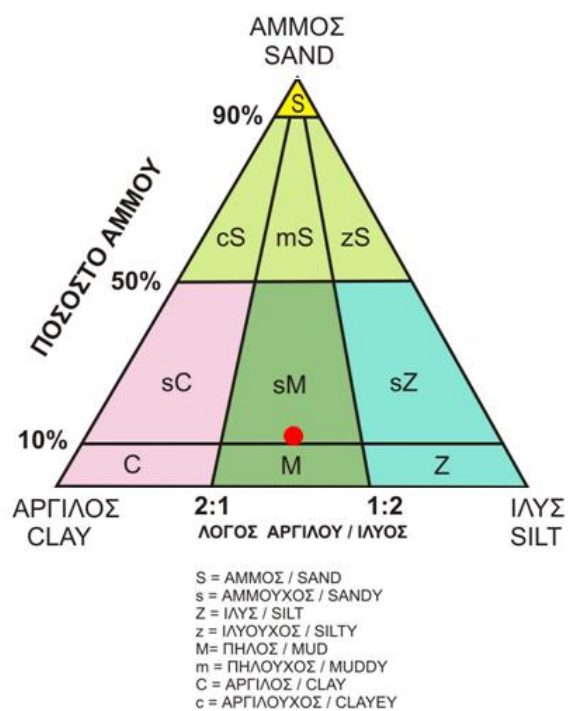
Πίνακας 3. S ή s=sand (άμμος), M ή m=mud (πηλός), Z ή z=silt (ιλύς) και C ή c=clay (άργιλος) (Folk et al., 1970).

Τα ποσοστά της άμμου, ιλύος και αργίλου απεικονίζονται στα παρακάτω ισόπλευρα τριγωνικά διαγράμματα:

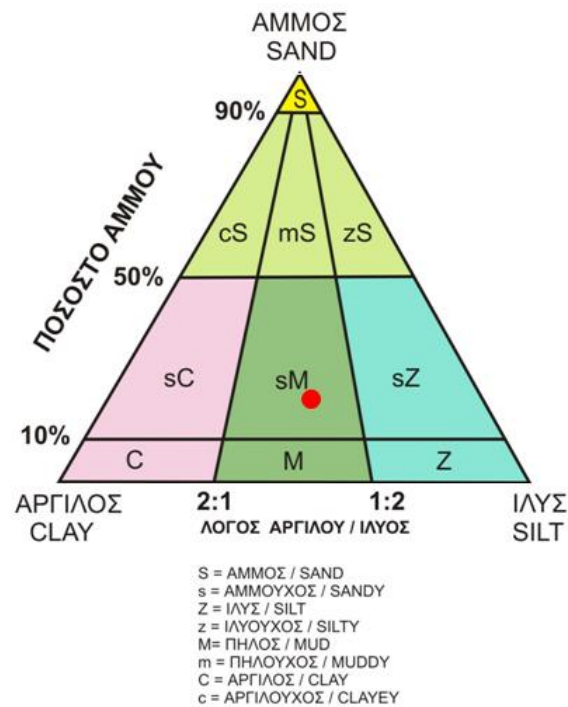
Διάγραμμα 1. Δείγμα 1 (0.50-0.40m): Αμμούχος Πηλός/ Αμμούχος Άργιλος (Sand: 15.4%, Silt: 28.5%, Clay: 56.1%)



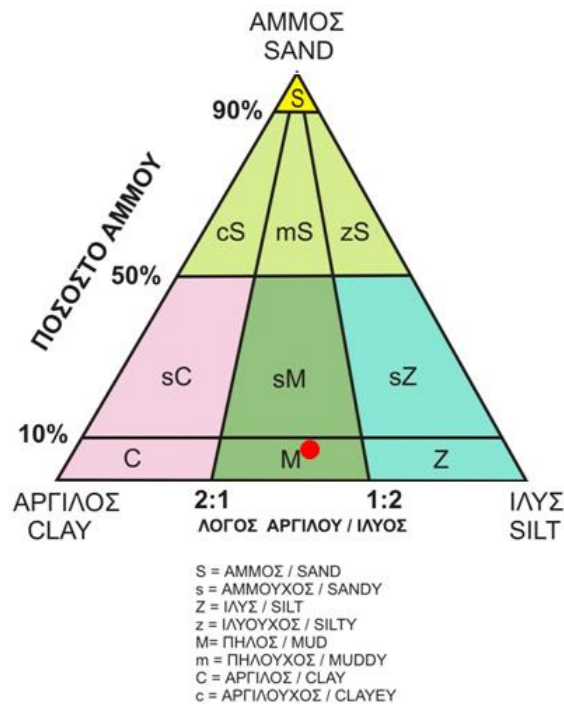
Διάγραμμα 2. Δείγμα 2 (0.98-0.80m): Αμμούχος Πηλός (Sand: 12.5%, Silt: 42.7%, Clay: 44.8%)



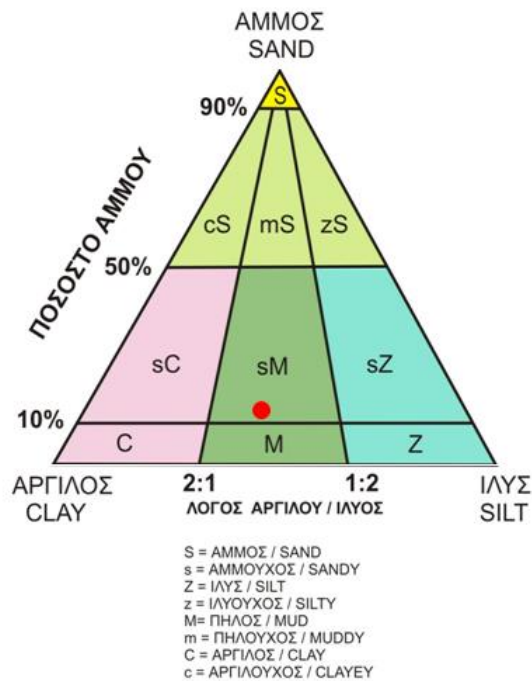
Διάγραμμα 3. Δείγμα 3 (1.48-1.20m): Αμμούχος Πηλός (Sand: 20.4%, Silt: 41.8%, Clay: 37.9%)



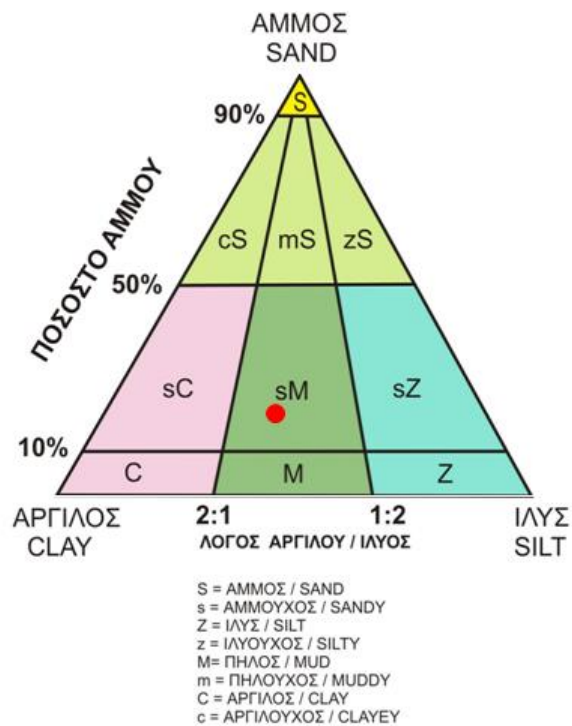
Διάγραμμα 4. Δείγμα 4 (1.98-1.62m): Πηλός (Sand: 7.6%, Silt: 48.4%, Clay: 44%)



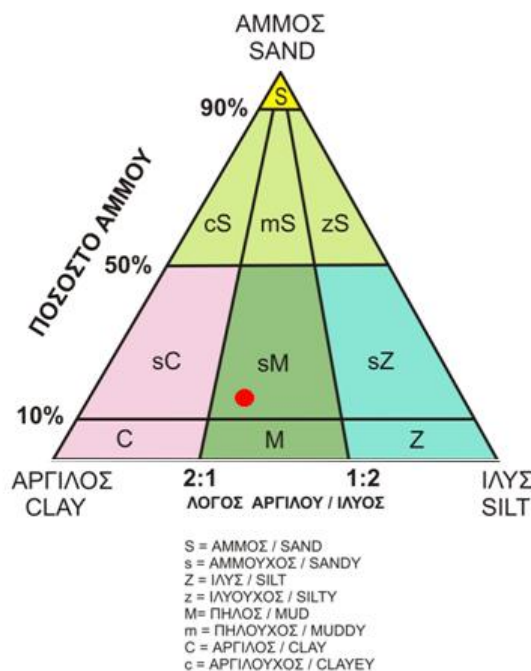
Διάγραμμα 5. Δείγμα 5 (2.27-1.98m): Αμμούχος Πηλός (Sand: 14%, Silt: 39.2%, Clay: 46.8%)



Διάγραμμα 6. Δείγμα 6 (2.78-2.66m): Αμμούχος Πηλός (Sand: 19.6%, Silt: 35.6%, Clay: 44.8%)



Διάγραμμα 7. Δείγμα 7 (3.68-3.40m): Αμμούχος Πηλός (Sand: 16%, Silt: 34.6%, Clay: 49.4%)

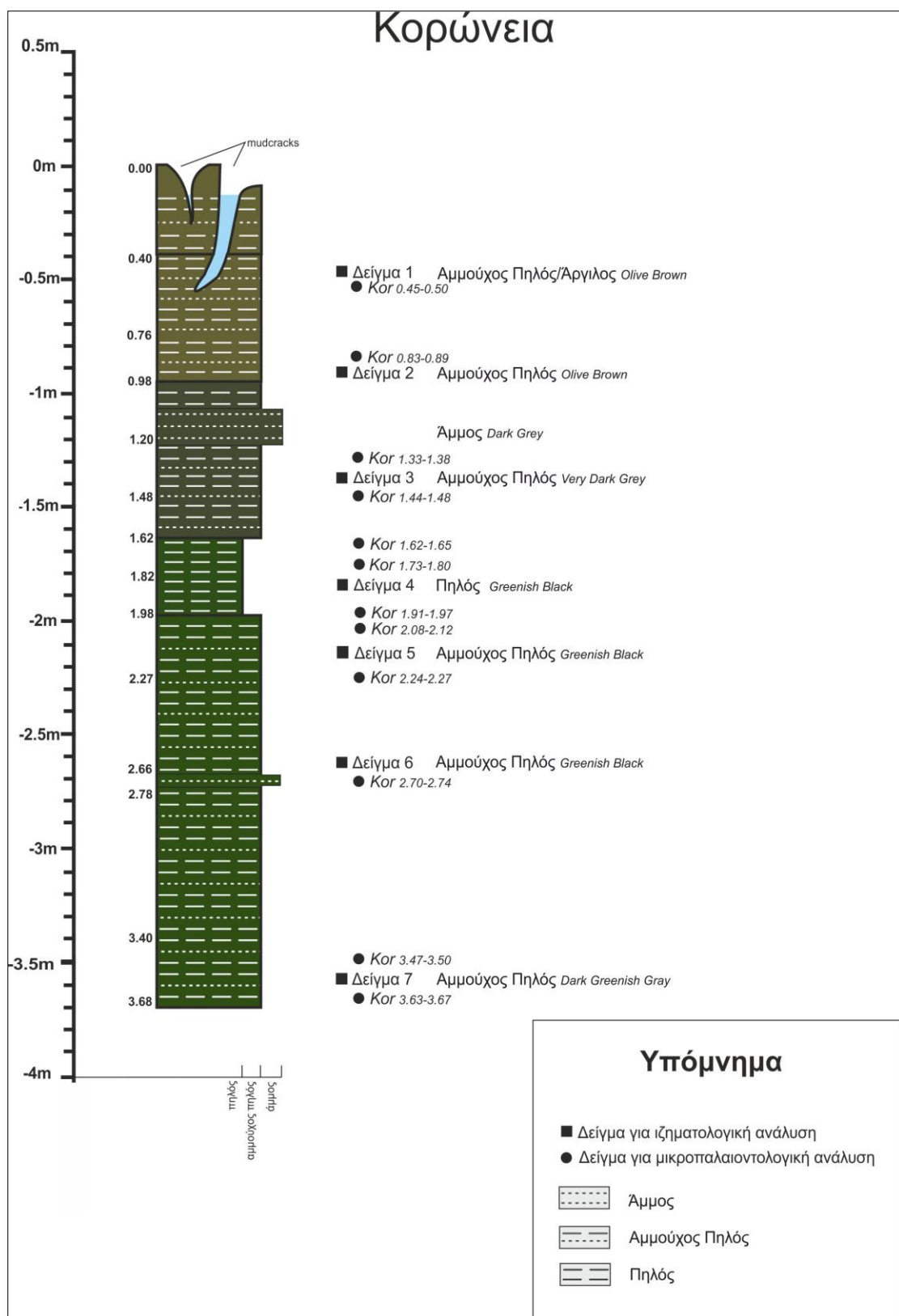


Τα αποτελέσματα της μηχανικής ανάλυσης λεπτόκοκκων υλικών, καθώς και οι παρατηρήσεις από τη φωτογράφιση και την πρώτη οπτική περιγραφή των ιζημάτων ως προς το χρώμα (χρωματική κλίμακα Munsell) χρησιμοποιήθηκαν για να παραχθεί η συνοπτική στήλη με την λιθολογία της γεώτρησης από τη λίμνη Κορώνεια (Σχήμα 27). Όπως φαίνεται στη στήλη, τα ιζήματα μπορούν να χωριστούν σε τέσσερα κύρια ιζηματογενή τμήματα.

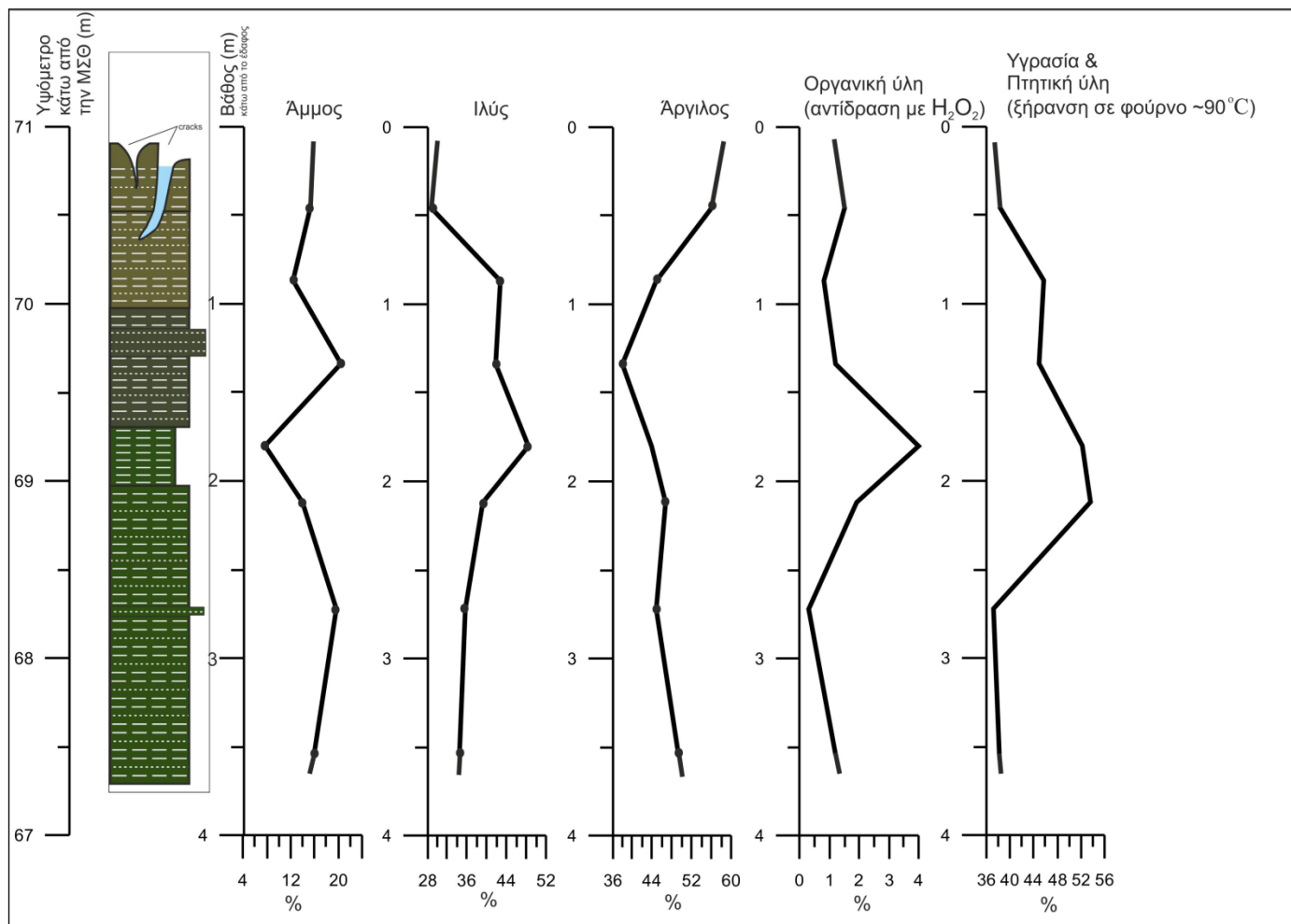
Το κατώτερο τμήμα της γεώτρησης, με βάθη από 3.68m-1.98m χαρακτηρίζεται από ένα πρασινωπό-μαύρο χρώμα (Dark Greenish Gray (10GY-4/1) και Greenish Black (10GY-3/1) κατά Munsell), ομογενή δομή και αποτελείται κατά κύριο λόγο από αμμούχο πηλό που βαθμιαία μεταβάλλεται σε λεπτόκοκκη άμμο και έπειτα ξανά σε αμμούχο πηλό. Το επόμενο τμήμα, με βάθη από 1.98m-1.62m, ιζηματολογικά χαρακτηρίζεται ως πηλός και είναι και αυτό πρασινόμαυρου χρώματος (Greenish Black (10GY-3/1) κατά Munsell). Το τμήμα με βάθη από 1.62m-0.98m χαρακτηρίζεται από ένα σκούρο γκρι χρώμα (Very Dark Grey (3N) κατά Munsell), ομογενή δομή και αποτελείται από αμμούχο πηλό που βαθμιαία μεταβάλλεται σε λεπτόκοκκη άμμο και έπειτα ξανά σε αμμούχο πηλό. Το ανώτερο τμήμα, στα βάθη από 0.98m-0m, χαρακτηρίζεται από καστανό χρώμα (Dark Grayish Brown/Olive Brown (2.5Y-4/2) κατά Munsell) και ιζηματολογικά αποτελείται από αμμούχο πηλό έως αμμούχο

άργιλο. Επιπλέον στην ενότητα αυτή εντοπίζονται τα mudcracks τα οποία βρίσκονται σε κατάσταση πλήρωσης με νερό.

Στη λιθολογική στήλη, φαίνονται επίσης τα σημεία από όπου λήφθηκαν δείγματα για την μικροπαλαιοντολογική ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας εξετάζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο. Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκαν διαγράμματα με τα ποσοστά της άμμου, ιλύος, αργίλου, ξηρής οργανικής ύλης και υγρής φάσης σε σχέση με το βάθος της γεώτρησης, με σκοπό τη μεταξύ τους σύγκριση (Σχήμα 28). Όπως προαναφέρθηκε, η παρουσία των mudcracks στο κορυφαίο στρώμα, δημιούργησε στα υλικά του μια κατάσταση διατάραξης και ανάδευσης. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων με τα ποσοστά της άμμου, ιλύος, αργίλου, ξηρής οργανικής ύλης και υγρής φάσης στα 0.40m-0m δεν μπορούν να χαρακτηριστούν τόσο ως αντιπροσωπευτικά, όσο ως μια γενική ιδέα για την κατάσταση που επικρατούσε στην επιφανειακή περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την οργανική ύλη σε στερεή μορφή, παρατηρήθηκαν συνθήκες οξειδωσης λόγω της επαφής της με τον αέρα. Τα πτητικά και η υγρασία όπως είναι λογικό, είχαν εξατμιστεί κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό, εκτός φυσικά από τα σημεία που υπήρχε νερό, στο εσωτερικό τμήμα των mudcracks.



Σχήμα 27. Λιθολογία της γεώτρησης στη λίμνη Κορώνεια. Από Doani et al., 2016 (μεταφρασμένο).

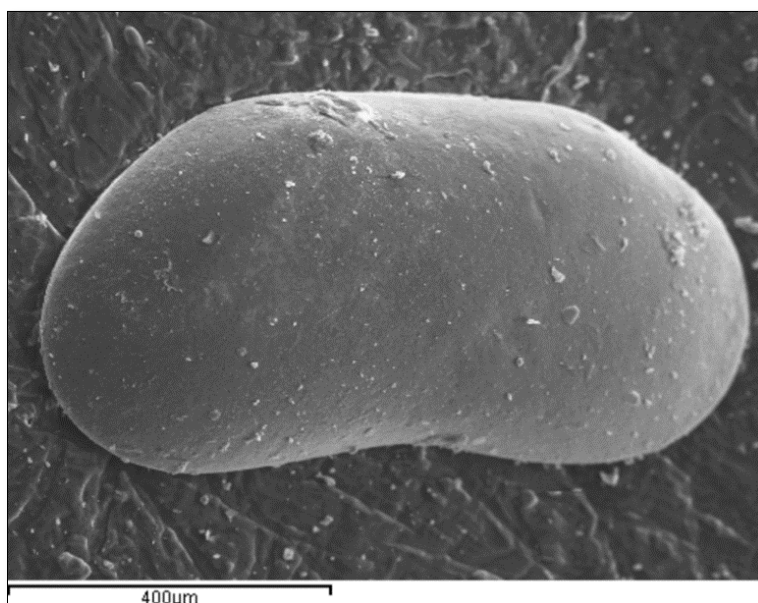


Σχήμα 28. Σύγκριση μεταξύ των ποσοστών της άμμου, ιλύος, αργίλου, ξηρής οργανικής ύλης και υγρασίας και πτητικών. Από Doani et al., 2016 (μεταφρασμένο).

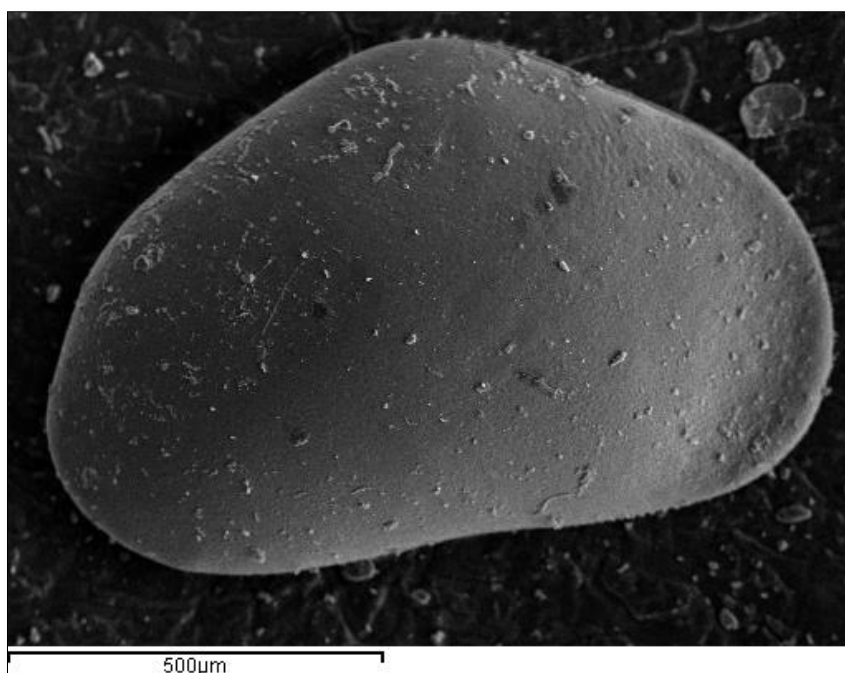
4.1.2) ΜΙΚΡΟΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Για την πραγματοποίηση της μικροπαλαιοντολογικής ανάλυσης, από τη γεώτρηση της Κορώνειας, επιλέχθηκαν 12 δείγματα, από βάθη 0.40m έως 3.68m (Πίνακας 12-Παράρτημα II). Όσον αφορά την ανάλυση της μικροπανίδας, από την ποσοτική μελέτη, συνολικά εντοπίστηκαν 4 είδη οστρακωδών: *Candona neglecta* (Sars, 1887), *Darwinula stevensoni* (Brady and Robertson, 1870), *Heterocypris* spp. (Claus, 1893) και *Limnocythere inopinata* (Baird, 1843), σε καλή κατάσταση διατήρησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το *L. inopinata* είναι το κυρίαρχο είδος και αποτελεί έως και το 100% της πανίδας. Σύμφωνα με τα παραπάνω, στον πυρήνα της γεώτρησης θα μπορούσαν να διακριθούν τρία κύρια μικροπανιδικά τμήματα.

Συγκεκριμένα, στο κατώτερο τμήμα με βάθος 3.68m-2.12m, η πανίδα των οστρακωδών αποτελείται κυρίως από τα είδη *C. neglecta* (Σχήμα 29) και *Heterocypris* spp (Σχήμα 30) (με μέγιστες σχετικές συχνότητες ~56% και ~55% αντίστοιχα), που συνοδεύονται από τα *D. stevensoni* και *L. inopinata* με χαμηλότερες τιμές. Η Πυκνότητα/gr (Density/gr) και η Επικράτηση (Dominance_D) παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές τιμές, ενώ ο δείκτης Taxa_S αποκτά τις υψηλότερες τιμές του (~4) (Σχήμα 36), (Πίνακες 13-14 Παράρτημα II). Ο λόγος Mg/Ca κυμαίνεται από μέγιστη τιμή 0.0476 έως ελάχιστη τιμή 0.0006 (η οποία είναι και η ελάχιστη τιμή για όλο το μήκος της γεώτρησης), ενώ ο λόγος Sr/Ca κυμαίνεται από μέγιστη τιμή 0.0099 έως ελάχιστη τιμή 0.0049 (Σχήμα 35) και (Πίνακας 15- Παράρτημα II).



Σχήμα 29. Το είδος *Candona neglecta*, (Δείγμα Kor 3.47-3.50).

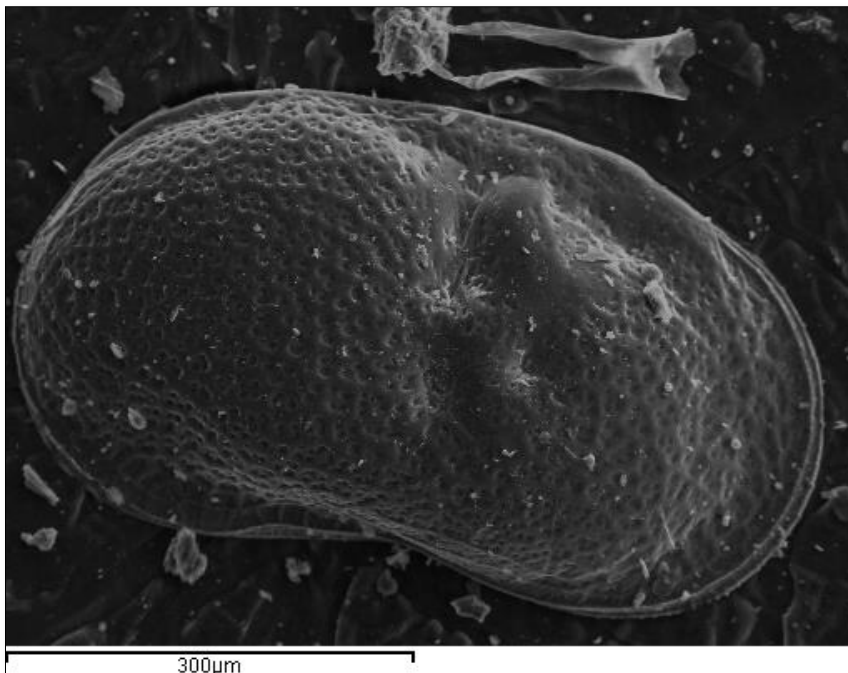


Σχήμα 30. Το είδος *Heterocypris* spp., (Δείγμα Kor 2.24-2.27).

Στο μεσαίο τμήμα με βάθος 2.12m-0.83m, η πανίδα των οστρακωδών αντιπροσωπεύεται αποκλειστικά από το *L. inopinata* (Σχήματα 31 και 32) (με σχετική αφθονία 100% σε όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν). Ο δείκτης Επικράτησης (Dominance_D) αποκτά την υψηλότερη τιμή του (=1), σε σχέση με όλα τα δείγματα, ενώ ο δείκτης Taxa_S την χαμηλότερη (=1). Η πυκνότητα/gr παρουσιάζει σχετικά υψηλές τιμές (1325 άτομα/gr) (Σχήμα 36), (Πίνακες 13-14 Παράρτημα II). Ο λόγος Mg/Ca κυμαίνεται από μέγιστη τιμή 0.0709 (η οποία είναι και η μέγιστη τιμή για όλο το μήκος της γεώτρησης) έως ελάχιστη τιμή 0.0026 ενώ ο λόγος Sr/Ca κυμαίνεται από μέγιστη τιμή 0.0106 (η οποία είναι και η μέγιστη τιμή για όλο το μήκος της γεώτρησης) έως ελάχιστη τιμή 0.0030 (η οποία είναι και η ελάχιστη τιμή για όλο το μήκος της γεώτρησης) (Σχήμα 35) και (Πίνακας 15- Παράρτημα II).

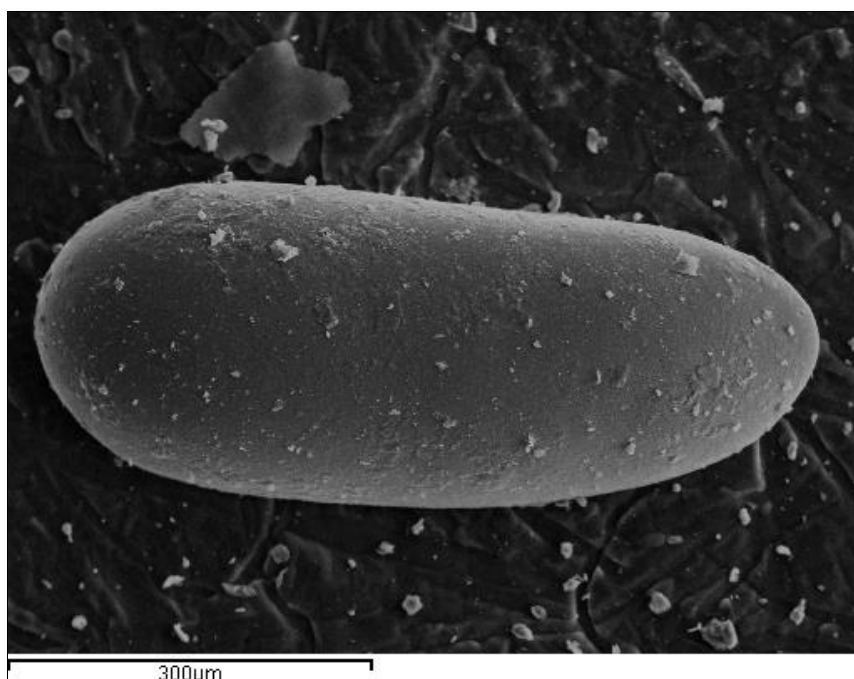


Σχήμα 31 . Το είδος *Limnocythere inopinata*, (Δείγμα Kor 2.08-2.12).

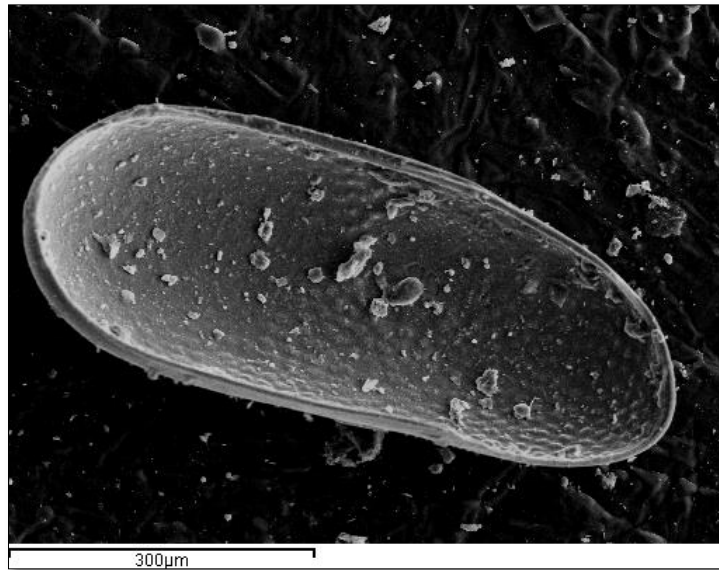


Σχήμα 32. Το είδος *Limnocythere inopinata*, (Δείγμα Kor 0.83-0.89).

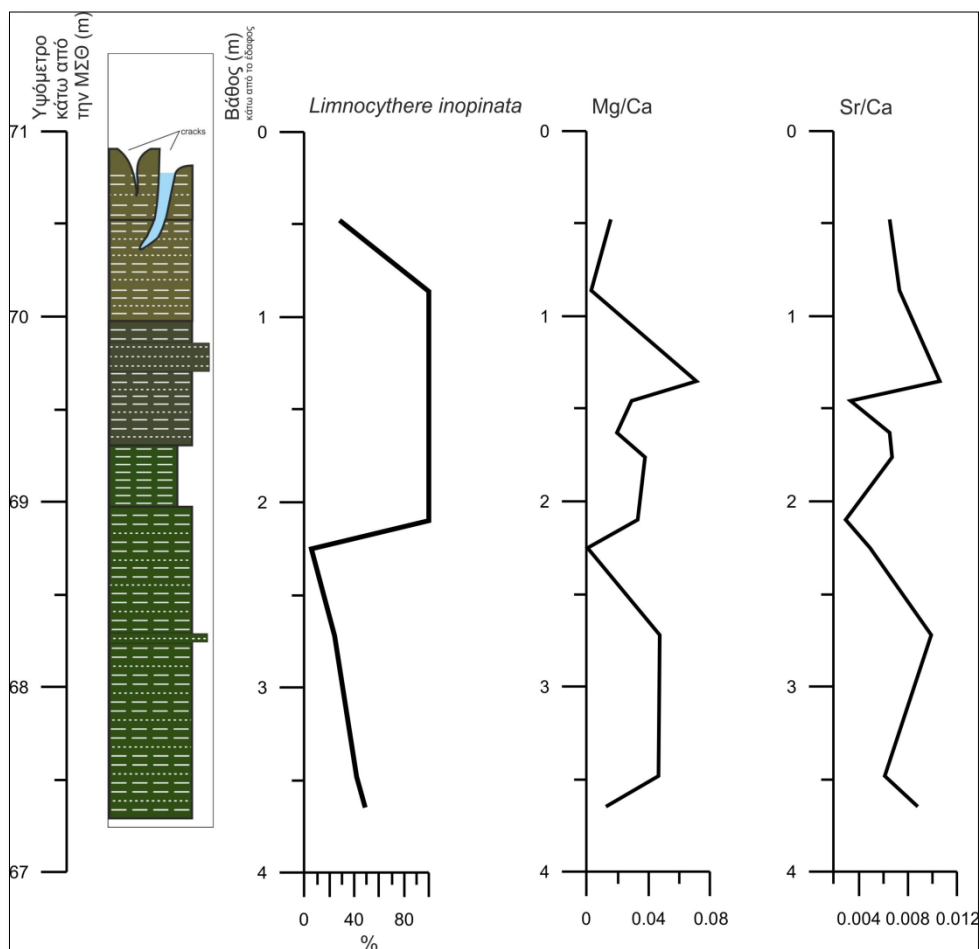
Στο ανώτερο τμήμα της γεώτρησης και σε βάθος 0.83m-0.45m, η σύνθεση της πανίδας αλλάζει και πάλι, καθώς αποτελείται πλέον από 3 είδη. Το είδος *D. stevensoni* (Σχήματα 33 και 34) παρουσιάζεται με υψηλότερες τιμές (~43%), ενώ τα *C. neglecta* και *L. inopinata* ακολουθούν με χαμηλότερες τιμές (και τα δυο με ~28%). Οι δείκτες Density/gr και Dominance_D μειώνονται, ενώ ο δείκτης Taxa_S παρουσιάζει αυξητική τάση (Σχήμα 36), (Πίνακες 13-14 Παράρτημα II). Ο λόγος Mg/Ca έχει τιμή 0.0157 ενώ ο λόγος Sr/Ca τιμή 0.0065 (Σχήμα 35) και (Πίνακας 15- Παράρτημα II).



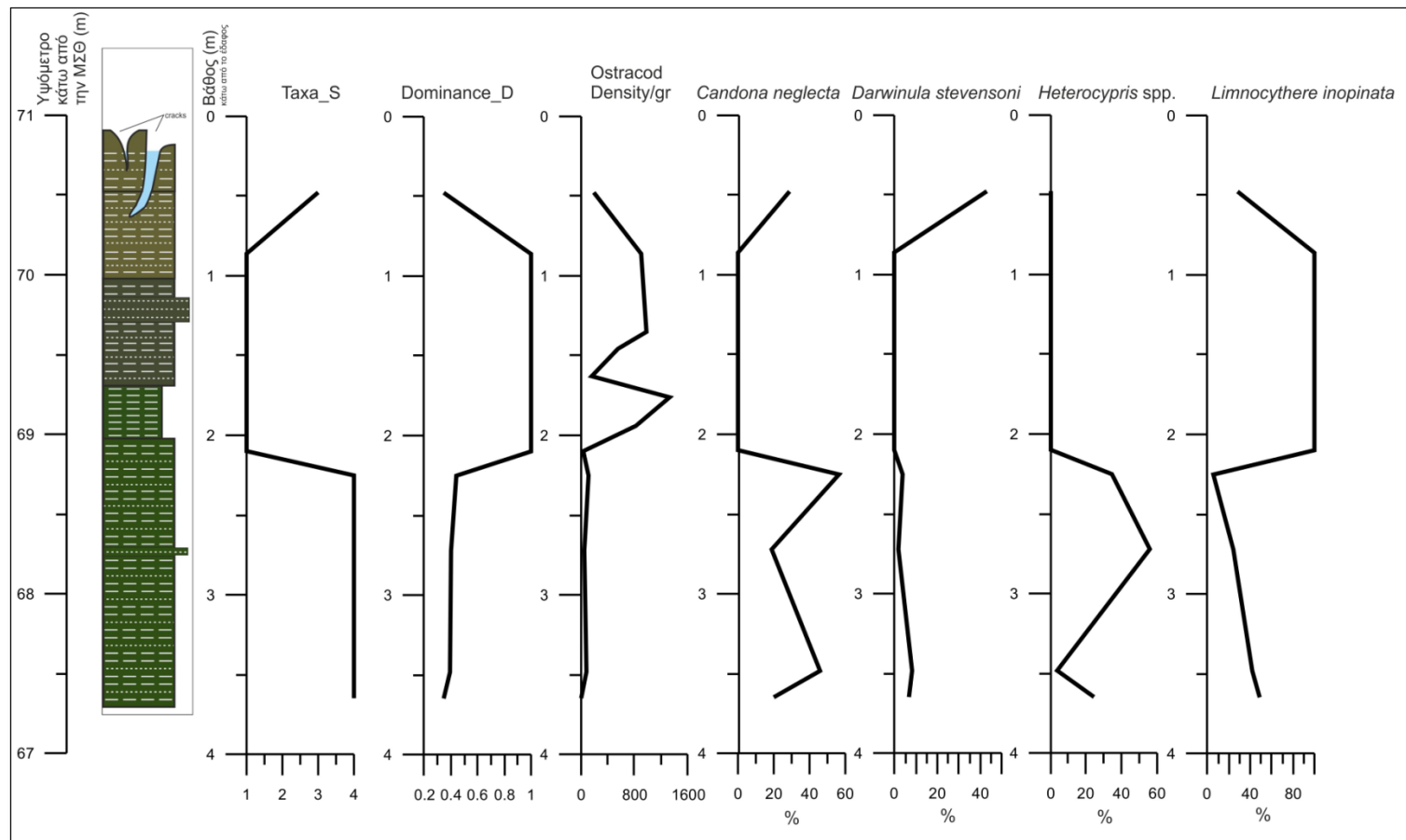
Σχήμα 33. Το είδος *Darwinula stevensoni*, (Δείγμα Kor 0.45-0.50).



Σχήμα 34. Το είδος *Darwinula stevensoni*, (εσωτερική πλευρά), (Δείγμα Kor 0.45-0.50).



Σχήμα 35. Σύγκριση μεταξύ της σχετικής αφθονίας του είδους *L.inopinata* και των λόγων Mg/Ca και Sr/Ca που μετρήθηκαν στα κελύφη του.



Σχήμα 36. Σύγκριση μεταξύ των δεικτών *Taxa_S*, *Dominance_D*, *Density/gr* και οι σχετικές αφθονίες των ειδών *C.neglecta*, *D.stevensoni*, *Heterocypris spp.* και *L.inopinata*. Από Doani et al., 2016 (μεταφρασμένο).

5) ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο πυθμένας της λίμνης Κορώνειας στη θέση όπου πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση, αποτελείται από λεπτόκοκκα ιζήματα, ιλύ, άργιλο και μικρά ποσοστά πολύ λεπτής άμμου (πηλός έως αμμούχος πηλός). Ακόμη, φαίνεται ότι το κλάσμα μεγέθους άμμου, παρότι είναι μικρό, αποτελείται από δύο φάσεις. Η πρώτη είναι αλλόχθονη, ποτάμιας προέλευσης και απαρτίζεται από πολύ λεπτούς κόκκους χαλαζία και μαρμαρυγία, με μεγέθη από 3.5φ έως 4.0φ. Η ύπαρξή τους, δικαιολογείται απόλυτα από την στιγμή που το υδρογραφικό δίκτυο που καταλήγει στην ΒΑ πλευρά της λίμνης, σχετικά κοντά στην θέση δειγματοληψίας, διασχίζει στα ΒΑ της λίμνης και τον σχηματισμό του Βερτίσκου, ο οποίος αποτελείται από διμαρμαρυγιακούς γνευσίους με χαλαζιακές φλέβες κ.α, σύμφωνα με τους χάρτες του ΙΓΜΕ φύλα Θέρμη, Λαχανάς και Σοχός, κλίμακας 1:50.000. Η δεύτερη είναι αυτόχθονη και αποτελείται από κόκκους βιογενούς προέλευσης, δηλαδή τα κελύφη των οστρακωδών, με μεγέθη <3.0φ, τα οποία βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη συγκέντρωση ειδικά σε κάποιους ορίζοντες και πιθανότατα είναι αυτά που κάνουν τον χαρακτηρισμό του ιζήματος από «πηλός» να τείνει προς «αμμούχος πηλός». Τα υλικά αυτά, είναι χαρακτηριστικά ενός τυπικού λιμναίου περιβάλλοντος απόθεσης, χαμηλής ενέργειας (Nichols. 2009) και σε γενικές γραμμές αποδείχτηκε ότι η θέση δέχεται ελάχιστη επίδραση από τους χείμαρρους που καταλήγουν στη λίμνη γεγονός το οποίο αποτέλεσε αρχικό στόχο της παρούσας διατριβής, καθώς κύριο αντικείμενο ενδιαφέροντος ήταν να αναλυθούν τα αμιγώς λιμναία ιζήματα. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της εισαγωγής, από το έτος 1995 και έπειτα, είναι αισθητά τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα με αποτέλεσμα η γενικότερη πορεία της λίμνης αλλά και η στάθμη των υδάτων να είναι συνεχώς πτωτική (Σχήμα 2). Το 2001 η λίμνη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως έλος (Μουζούρη et al., 2002). Από αυτά θα μπορούσε να γίνει η υπόθεση ότι υπάρχει μια σταδιακή αλλαγή του ρυθμού ιζηματογένεσης από το 1995 και μετά καθώς το περιβάλλον ανταποκρίνεται περισσότερο σε ελώδες παρά σε αμιγώς λιμναίο.

Τα ιζήματα της λίμνης φαίνονται να είναι εξαιρετικά υδαρή, αποτελούμενα από μια υγρή και μια στερεή φάση. Η υγρή φάση αντιπροσωπεύεται από μεγάλα ποσοστά, που κυμαίνονται από 37.20% έως 53.63% του συνολικού βάρους του ιζήματος. Εάν η αναλογία βάρους μετατραπεί σε αναλογία όγκου τότε το ξηρό ίζημα (με πυκνότητα-ειδικό βάρος 2.7 κατά μέσο όρο) αντιπροσωπεύει περίπου το 35% έως 24% του συνολικού όγκου του ληφθέντος δείγματος. Αυτό σημαίνει ότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του όγκου του ληφθέντος δείγματος (65%-76%), οφείλεται στο νερό,

το οποίο συγκρατεί τα ιζήματα υπό μορφή κολλοειδών. Επιπρόσθετα, εάν αυτή η σχέση αναχθεί στη στήλη ιζημάτων των ~3.5m όπου έγινε η δειγματοληψία της παρούσας διατρίβης, τότε φαίνεται ότι από τα 3.5m υλικού, περίπου το 65% αποτελείται από νερό, άρα περίπου τα 1.2m από τα 3.5m είναι το ίζημα. Μέσω αυτής της συσχέτισης, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το ~1.5m ανύψωσης στον πυθμένα της λίμνης που διαπιστώθηκε από προηγούμενες έρευνες, δεν είναι στην πραγματικότητα ο όγκος φερτών υλών που καταλήγουν στην λίμνη, ούτε υλικό οργανικής προέλευσης, αλλά υλικό που αποτελείται περίπου από 35% έως 24% με ίζημα και 65%-76% με νερό.

Σύμφωνα με την Χατζηαποστόλου (2009), η μηχανική συμπεριφορά ενός ιζήματος επηρεάζεται από την παρουσία νερού στο εσωτερικό του, ιδιαίτερα όταν αυτό πρόκειται για συνεκτικό και ιδιαίτερα αργιλικής σύστασης, καθώς η αλληλεπίδραση μεταξύ των κόκκων μειώνεται, όσο αυξάνεται το ποσοστό της υγρασίας. Η συμπεριφορά του ιζήματος τείνει να μοιάζει με τη συμπεριφορά των ρευστών που ονομάζονται 'Μη Νευτώνεια ρευστά', όπως είναι για παράδειγμα η υγρή λάσπη (Rieke and Chilingarian, 1974; Ψιλοβίκος, 2010).

Όσον αφορά τα mudcracks που παρατηρήθηκαν στην επιφάνεια του πυθμένα της λίμνης, σύμφωνα με τον Nichols (2009), τα mudcracks δημιουργούνται σε ιζήματα πλούσια σε άργιλο, τα οποία είναι γενικώς συνεκτικά και χαρακτηριστικό τους είναι ότι τα σωματίδια που τα απαρτίζουν κολλούν μεταξύ τους καθώς το νερό εξατμίζεται. Έτσι όταν υπάρχει έκθεση του ιζήματος σε χερσαίες συνθήκες, σχηματίζονται τα mudcracks με μορφή πολυγωνικού σχήματος. Λόγω της ύπαρξης 65%-76% κατ' όγκο νερού στα ιζήματα της Κορώνειας, το οποίο επιφανειακά εξατμίστηκε όταν ο πυθμένας της εκτέθηκε την ατμόσφαιρα, δικαιολογείται και η παρουσία των πολύ μεγάλης έκτασης πηλορωγμών (mudcracks), με ~50-70cm διάμετρο και ~40-70cm βάθος. Με την έκθεση του ιζήματος στον ατμοσφαιρικό αέρα εκτός από τον σχηματισμό των mudcracks, γίνεται και οξείδωση της οργανικής ύλης που περιέχεται σε αυτό. Έτσι, παρατηρήθηκε μεγάλη διαφοροποίηση στο χρώμα του επιφανειακού στρώματος σε σχέση με τα υποκείμενα ιζήματα, από πρασινόμαυρο (Greenish Black κατά Munsell) και σκούρο γκρι (Very Dark Grey κατά Munsell) σε καστανό χρώμα (Olive Brown κατά Munsell). Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε κατάπτωση των τοιχωμάτων των πολυγωνικών «νησίδων» των mudcracks στα ενδιάμεσα κενά των ρωγμών, με αποτέλεσμα την ανάμιξη των υλικών του επιφανειακού στρώματος.

Τα ποσοστά της οργανικής ύλης σε ξηρή κατάσταση που υπολογίστηκαν, κυμαινόταν από 0.3% ως 4%, με επικρατούσες τις τιμές γύρω στο 1.5%. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Louisiana Geological Survey (Kearns and Davison, 1983

από Χατζηαποστόλου, 2009) τα ιζήματα αυτά χαρακτηρίζονται ως **ανόργανα**. Από προσωπική επικοινωνία με στελέχη του Φορέα Διαχείρισης Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης, υπήρχε η εντύπωση ότι τα ποσοστά των οργανικών είναι κατά πολύ μεγαλύτερα. Ωστόσο, με τον υπολογισμό του ειδικού βάρους του ξηρού ιζήματος πριν και μετά την απομάκρυνση των οργανικών ($\rho=2.55-2.67$), όπως αναφέρθηκε και στα αντίστοιχα κεφάλαια, αποδεικνύεται ότι ο προσδιορισμός των ποσοστών οργανικής ύλης σε ξηρή κατάσταση ήταν αντιπροσωπευτικός. Για τα αργιλικά ιζήματα, συνήθως το ειδικό βάρος κυμαίνεται από 2.2 έως 2.9 (Schachtschabel et al, 1992; Rühlmann et al, 2006) ενώ το ειδικό βάρος των ιζημάτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά, εξαρτάται από το βαθμό αποσύνθεσης του οργανικού υλικού και κυμαίνεται από 1.0 έως 1.5 (Hassink, 1995; Ladd et al, 1995; Skopp, 2000; Ellies et al, 2003). Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα αποτελέσματα αυτά **επιβεβαιώνονται** και από την εφαρμογή της μεθόδου “Virtual Kerogen Assessment” (VKA) για την ποσοτική κατανομή του οργανικού υλικού με χρήση ανθρακοπετρογραφικού μικροσκοπίου, από όπου προέκυψε ότι η περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό, του δείγματος που μελετήθηκε, δεν ξεπερνάει το **2,0% (1,5%-2,0%)**.

Τέλος, η αυτόχθονη φάση του κλάσματος μεγέθους άμμου, σύμφωνα με τα είδη οστρακωδών που την απαρτίζουν, δείχνει μια σημαντική εναλλαγή στη σύνθεση της πανίδας η οποία δίνει στοιχεία για τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή. Σε κάθε τύπο περιβάλλοντος κατά τους Holmes et al. (2002), η ύπαρξη των ειδών ρυθμίζεται από ένα ευρύ φάσμα παραγόντων, όπως ο τύπος οικοτόπου, οι σταθερές συνθήκες, το βάθος του νερού, το επίπεδο της ενέργειας, η θερμοκρασία του νερού, η αλατότητα, η παρουσία ή απουσία υδρόβιων μακροφύτων και τέλος του ανταγωνισμού μεταξύ των ειδών.

Συζήτηση για το περιβάλλον σε σχέση με τα είδη οστρακωδών

Το είδος *C. neglecta*, μπορεί να βρεθεί σε γλυκά νερά και μεσόαλα περιβάλλοντα με ρηχό βάθος και χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο (Horne et al., 2012). Σύμφωνα με τον Meisch (2000), το είδος αυτό προτιμά ψυχρά ύδατα και μπορεί μόνο να ανεχθεί προσωρινές αυξήσεις της θερμοκρασίας πάνω από 20°C και διακύμανση αλατότητας από 0.5 έως 16‰. Το γένος *Heterocypris* ζει σε ρηχά υδάτινα σώματα με αργιλώδη υποστρώματα που στερούνται την ύπαρξη μακροφύτων (Meisch, 2000). Σύμφωνα με τον Geiger (1994) και Meisch (2000), το *L. inopinata* μπορεί να ζήσει σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών, από γλυκά ύδατα έως υψηλά αλκαλικές λίμνες και σε όλα τα βάθη. Προτιμά τα υφάλμυρα ύδατα με αγωγιμότητα

$>2000 \mu\text{s cm}^{-1}$ (Mischke et al., 2007) και είναι ανθεκτικό σε αλατότητες ακόμη και μεγαλύτερες από 100‰ (Forester et al., 2005). Το είδος αυτό, προτιμά νερά πλούσια σε μακρόφυτα ειδικά όταν αυτά βρίσκονται στον πυθμένα της λίμνης και ήρεμες συνθήκες νερού από τη στιγμή που δεν είναι σε θέση να κολυμπήσουν (Meisch, 2000). Το είδος *D. stevensoni*, καταδεικνύει υψηλή ανοχή στις υποξικές συνθήκες (Rossi et al., 2002) και είναι ένα είδος που ζει σε ρηχά γλυκά νερά με μέγιστη αφθονία συνήθως σε βάθη 6-7m (Mc Gregor, 1969; Rieradevall and Roca, 1995). Σύμφωνα με τους Forester et al. (2005) και Mezquita et al. (2005), εμφανίζεται συχνά σε νερά με αλατότητα $<1\%$ και τείνει να εξαφανίζεται όταν η αλατότητα γίνεται υψηλότερη.

Συζήτηση για το περιβάλλον σύμφωνα με τους λόγους Mg/Ca και Sr/Ca των κελυφών

Η ερμηνεία των λόγων Mg/Ca και Sr/Ca, για εσωτερικά ύδατα, πηγάζει από την παραδοχή ότι ο λόγος Mg/Ca ανταποκρίνεται στην αλατότητα και την θερμοκρασία του νερού ενώ ο λόγος Sr/Ca αφορά κυρίως την αλατότητα (TDS) (Ito and Forester, 2009). Σύμφωνα με τους Chivas et al. (1986) και De Deckker et al. (1999), για τις λίμνες που βρίσκονται στο εσωτερικό, η θερμοκρασία του νερού έχει μικρή επίδραση στον λόγο Mg/Ca σε σχέση με την αλατότητα του νερού, καθώς επίσης η επίδραση της θερμοκρασίας στον λόγο Sr/Ca είναι σχεδόν αμελητέα. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca για την περίπτωση της γεώτρησης στη λίμνη Κορώνεια μπορούν να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα μόνο σε ότι έχει να κάνει με τη διακύμανση της αλατότητας, η οποία αυτόματα μπορεί να συνδεθεί με τις αυξομειώσεις στο βάθος του νερού. Έτσι, φαίνεται ότι στο ανώτερο τμήμα της γεώτρησης, όπου οι λόγοι έχουν σχετικά χαμηλές τιμές ότι το νερό της λίμνης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως γλυκό ή ελαφρώς υφάλμυρο και το βάθος του ήταν σχετικά υψηλό για τα δεδομένα της λίμνης. Στο μεσαίο τμήμα της γεώτρησης, οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca αποκτούν έντονες διακυμάνσεις και σε κάποιο σημείο παίρνουν την μέγιστη τιμή σε σχέση με όλο το μήκος της, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αλατότητα αποκτά την υψηλότερη τιμή της και μπορεί να συνδεθεί με έντονη πτώση στην στάθμη του νερού της λίμνης. Στο κατώτερο τμήμα της γεώτρησης επικρατεί γενικά μια μέση κατάσταση όσον αφορά τις τιμές των λόγων Mg/Ca και Sr/Ca χωρίς έντονες διακυμάνσεις, γεγονός που υποδεικνύει μια σταθερότητα στο περιβάλλον με μέσες τιμές αλατότητας, άρα υφάλμυρα νερά με σχετικά μικρό βάθος.

Γενική συζήτηση συνδυασμού των αποτελεσμάτων

Στην παρούσα μελέτη, θα μπορούσαν να διακριθούν, συνδυάζοντας τα ιζηματολογικά και μικροπαλαιοντολογικά στοιχεία, 4 ενότητες (Σχήμα 37):

Ενότητα 1 (0.45m-0m): Περιέχει τα ιζήματα που βρίσκονται στη ζώνη των mud mudcracks και χαρακτηρίζονται ως αμμούχος πηλός-πηλός. Επηρεάζονται από τις συνθήκες ανάμιξης που περιγράφηκαν παραπάνω και η επαφή τους με τον αέρα δημιουργεί συνθήκες οξείδωσης.

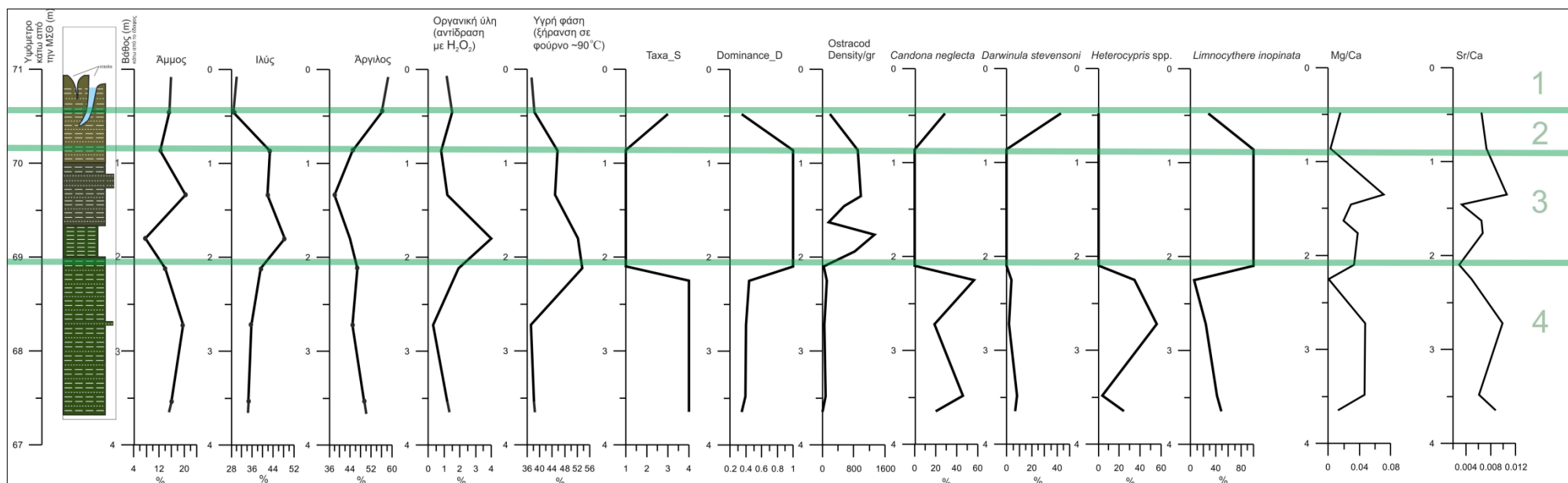
Ενότητα 2 (0.83m-0.45m): Περιέχει ιζήματα που χαρακτηρίζονται ως αμμούχος πηλός, με χαμηλά ποσοστά οργανικής ύλης (1.5%) και περίπου 38% νερό. Η πανίδα των οστρακωδών αποτελείται από *C.neglecta*, *D.stevensoni* και *L.inopinata*. Υποδεικνύει ρηχά ήρεμα νερά, ενδεχομένως με χαμηλό οξυγόνο και υπόστρωμα με κάποια φυτοκάλυψη. Οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca έχουν σχετικά χαμηλές τιμές, επομένως το νερό της λίμνης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως γλυκό ή ελαφρώς υφάλμυρο και το βάθος του σχετικά υψηλό σε σχέση με την προηγούμενη ενότητα. Από όλα τα παραπάνω θα μπορούσε να γίνει η υπόθεση ότι πρόκειται για ένα λιμναίο περιβάλλον απόθεσης.

Ενότητα 3 (2.12m-0.83m): Αυτή η ενότητα περιέχει δύο διακριτές λιθολογικά υπομονάδες (υπομονάδα 3α και 3β), αν και η σύνθεση της πανίδας δεν παρουσιάζει διαφοροποίηση. Η υπομονάδα 3α (2.12m-1.48m), περιέχει ιζήματα που χαρακτηρίζονται ως πηλός, σχετικά υψηλά ποσοστά οργανικής ύλης (4%) και περίπου 53% υγρασία και τυχόν πτητικές ενώσεις. Η υπομονάδα 3β (1.48m-0.83m), περιέχει ιζήματα από άμμο έως αμμούχο πηλό, χαμηλά ποσοστά οργανικής ύλης (0.8%-1.2%) και περίπου 45% νερό. Η πανίδα των οστρακωδών, αποτελείται μόνο από το είδος *L. inopinata* και δηλώνει συνθήκες ήρεμου και εξαιρετικά μικρού βάθους νερού, πλούσιο σε μακρόφυτα (Meisch, 2000). Το εξαιρετικά μικρό βάθος νερού επιβεβαιώνουν και οι λόγοι Mg/Ca και Sr/Ca όπου μέσα σε έντονες διακυμάνσεις, αποκτούν την μέγιστη τιμή τους σε σχέση με όλο το μήκος της γεώτρησης, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αλατότητα αποκτά την υψηλότερη τιμή της. Από όλα τα παραπάνω θα μπορούσε να γίνει η υπόθεση ότι πρόκειται για ένα ελώδες περιβάλλον απόθεσης.

Ενότητα 4 (3.68m-2.12m): Περιέχει ιζήματα που χαρακτηρίζονται ως αμμούχος πηλός, με ποσοστά οργανικής ύλης (0.3% -1.2%). Η υγρή φάση αντιστοιχεί περίπου στο 38%. Η πανίδα των οστρακωδών, παρουσιάζει ποικιλότητα αφού εμφανίζονται και τα 4 είδη *C.neglecta*, *D.stevensoni*, *Heterocypris* spp. και *L.inopinata*. Υποδεικνύει ένα περιβάλλον γλυκού νερού με ρηχό βάθος και αδυναμία καλής οξυγόνωσης. Ακόμη, η πανίδα φανερώνει απουσία ή ελάχιστη κάλυψη από βλάστηση, ενώ επιβεβαιώνει τη λεπτόκοκκη σύσταση του υποστρώματος στο οποίο

προτιμούν να ζουν οι συγκεκριμένοι οργανισμοί. Οι τιμές των λόγων Mg/Ca και Sr/Ca δεν έχουν έντονες διακυμάνσεις, γεγονός που υποδεικνύει μια σταθερότητα στο περιβάλλον με μέσες τιμές αλατότητας. Από όλα τα παραπάνω θα μπορούσε να γίνει η υπόθεση ότι πρόκειται για ένα λιμναίο περιβάλλον απόθεσης.

Συγκεντρωτικά, συνθήκες ρηχών υδάτων επικρατούν στο μεγαλύτερο μέρος της ακολουθίας των ιζημάτων, με κάποια σημαντική διαφοροποίηση στην Ενότητα 3, όπου εμφανίζονται συνθήκες εξαιρετικά αβαθούς νερού. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στην απότομη μείωση του βάθους των υδάτων της λίμνης, έως και αποξήρανσής της σε ορισμένα σημεία. Η πανίδα της Ενότητας 3, αποτελείται μόνο από το είδος *Limnocythere inopinata*, το οποίο ευνοείται από υποστρώματα με παρουσία μακροφύτων (Meisch, 2000), ενώ η σχετική αφθονία των υπόλοιπων ειδών είναι πολύ κακή έως μηδενική. Σύμφωνα με τους Xiangzhong et al. (2010), η ποικιλία των ειδών είναι σχετικά χαμηλή κοντά στις όχθες των λιμνών, λόγω του ότι τα μακρόφυτα είναι άφθονα σε εκείνες τις περιοχές. Αν και το *L. inopinata* παρουσιάζεται σε όλη την ιζηματογενή ακολουθία, η αποκλειστική κυριαρχία του σε αυτή την ενότητα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπήρξε δραματική αλλαγή στην φυτοκάλυψη. Για τη λίμνη Κορώνεια, οι αλλαγές στην κατανομή των μακροφύτων και συγκεκριμένα για τα είδη *Myriophyllum spicatum* και *Phragmites* είναι καλά καταγεγραμμένες τα τελευταία 45 χρόνια και βασίζονται στις αλλαγές της στάθμης του νερού και άλλων παραγόντων (Papastergiadou, 1995; Crisman et al., 2014; Zalidis et al., 2004). Οι επιστημονικές αυτές έρευνες, επιβεβαιώνουν την αλλαγή της βλάστησης που παρατηρήθηκε και από την μελέτη της μικροπανίδας οστρακωδών που βρέθηκε στα ιζήματα της γεώτρησης της παρούσας εργασίας. Στην Ενότητα 2, η σύνθεση της πανίδας διαφοροποιείται και πάλι μέχρι το ανώτερο τμήμα της γεώτρησης, περιλαμβάνοντας περισσότερα από ένα είδη.



Σχήμα 37. Σύγκριση μεταξύ των ποσοστών της άμμου, ιλύος, αργίλου, ξηρής οργανικής ύλης, υγρασίας & πτητικών και των δεικτών *Taxa_S*, *Dominance_D*, *Density/gr* καθώς και των σχετικών αφθονιών των ειδών *C.neglecta*, *D.stevensoni*, *Heterocypris spp.* και *L. inopinata*. Από Doani et al., 2016 (μεταφρασμένο).

6) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα διατριβή είναι τα παρακάτω:

- Τα ιζήματα του πυθμένα της Λίμνης Κορώνειας στη θέση που πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ($40^{\circ} 41' 45.4''$ N – $23^{\circ} 11' 08.8''$ E), αποτελούνται από ιλύ, άργιλο και μικρά ποσοστά πολύ λεπτής άμμου (πηλός προς αμμούχος πηλός). Για τα κλάσματα της άμμου, παρά τη μικρή συμμετοχή τους στο σύνολο των δειγμάτων, διακρίνονται 2 φάσεις. Η αλλόχθονη άμμος ποτάμιας προέλευσης, η οποία είναι πολύ λεπτή, μεγέθους 3.5-4φ και τα αυτόχθονα βιογενή κλάσματα άμμου, από 3-3.5φ και μικρότερα (εξαιτίας των οποίων ο χαρακτηρισμός τείνει από πηλός προς αμμούχος πηλός). Παρ' όλα αυτά, τα κλαστικά ιζήματα του πυθμένα της λίμνης είναι χαρακτηριστικά λιμναίου περιβάλλοντος απόθεσης, χαμηλής ενέργειας.
- Στην θέση δειγματοληψίας, δεν φτάνουν υλικά με μέγεθος μεγαλύτερο από 3φ που θα μπορούσαν να μεταφέρονται από το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης.
- Τα ιζήματα της λίμνης είναι εξαιρετικά υδαρή. Η υγρή φάση έχει μεγάλη συμμετοχή, με ποσοστά από 38.28% έως 53.63% του συνολικού βάρους του ιζήματος.
- Αν τα ποσοστά αυτά κατά βάρος, μετατραπούν σε ποσοστά συμμετοχής κατ' όγκο, φαίνεται ότι στην γεώτρησης με 3.5m βάθος, περίπου το 65% του όγκου αποτελείται από νερό, άρα από τα 3.5m της στήλης της γεώτρησης περίπου τα 1.2m αντιστοιχούν στο ύψος της στήλης του συμπαγούς ιζήματος.
- Η συμπεριφορά του ιζήματος του πυθμένα της Λίμνης Κορώνειας, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν αυτή των Μη Νευτώνειων ρευστών, εφόσον πρόκειται για μια υγρή λάσπη.
- Κατά την έκθεση του ιζήματος της λίμνης σε χερσαίες συνθήκες, σχηματίζονται mudcracks πολυγωνικού σχήματος με ~50-70cm διάμετρο και ~40-70cm βάθος. Εξαιτίας της σταδιακής κατάπτωσης των επιφανειακών τμημάτων του ιζήματος μέσα στις ρωγμές, μπορεί να θεωρηθεί ότι ολόκληρο το επιφανειακό ίζημα, μέχρι του βάθους των πηλορωγμών, αποτελεί ένα αναμεμιγμένο στρώμα.

- Η περιεκτικότητα των ιζημάτων σε οργανικό υλικό είναι γενικά μικρή, και στα περισσότερα δείγματα δεν ξεπερνάει το 2% κατά βάρος, ενώ η μεγαλύτερη τιμή που συναντάται είναι 4%.
- Η πανίδα των οστρακωδών, βρέθηκε να αποτελείται από τέσσερα είδη: *Candona neglecta*, *Darwinula stevensoni*, *Heterocypris* spp. και *Limnocythere inopinata*. Παρατηρείται εναλλαγή στη σύνθεση των ειδών κατά βάθος, καθώς στο κατώτερο τμήμα της γεώτρησης εμφανίζονται όλα τα παρατηρηθέντα είδη, στο ενδιάμεσο τμήμα (2.12m-0.83m), εμφανίζεται μόνο το *L. inopinata* και τέλος στο ανώτερο τμήμα των ιζημάτων η σύνθεση της πανίδας είναι και πάλι διαφοροποιημένη.
- Η σύνθεση της πανίδας των οστρακωδών σε συνδυασμό με την στοιχειακή ανάλυση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο Jeol JSM- 840A πιστοποιούν μια δραματική αλλαγή στη χλωρίδα, υποδηλώνοντας την έντονη παρουσία μακροφύτων η οποία σχετίζεται με αλλαγή στο βάθος των υδάτων της λίμνης. Η κατάσταση αυτή εμφανίζεται από τα 2 ως τα 0.8 περίπου μέτρα βάθος ιζήματος.
- Συνδυάζοντας τα παραπάνω συμπεράσματα: αν το διάστημα 2m-0m, (στο οποίο πιστοποιήθηκε η αρχή της δραματικής αλλαγής στην χλωρίδα και σχετίζεται με αλλαγή στο βάθος των υδάτων της λίμνης), μετατραπεί μέσω του όγκου σε ύψος στήλης συμπαγούς ιζήματος, τότε προκύπτει ότι από τα 2 μέτρα υλικού, τα 0.62 μέτρα αντιστοιχούν σε συμπαγές ίζημα. Επομένως, θα μπορούσε χοντρικά να γίνει η υπόθεση ότι η ιζηματογένεση στην περιοχή από την στιγμή που άρχισαν τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα έως και σήμερα είναι 0.62m.

Τέλος, θα μπορούσε μελλοντικά να γίνει η μελέτη των δέλτα που σχηματίζονται από τα ρέματα που καταλήγουν στη λίμνη για να εξαχθούν συμπεράσματα και για την παλαιογεωμορφολογία της περιοχής καθώς και να πραγματοποιηθεί μια δεύτερη συγκριτική γεώτρηση στο κέντρο της λίμνης. Ακόμη, θα μπορούσαν μελλοντικά να γίνουν χρονολογήσεις στα κελύφη των οστρακωδών με σκοπό την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων όσον αφορά τον ρυθμό ιζηματογένεσης και να επιτευχθεί μείωση του όγκου των ιζημάτων της λίμνης με *in situ* μεθόδους αρκεί να περιοριστεί η υγρή φάση των ιζημάτων.

7) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

i. Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ζαλίδης, Γ.Χ., Τακαβάκογλου, Β., Αλεξανδρίδης, Θ., 2004. Αναθεωρημένο σχέδιο αποκατάστασης της Λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωπονίας. Εργαστήριο Εφαρμοσμένη Εδαφολογίας. σελ.236+Παραρτήματα.
- Ι.Γ.Μ.Ε., 1978β, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Θέρμη, Κλίμακα 1:50.000, Αθήνα. Σαπουντζής Η., 1969.
- ΚΥΑ 126439/2456/2003 (ΦΕΚ 894Β/3-7-2003).
- ΚΥΑ 58481/2012 (ΦΕΚ 3159/β/27-11-2012).
- ΚΥΑ 6919/11-2004 (ΦΕΚ248/Α/05-03-04).
- Μουζούρη, Γ., Αλμπανάκης, Κ., Ψιλοβίκος, Αρ., Βουβαλίδης, Κ., Μαργώνη, Σ., 2002. Το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής της λίμνης Κορώνειας και η επίδρασή του στην εξέλιξη των μορφομετρικών χαρακτηριστικών της. 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη.
- Μουντράκης, Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μουντράκης, Δ., 2010. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Νομοθετικό διάταγμα 191/1974 (ΦΕΚ 350/Α'/20.11.1974).
- Νόμος 1739/87 - ΦΕΚ 201Β/20-11-1987
- Οδηγία 79/409/ΕΟΚ.
- Οδηγία 92/43/ΕΟΚ.
- Τζιμόπουλος, Χ., κ.ά. 2004: Επιχειρησιακό Σχέδιο Αποκατάστασης της Λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης. Ερευνητικό Έργο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Α.Π.Θ.
- Χατζηαποστόλου, Α., 2009. Γεωλογικές – εδαφολογικές παράμετροι της αποξηραμένης Λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων. Διδ. διατρ. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Ψιλοβίκος, Α., 1977. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά-Βόλβης). Διδ. διατρ. Φ.Μ.Σ. Α.Π.Θ.
- Ψιλοβίκος, Α., 2010. «Ιζηματολογία». Εκδόσεις Τζιόλα. Σελ.288-304.

ii. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Ali, A., 1984. A simple and efficient sediment corer for shallow lakes. J. Envir. Qual. 13: 63-66.
- Amireh, B. S., 2014. Grain size analysis of the Lower Cambrian Lower Cretaceous clastic sequence of Jordan: Sedimentological and paleo-hydrodynamical implications. Journal of Asian Earth Sciences 97 (2015), 67–88.
- Assaad, F.A., LaMoreaux, J.W., Hughes, T., 2004. Field Methods for Geologists and Hydrogeologists. Springer Science & Business Media, p. 105-107.
- ASTM International, 1971. Underwater Soil Sampling, Testing and Construction Control. A symposium presented at the 74th Annual Meeting of American Society For Testing And Materials, Atlantic City, N. J.
- Athersuch, J., Horne, D.J., Whittaker, J.E., 1989. Marine and brackish water Ostracods (Superfamilies Cypridacea and Cytheracea). Synopses of the British Fauna (New Series), 43, pp.343.
- Bate, R.H., East, B.A., 1972. The structure of the ostracode carapace. Lethaia 6, 177–194.
- Bonaduce, G., Ciampo, G., Masoli, M., 1975. Distribution of Ostracoda in the Adriatic Sea. Pubbl. Staz. Zool. Napoli, 40 suppl., 1-304.
- Buurman, P., Pape, Th., Reijneveld, J. A., de Jong, F., & van Gelder, E. (2001). Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: correlations for fine fractions of marine, fluvial and loess samples. Netherlands Journal of Geosciences, 80, 49e57.
- Carnahan, E.A., 2005. Foraminiferal assemblages as bioindicators of potentially toxic elements in Biscayne Bay, Florida. PhD Thesis, University of South Florida, Tampa, Florida, pp. 228.
- Cheetham, M.D., Keene, A.F., Bush, R.T., Sullivan, L.A., Erskine, W.D., 2008. A comparison of grain-size analysis methods for sand-dominated fluvial sediments. Sedimentology 55, 1905–1913.
- Chivas, A.R., De Deckker, P., Shelley, J.M.G., 1986. Magnesium content of non-marine ostracod shells: a new palaeosalinometer and palaeothermometer. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 54, 43–61.
- Cooper, C. M., F. R. Schiebe & J. C. Ritchie, 1991. An inexpensive sampler for obtaining bulk sediment cores. Envir. Geol. Wat. Sci. 18: 115-117.
- Crisman T., C. Mitraki and G. Zalidis. 2004. Integrating Vertical and Horizontal Approaches for Management of Shallow Lakes and Wetlands. Ecological Engineering
- Crisman, T.L., Alexandridis, T.K., Zalidis, G.C., Takavakoglou, V., 2014. Phragmites distribution relative to progressive water level decline in Lake Koronia, Greece. Ecohydrology, 7, 1403-1411.
- De Deckker, P., Chivas, A.R., Shelley, J.M.G., 1999. Uptake of Mg and Sr in the euryhaline ostracod *Cyprideis* determined from in vitro experiments. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 148, 105–116.
- Delorme, L.D., 1969. Ostracodes as Quaternary paleoecological indicators. Canadian Journal of Earth Sciences 6, 1471–1476.

- Depêche, F., 1982. Ultrastructure of the wall of two living ostracods, *Herpetocypris chevreuxi* (Sars) and *Pontocythere elongata* (Brady), in comparison with fossil ostracods from the Middle Jurassic of Normandy. In: Bate, R.H., Robinson, J.E. and Sheppard, L.M. (Eds), Fossil and Recent Ostracods. Ellis Horwood Ltd, Chichester, 61–74.
- Dix, T.L., 2001. The distribution and ecology of benthic foraminifera of Tampa Bay, Florida. PhD Thesis, University of South Florida, Tampa, Florida, pp. 197.
- Doani, S., Albanakis, K., Koukousioura, O., Koliadimou, K.K., 2016. Sedimentological and Palaeoenvironmental Character of Lake Koronia Sediments, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. L, 2016, Proceedings of the 14th Intern. Conference, Thessaloniki, May 2016 (in press).
- Economidis, P.S., Sinis, A.I., Stamou, G.P., 1988. Spectral analysis of exploited fish populations in Lake Koronia (Macedonia, Greece) during the years 1947–1983. *Cybiu* 12, 151–159.
- Fang, H.Y., 1991. Foundation Engineering Handbook. Springer Science & Business Media New York, p.43-45.
- Fisher, M. M., Brenner, M., Reddy, K. R., 1992. A simple, inexpensive piston corer for collecting undisturbed sediment/ water interface profiles. *Journal of Paleolimnology* 7: 157-161, 1992.
- Folk, R.L., 1956. A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6, 77-93.
- Folk, R.L., 1974. The petrology of sedimentary rocks. Austin, Tex., Hemphill Publishing Co., 33-61.
- Folk, R.L., Andrews, P.B., Lewis, D.W., 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *N.Z.J. Geol. Geophys.* 13, 937-968.
- Forester, R.M., Smith, A.J., Palmer, D.F., Curry, B.B., 2005. North American Non-Marine Ostracode Database "NANODE" Version 1. Kent State University, Kent. Available at <http://www.kent.edu/NANODE>.
- Fotis, G., Conides, A., Koussouris, T., Diapoulis, A., Gritzalis, K., 1992. Fishery potential of lakes in Macedonia, North Greece. *Fresenius Environ. Bull.*, 1, 523–528.
- Frew, C., Coring Methods, 2014. *Geomorphological Techniques*, Chap. 4, Sec. 1.1 (2014), British Society for Geomorphology.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. _Ed., *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd edn., Agronomy, 9. Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 383–411.
- Geiger, W., 1994. An ecophysiological approach to the clonal ecology of *Limnocythere inopinata*. In: Horne, D.J., Martens, K. (Eds.), *The Evolutionary Ecology of Reproductive Models in Nonmarine Ostracoda*. Greenwich, 23-26.
- Gouramanis, C., De Deckker, P., 2010. Alkalinity control on the partition coefficients in lacustrine ostracodes from Australia. *Geology* 38, 359–362.
- Grammatikopoulou, N., Kechagias, D., Economidis, G. 1996: Environmental study "Rescuing plan for Lake Koronia". Hellenic Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works. Prefecture of Thessaloniki. Thessaloniki, Greece.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past Paleontological statistics software. Package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*.
- Hartmann, D., 2007. From reality to model: operationalism and the value chain of particle size analysis of natural sediments. *Sed. Geol.* 202, 383–401.
- Holmes, J., Chivas, A.R., 2002. *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*.

- Holmes, J.A., 2001. Ostracoda. In: Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. : Zoological Indicators*, 4. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 125–151.
- Holmes, J.A., Zhang, J.W., Chen, F.H., Qiang, M.R., 2007. Paleoclimatic implications of an 850-year oxygen-isotope record from the northern Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters* 34, L23403. doi:10.1029/2007GL032228.
- Horne, D.J., Holmes, J.A., Rodriguez-Lazaro, J., Viehberg, F.A., 2012. *Ostracoda as Proxies for Quaternary Climate Change*. Elsevier Science.
- Jin, Z.D., Bickle, M.J., Chapman, H.J., Yu, J.M., An, Z.S., Wang, S.M., Greaves, M.J., 2011. Ostracod Mg/Sr/Ca and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ geochemistry from Tibetan lake sediments: implications for early to mid-Pleistocene Indian monsoon and catchment weathering. *Boreas* 40, 320–331.
- Kauffmann, G., Kockel, F., Mollat, H., 1976. Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost Zone of the Hellenides (Northern Greece). *Bull. Soc. Geol. France*, 18, 225 – 230.
- Knight Piesold Ltd, Karavokyris and Partners, Anelixa, Agrisystems (1998). Περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Τελική έκθεση (Master Plan). Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση XVII, Περιφερειακή πολιτική και συνοχή, Ταμείο Συνοχής.
- Kober, B., Schwalb, A., Schettler, G. & Wessels, M., 2007. Constraints on paleowater dissolved loads and on catchment weathering over the past 16 ka from $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios and Ca/Mg/Sr chemistry of freshwater ostracode tests in sediments of Lake Constance, central Europe. *Chemical Geology* 240, 361–376.
- Kockel, F., & Mollat, H., & Walther, H. 1971. Geologie des Serbo – Mazedonischen Massivs und seines mesozoischen Rahmens. *Geol. Jb.* 89, 529 – 551.
- Kockel, F., Mollat, H. (1978). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Θέρμη, Κλίμακα 1:50.000, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Koufos, G.D. 1993 - Lower Pleistocene equids from Mygdonia basin (Macedonia, Greece). *Palaeontologia Italica*, 79 : 167-199..
- Koufos, G.D., Syrides, G.E., Kostopoulos, D.S. and Koliadimou, K.K. 1995. Preliminary results about the stratigraphy and the palaeoenvironment of Mygdonia Basin, Macedonia, Greece. *GEOBIOS*, M.S. 18: 243-249.
- Loizeau, J.-L., Arbouille, D., Santiago, S., Vernet, J.-P., 1994. Evaluation of a wide range laser diffraction grain-size analyser for use with sediments. *Sedimentology* 41, 353–361.
- Lowe, J.J., and Walker, M.J.C., 1987. *Reconstructing Quaternary Environments*. Longman Scientific and Technical, p. 388, New Work.
- MacFarlane, I.C. (Ed.), 1969, *Muskeg Engineering Handbook*, University of Toronto Press.
- McCave, I.N., Syvitski, J.P.M., 1991. Principles and methods of geological particle size analysis. In: Syvitski, J.P.M. _Ed., *Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, pp. 3–21.
- McCulloch, M.T. & De Deckker, P., 1989. Sr isotopic constraints on the evolution of the Mediterranean Basin during the Messinian “salinity crisis”. *Nature* 342, 62–65.
- McGregor, D.L., 1969. The reproductive potential, life history and parasitism of the freshwater ostracod *Darwinula stevensoni* (Brady and Robertson). In: Neale, J.W. (Ed.), *The Taxonomy, Morphology and Ecology of Recent Ostracoda*.

- Proceedings of the 2nd International Symposium on Ostracoda, Edinburgh, pp. 194–221.
- Meisch, C., 2000. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. In: Schwoerbel, J., Zwick, P. (Eds.), *Subwasserfauna von Mitteleuropa* 8/3. Spektrum Akademischer Verlag, 522.
- Mercier, J. 1966. Etudes geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine centrale. *Ann. Geol. des Pays Hell.*, 20, 1968.
- Mercier, J. 1977. Principal results of a neotectonic study of the Aegean arc and its localization within the Eastern Mediterranean. *Proceedings of VI Colloquium on the Geology of the Aegean region*, 1281-1291.
- Mezquita, F., Roca, J.R., Reed, J.M., Wansard, G., 2005. Quantifying species–environment relationships in non-marine Ostracoda for ecological and palaeoecological studies: examples using Iberian data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 225, 93–117.
- Mischke, S., Ginat, H., Al-Saqarat, B., Almogi-Labin, A., 2012. Ostracods from water bodies in hyperarid Israel and Jordan as habitat and water chemistry indicators. *Ecological Indicators*, 14, 87-99.
- Mischke, S., Herzsuh, U., Massmann, G., Zhang, C.J., 2007. An ostracod-conductivity transfer function for Tibetan lakes. *Journal of Paleolimnology* 38, 509–524.
- Mischke, S., Wünnemann, B., 2006. The Holocene salinity history of Bosten Lake (Xinjiang, China) inferred from ostracod species assemblages and shell chemistry: possible palaeoclimatic implications. *Quaternary International* 154–155, 100–112.
- Mitraki, C., Crisman, T., Zalidis, G., 2004. Lake Koronia, Greece: Shift from autotrophy to heterotrophy with cultural eutrophication and progressive water-level reduction. *Limnologia*, 34, 110-116.
- Mouratidis, A., Doani, S., Karadimou, G., and Albanakis, K., 2015. Hybrid Radar-Optical Mapping & Monitoring of Lake Koroneia (N.Greece) using long time series of Earth Observation data & GIS. *Mapping Water Bodies from Space Conference*, 18-19 March, ESA-Esri, Frascati, Rome (Italy).
- Mylopoulos, N., Mylopoulos, Y., Kolokytha, E. and Tolikas, D., 2007. Alternative management plans for the restoration of Lake Koronia, Greece. *Water International, IWRA, Topic I, Integrated water resources management*.
- Mylopoulos, N., Mylopoulos, Y., Veranis, N., Tolikas, D. 2007. Groundwater modeling and management in a complex lake-aquifer system. *Water Resour Manage* 2007 21:469-494. DOI 10.1007/s11209-006-9025-3.
- Nichols, G., 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, Ltd., Publication. ISBN 978-1-4051-3592-4, 64-155.
- Nimfopoulos, M.K., Mylopoulos, N., Katirtzoglou, K.G. 2002. A qualitative-quantitative study of water and environmental pollution at the broader area of the Mygdonia basin, Thessaloniki, N. Greece. *6th Congress of the Geographical Society of Greece*, 436-444, Volume: Volume II.
- Papastergiadou, E., 1995. Flora and vegetation of lakes Koronia and Volvi, Greece. *Conference for wetlands of Koronia and Volvi, Viological research and information*, EKBV, 1995.

- Rieke, H.H., and Chilingarian G.V., 1974. Compaction of Argillaceous Sediments. Developments in Sedimentology 16, Elsevier Scientific Publishing company. ISBN: 0-444-41054-6
- Rieradevall, M., Roca, J.R., 1995. Distribution and population dynamics of ostracodes (Crustacea, Ostracoda) in a karstic lake: Lake Banyoles (Catalonia, Spain). *Hydrobiologia* 310, 189–196.
- Robinson, W., O., 1927. The determination of organic matter in soils by means of hydrogen peroxide. *Journal of Agricultural Research*, Washington, D. C., 339-355.
- Rossi, V., Todeschi, E. B. A., Gandolfi, A., Invidia, M., and Menozzi, P., 2002. Hypoxia and starvation tolerance in individuals from a riverine and lacustrine population of *Darwinula stevensoni* (Crustacea: Ostracoda). *Archiv fur Hydrobiologie* 154, 151–171.
- Ruiz, F., Aband, M., Olias, M., Galan, E., Gonzalez, I., Aguila, E., Hamoumi, N., Pulidod, I., and Cantano, M., 2006. The present environmental scenario of the Nador Lagoon (Morocco). *Environmental Research*, 102: 215-229.
- Schlische, R. W., and Anders, M. H., 1996, Stratigraphic effects and tectonic implications of the growth of normal faults and extensional basins, in Beratan, K. K., ed., *Reconstructing the Structural History of Basin and Range Extension Using Sedimentology and Stratigraphy: GSA Special Paper 303*, p. 183-203.
- Shepard, F.P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal Sedimentary Petrology*, 24, 151-158.
- Van Baak, C.G.C., Vasiliev, I., Stoica, M., Kuiper, K.F., Forte, A.M., Aliyeva, E., Krijgsman, W., 2012. A magnetostratigraphic time frame for Plio-Pleistocene transgressions in the South Caspian Basin, Azerbaijan. *Global and Planetary Change*, 103 (2013), 119-134.
- Xia, J., Ito, E., Engstrom, D.R., 1997. Geochemistry of ostracode calcite: part 1, an experimental determination of oxygen isotope fractionation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 377–382.
- Xiangzhong, L., Weiguo, L., Ling, Z., Zhencheng, S., 2010. Distribution of Recent ostracod species in Lake Qinghai area in northwestern China and its ecological significance. *Ecological Indicators*, 10, 880-890.

iii. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

Google, Inc. (2011). Ηλεκτρονική βάση δορυφορικών δεδομένων. Διαθέσιμο:
<http://www.google.com/earth/index.html>

<http://pubs.usgs.gov/of/2000/of00-358/text/chapter1.htm>

<http://www.foreaskv.gr>

<http://www.kathimerini.gr/472221/article/epikairothta/ellada/sto-eyrwdikasthrio-gia-th-limnh-korwneia>

<http://www.panoramio.com/photo/62258579>

<http://www.vice.com/gr/read/limni-korwneia>

www.geodata.gov.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Βάθος (m)	Δείγμα
0.40-0.50	1
0.82-0.98	2
1.20-1.48	3
1.62-1.98	4
1.98-2.27	5
2.66-2.78	6
3.40-3.68	7

Πίνακας 3 . Δειγματοληψία για την ιζηματολογική ανάλυση.



Εικόνα 1. Δείγμα 1.



Εικόνα 2. Δείγμα 2.



Εικόνα 3. Δείγμα 3.



Εικόνα 4. Δείγμα 4.



Εικόνα 5. Δείγμα 5.



Εικόνα 6. Δείγμα 6.



Εικόνα 7. Δείγμα 7.

Βάθος (m)	Δείγμα	Οργανική ύλη (%)	Υγρασία & Πτητική ύλη (%)
0.40-0.50	1	1.5	38.28
0.82-0.98	2	0.8	45.66
1.20-1.48	3	1.2	44.87
1.62-1.98	4	4	52.23
1.98-2.27	5	1.9	53.63
2.66-2.78	6	0.3	37.2
3.40-3.68	7	1.2	38.22

Πίνακας 4 . Ποσοστά οργανικής ύλης και υγρασίας-πτητικών σε κάθε δείγμα.

Φ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ (gr)	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ+ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΧΡΟΝΟΙ Min Sec		ΒΑΘ Η (cm)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) μετά την αφαίρεση του Calgon 0.0064 gr
4	2.569	2.868	0.299	0	27	10	0.2935
5	2.520	2.817	0.297	1	47	10	0.2906
6	2.522	2.808	0.286	7	08	10	0.2796
7	2.528	2.777	0.249	28	34	10	0.2426
8	2.565	2.766	0.201	57	05	5	0.1946
9	2.496	2.665	0.169	3h 48'	0	5	0.1626

Πίνακας 5. Αποτελέσματα της μεθόδου του σιφωνίου- Δείγμα 1.

Φ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ (gr)	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ+ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΧΡΟΝΟΙ Min Sec		ΒΑΘ Η (cm)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) μετά την αφαίρεση του Calgon 0.0064 gr
4	2.554	2.859	0.305	0	27	10	0.2986
5	2.525	2.828	0.303	1	47	10	0.2966
6	2.490	2.779	0.289	7	08	10	0.2826
7	2.513	2.757	0.244	28	34	10	0.2376
8	2.557	2.753	0.196	57	05	5	0.1896
9	2.535	2.696	0.161	3h 48'	0	5	0.1546

Πίνακας 6. Αποτελέσματα της μεθόδου του σιφωνίου- Δείγμα 2.

Φ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ (gr)	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ+ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΧΡΟΝΟΙ Min Sec		ΒΑΘ Η (cm)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) μετά την αφαίρεση του Calgon 0.0064 gr
4	2.392	2.692	0.300	0	27	10	0.2936
5	2.357	2.649	0.292	1	47	10	0.2856
6	2.374	2.622	0.248	7	08	10	0.2416
7	2.372	2.558	0.186	28	34	10	0.1796
8	2.375	2.521	0.146	57	05	5	0.1396
9	2.367	2.483	0.116	3h 48'	0	5	0.1096

Πίνακας 7. Αποτελέσματα της μεθόδου του σιφωνίου- Δείγμα 3.

Φ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ (gr)	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ+ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΧΡΟΝΟΙ Min Sec		ΒΑΘ Η (cm)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) μετά την αφαίρεση του Calgon 0.0064 gr
4	2.388	2.740	0.352	0	27	10	0.3456
5	2.366	2.715	0.349	1	47	10	0.3426
6	2.363	2.656	0.293	7	08	10	0.2866
7	2.372	2.602	0.230	28	34	10	0.2236
8	2.376	2.547	0.171	57	05	5	0.1646
9	2.382	2.509	0.127	3h 48'	0	5	0.1206

Πίνακας 8. Αποτελέσματα της μεθόδου του σιφωνίου- Δείγμα 4.

Φ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ (gr)	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ+ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΧΡΟΝΟΙ Min Sec		ΒΑΘ Η (cm)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) μετά την αφαίρεση του Calgon 0.0064 gr
4	2.360	2.658	0.298	0	27	10	0.2916
5	2.375	2.665	0.290	1	47	10	0.2836
6	2.370	2.630	0.260	7	08	10	0.2536
7	2.366	2.572	0.206	28	34	10	0.1996
8	2.369	2.534	0.165	57	05	5	0.1586
9	2.371	2.497	0.126	3h 48'	0	5	0.1196

Πίνακας 9. Αποτελέσματα της μεθόδου του σιφωνίου- Δείγμα 5.

Φ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ (gr)	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ+ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΧΡΟΝΟΙ Min Sec		ΒΑΘ Η (cm)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) μετά την αφαίρεση του Calgon 0.0064 gr
4	2.384	2.768	0.384	0	27	10	0.3776
5	2.383	2.759	0.376	1	47	10	0.3696
6	2.391	2.729	0.338	7	08	10	0.3316
7	2.389	2.665	0.276	28	34	10	0.2696
8	2.377	2.594	0.217	57	05	5	0.2106
9	2.399	2.575	0.176	3h 48'	0	5	0.1696

Πίνακας 10. Αποτελέσματα της μεθόδου του σιφωνίου- Δείγμα 6.

Φ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ (gr)	ΜΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ+ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	ΧΡΟΝΟΙ Min Sec		ΒΑΘ Η (cm)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) μετά την αφαίρεση του Calgon 0.0064 gr
4	2.368	2.719	0.351	0	27	10	0.3446
5	2.384	2.732	0.348	1	47	10	0.3416
6	2.369	2.694	0.325	7	08	10	0.3186
7	2.387	2.651	0.264	28	34	10	0.2576
8	2.378	2.587	0.209	57	05	5	0.2026
9	2.358	2.525	0.167	3h 48'	0	5	0.1606

Πίνακας 11. Αποτελέσματα της μεθόδου του σιφωνίου- Δείγμα 7.

ΑΝΘΡΑΚΟΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
“ΚΟΡΩΝΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑ 5”
(ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

Τομέας Γεωλογίας

157 80 Ζωγράφου, Αθήνα

Δρ. Ιωάννης Κ. Οικονομόπουλος, Συνεργαζόμενος Ερευνητής

Τηλ.: +302107722099 Φαξ: +30210 7722117

e-mail: giannis@metal.ntua.gr

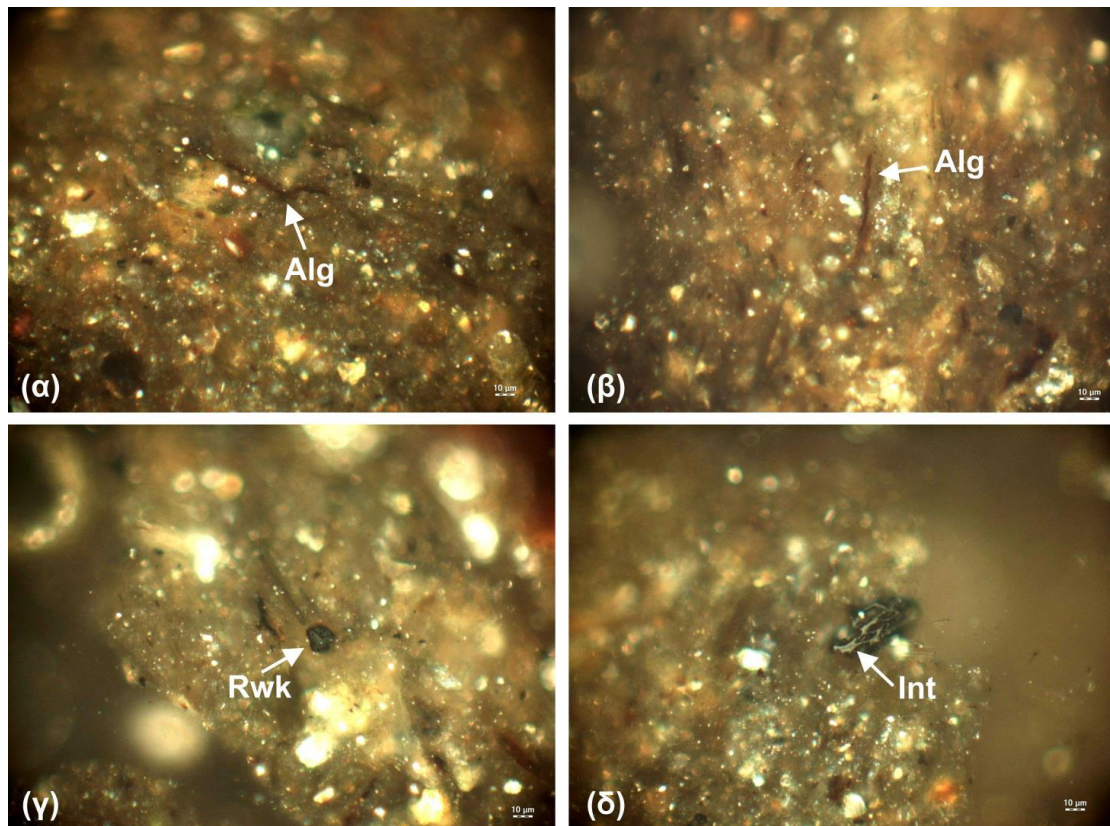
Δρ. Ιωάννης Κ Οικονομόπουλος

Σύνοψη

Στο δείγμα που μελετήθηκε ταυτοποιήθηκαν τα αργιλικά ορυκτά ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης και χλωρίτης. Από τα μη αργιλικά πυριτικά ορυκτά επικρατούν ο χαλαζίας και οι άστριοι, ενώ από τα αλογονίδια ταυτοποιήθηκε ο καρναλίτης, όπως επίσης και πολύ μικρή περιεκτικότητα οργανικής ύλης. Το συγκεκριμένο δείγμα μελετήθηκε με συνδυασμό διαφόρων μεθόδων οι οποίες περιλαμβάνουν οπτική μικροσκοπία ανακλώμενου φωτός (ανθρακοπετρογραφία), φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR), θερμοβαρυτομετρική και διαφορική θερμική ανάλυση (TG/DTG/DTA) και περιθλασιομετρία ακτίνων-X (XRD).

1. Οπτική μικροσκοπία ανακλώμενου φωτός με χρήση ανθρακοπετρογραφικού μικροσκοπίου

Από την παρατήρηση του δείγματος σε ανθρακοπετρογραφικό μικροσκόπιο, με φακό ελαιοκατάδυσης (50x), προέκυψε ότι το περιεχόμενο οργανικό υλικό συνίσταται κυρίως από λαμινοειδείς πτυχωμένες άλγες (φύκη) (εικόνα 1α,β), οι οποίες εμφανίζουν καφετί κεχριμπαří χρώμα στο λευκό ανακλώμενο φώς. Με μικρότερη συμμετοχή παρατηρήθηκαν μικρού μεγέθους θραύσματα χουμινιτωμένου οργανικού υλικού, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις φέρουν χαρακτηριστικά αλλόχθονης προέλευσης (reworked organic matter) (εικόνα 1γ), όπως επίσης και μικρά θραύσματα ινερτινίτη (οξειδωμένο οργανικό υλικό) (εικόνα 1δ). Από την εφαρμογή της μεθόδου “Virtual Kerogen Assessment” (VKA) για την ποσοτική κατανομή του οργανικού υλικού με χρήση ανθρακοπετρογραφικού μικροσκοπίου, προέκυψε ότι η περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό, του δείγματος που μελετήθηκε, δεν ξεπερνάει το 2,0% (1,5%-2,0%).



Εικόνα 1. Μικροφωτογραφίες διαφόρων τύπων οργανικού υλικού σε λευκό ανακλώμενο φως με φακό ελαιοκατάδυσης 50x. α,β– Χαρακτηριστικές λαμινοειδείς καφετί-κεχριμπάρι άλγες (Alg), γ– Μικρού μεγέθους θραύσμα χουμινιτιομένου οργανικού υλικού με χαρακτηριστικά αποστρογγυλωμένα περιθώρια (Rwk), δ– Ινερτινίτης (Int) με χαρακτηριστική δομή κενών κυτταρικών χώρων.

2. Μελέτη με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR)

Από την εξέταση του δείγματος με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) ταυτοποιήθηκε η παρουσία οργανικού υλικού. Η μικρή ένταση των δονήσεων οι οποίες αποδίδονται στο οργανικό υλικό (σχήμα 1), υποδηλώνουν τη σχετικά μικρή συμμετοχή του.

Συγκεκριμένα:

- Το ίχνος του peak στα $\sim 2926 \text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στην ασύμμετρη δόνηση τάσης του CH_2 των αλειφατικών ενώσεων (van Krevelen, 1993, Guo et al., 1996). Δεδομένου ότι ηβσυγκεκριμένη δόνηση αποδίδεται και στην παρουσία καρναλίτη (ορυκτό αλάτι με χημικό τύπο $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), η ένταση της ενισχύεται.
- Το ίχνος του peak στα $\sim 2853 \text{ cm}^{-1}$ οφείλεται στη συμμετρική δόνηση τάσης του CH_2 των αλειφατικών ενώσεων (van Krevelen, 1993, Guo et al., 1996) και ενισχύεται, επίσης, η ένταση του λόγω της παρουσίας καρναλίτη.

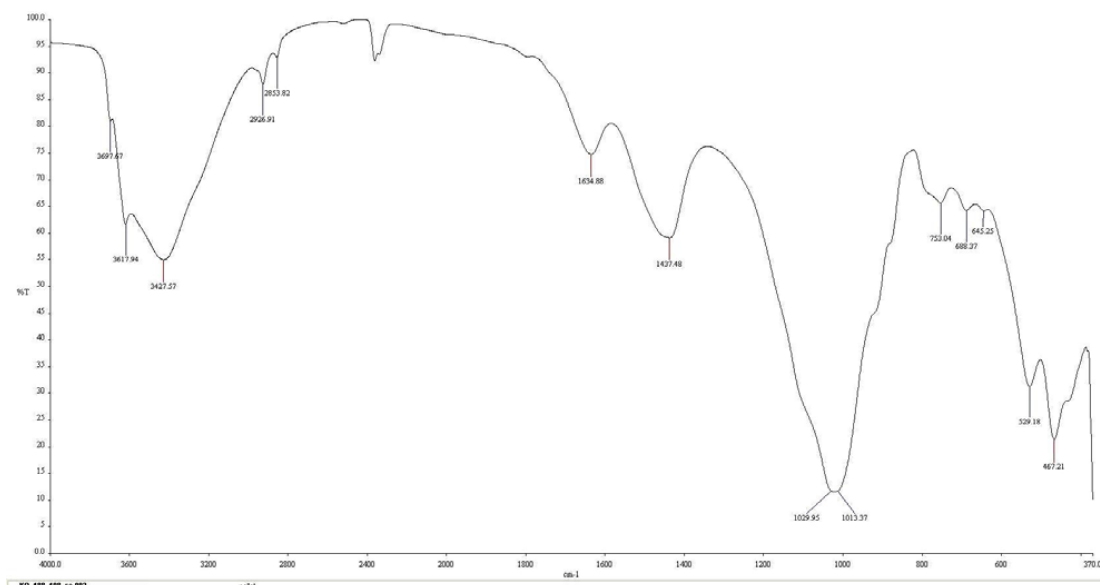
- Το peak στα $\sim 1634\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των δεσμών C=O ή C=C των αρωματικών δακτυλίων (Guo and Bustin, 1998). Η ένταση της συγκεκριμένης δόνησης ενισχύεται από την παρουσία υδροξυλίων (-OH) (Solomon and Carangelo, 1998).
- Το ίχνος του peak στα $\sim 1437\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στις ασύμμετρες δονήσεις παραμόρφωσης των δεσμών C-H των αλειφατικών ομάδων του μεθυλενίου (CH_2) και του μεθοξυλίου (OCH_3), στη δομή της λιγνίνης (Russell and Barron, 1984, Guiliano et al., 1990, Guo and Bustin, 1998), όπως επίσης και στις αρωματικές εντός επιπέδου δονήσεις παραμόρφωσης.
- Το peak στα $\sim 753\text{ cm}^{-1}$ οφείλεται στις αρωματικές εκτός επιπέδου (out-of-plane) δονήσεις κάμψης (Ibarra et al., 1994; Guo and Bustin, 1998b, Iglesias et al., 1998, Lis et al., 2005) των μονοκυκλικών και πολυκυκλικών δακτυλίων. Οι απορροφήσεις της ανόργανης ύλης στο φάσμα $900\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ είναι δυνατό να επικαλύπτουν αυτές των οργανικών δραστικών ομάδων δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό δυσκολία στη μονοσήμαντη απόδοση κορυφών σε συγκεκριμένες ενώσεις (Solomon and Carangelo, 1998, Lis et al., 2005).
- Το peak στα $\sim 688\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στις δονήσεις τάσης C-S ή/και στην παρουσία θειικών ορυκτών (Baruah et al., 2003).

Οι ισχυρές δονήσεις στις περιοχές $466\text{--}470\text{ cm}^{-1}$, $528\text{--}535\text{ cm}^{-1}$, $3618\text{--}3628\text{ cm}^{-1}$ και $3696\text{--}3699\text{ cm}^{-1}$ αποδίδονται στην παρουσία αργιλικών και πυριτικών ορυκτών.

Συγκεκριμένα:

- Τα ίχνη των peaks στα ~ 645 , 529 cm^{-1} οφείλονται στις δονήσεις Si-O-Al^{VI} (το Al σε οκταεδρική διάταξη), ενώ το ίχνος στα $\sim 467\text{ cm}^{-1}$ οφείλεται στις δονήσεις τάσης Si-O-Si του πλέγματος των αργιλικών ορυκτών (Van Jaarsveld et al., 2002, Madejova, 2002).
- Οι δονήσεις στα $\sim 1029\text{ cm}^{-1}$ και 1013 cm^{-1} οφείλονται στους δεσμούς Si-O-Si και Si-O-Al^{VI}, αντίστοιχα.
- Το ισχυρό peak στα $\sim 3697\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στις εντός επιπέδου συμμετρικές δονήσεις τάσης των υδροξυλιομάδων (-OH) των οκταεδρικών φύλλων, τα οποία σχηματίζουν ασθενείς δεσμούς υδρογόνου με τα οξυγόνα της βάσης του επόμενου στρώματος (Balan et al., 2001), ενώ αυτό στα $\sim 3617\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στις δονήσεις τάσης των ομάδων -OH, που βρίσκονται μεταξύ των τετραεδρικών και οκταεδρικών φύλλων (Madejova, 2002).

- Οι δονήσεις τάσης και κάμψης των -OH του προσροφημένου νερού απαντούν στα ~ 3427 και $\sim 1634\text{ cm}^{-1}$, αντίστοιχα.



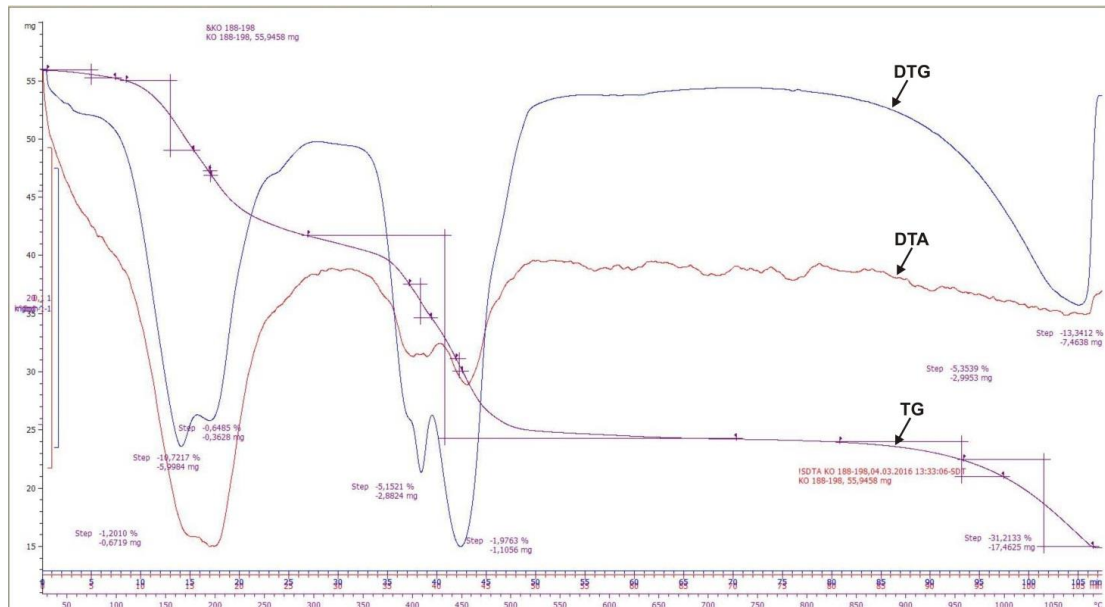
Σχήμα 1. Διαγράμματα (FT-IR)

3. Θερμοβαρυτομετρική και Διαφορική Θερμική Ανάλυση (TG/DTG/DTA)

Από τη μελέτη του δείγματος με θερμική ανάλυση επιβεβαιώνεται η παρουσία αργιλικών ορυκτών και καρναλίτη, όπως επίσης και μικρό ποσοστό οργανικής ύλης (σχήμα 2). Συγκεκριμένα:

- Το εξώθερμο φαινόμενο στο θερμοκρασιακό εύρος από $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ το οποίο αποτυπώνεται στην καμπύλη DTA είναι χαρακτηριστικό της παρουσίας οργανικού υλικού. Η μικρή απώλεια βάρους, η οποία φαίνεται και από τη μικρή κλίση της καμπύλης TG, υποδηλώνει τη μικρή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό.
- Το διπλό ενδόθερμο peak στο θερμοκρασιακό εύρος από $\sim 165\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ της καμπύλης DTA είναι χαρακτηριστικό της παρουσίας καρναλίτη.
- Στο θερμοκρασιακό εύρος από $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, η απότομη μεταβολή βάρους αποτυπώνεται από τη μεγάλη κλίση της καμπύλης TG και αποδίδεται με τα ενδόθερμα peaks στους $\sim 425\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $\sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ (καμπύλη DTA). Το peak στους $\sim 425\text{ }^{\circ}\text{C}$ αποδίδεται στη τήξη του καρναλίτη, ενώ το peak στους $\sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ οφείλεται στην αφυδροξυλίωση του καολινίτη και τη σταδιακή μετατροπή του AlVI οκταεδρικής διάταξης, στον καολινίτη, σε Al^{IV} τετραεδρικής διάταξης, στον μετακαολινίτη (Van Jaarsveld et al., 2002).

- Τα ενδόθερμα peaks (καμπύλη DTA) σε υψηλότερες θερμοκρασίες (θερμοκρασιακό εύρος από ~650 °C έως ~800 °C) οφείλονται στη διάσπαση του χλωρίτη και του ιλλίτη-μοσχοβίτη, ενώ η άνοδος της καμπύλης DTA στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες υποδηλώνει νεοσχηματισθήσες φάσεις.



Σχήμα 2. Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG/DTA)

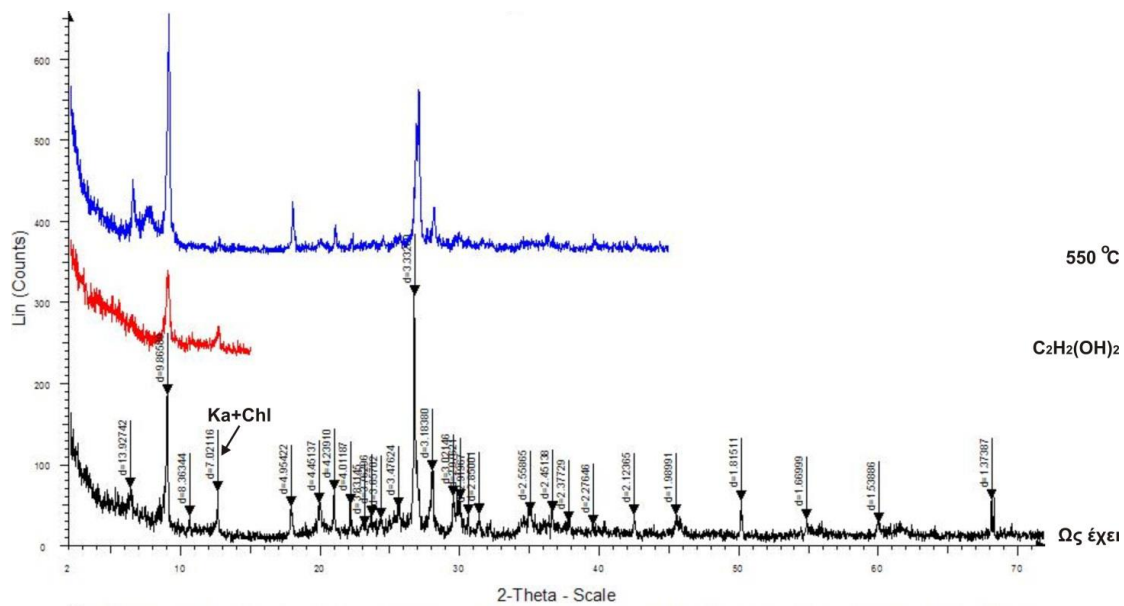
4. Μελέτη με περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)

Η μελέτη με περιθλασιμετρία ακτίνων-X έγινε αρχικά στο δείγμα “ως έχει” (ξήρανση σε θερμοκρασία δωματίου). Το ίδιο δείγμα εξετάστηκε έπειτα από έψηση του σε θερμοκρασία 550 °C, προκειμένου να επιτευχθεί η διάκριση των ορυκτών καολινίτη και χλωρίτη, των οποίων οι χαρακτηριστικές ανακλάσεις 001 και 002, αντίστοιχα, συμπίπτουν. Επιπλέον, το δείγμα εξετάστηκε και κατόπιν επεξεργασίας με αιθυλενογλυκόλη [C₂H₂(OH)₂], με σκοπό να διαπιστωθεί η συμμετοχή ή όχι διογκούμενων ορυκτών. Στο δείγμα που μελετήθηκε ταυτοποιήθηκαν τα αργιλικά ορυκτά ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης και χλωρίτης. Από τα μη αργιλικά πυριτικά ορυκτά επικρατούν ο χαλαζίας και οι άστριοι, ενώ από τα αλογονίδια ταυτοποιήθηκε ο καρναλίτης (σχήμα 3). Στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 1) παρουσιάζονται τα κύρια ορυκτά τα οποία ταυτοποιήθηκαν στο δείγμα που μελετήθηκε, καθώς επίσης και οι κυριότερες d-τιμές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ταυτοποίηση.

Πίνακας 1: Ορυκτολογικές φάσεις οι οποίες ταυτοποιήθηκαν στο υπό εξέταση δείγμα

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Χαρακτηριστική τιμή πλεγματικής απόστασης (d)
Χαλαζίας	SiO_2	$d_{101} \sim 3.34 \text{ \AA}$, $d_{100} \sim 4.26 \text{ \AA}$
Αλβίτης	$NaAlSi_3O_8$	$d_{002} \sim 3.19 \text{ \AA}$
Ιλλίτης	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	$d_{001} \sim 10 \text{ \AA}$
Καολινίτης	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	$d_{001} \sim 7.1 \text{ \AA}$, $d_{002} \sim 3.5 \text{ \AA}$
Χλωρίτης	$(Mg,Fe^{++})_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	$d_{001} \sim 14 \text{ \AA}$, $d_{002} \sim 7.1 \text{ \AA}$
Καρναλίτης	$KMgCl_3 \cdot 6H_2O$	$d_{224} \sim 3.32 \text{ \AA}$

Δεδομένου ότι στο σχήμα 3 παρατηρείται μια κορυφή στα $d \sim 7,02$, η οποία προκύπτει από τη συμβολή των ορυκτών καολινίτη και χλωρίτη, εξετάστηκε η θερμική συμπεριφορά του δείγματος, προκειμένου να επιτευχθεί η ταυτοποίηση των δύο αυτών ορυκτών. Συγκεκριμένα η ταυτοποίηση καολινίτη και χλωρίτη έγινε έπειτα από έψηση του δείγματος στους 550°C για $\sim 2\text{h}$. Το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης θερμικής επεξεργασίας είναι η μείωση της έντασης των χαρακτηριστικών ανακλάσεων στα $d \sim 7,02 \text{ \AA}$ και $d \sim 3,52 \text{ \AA}$, εξαιτίας της διάσπασης του πλέγματος του καολινίτη [σχήμα 3, 550°C (μπλε)], γεγονός το οποίο δείχνει ξεκάθαρα τη συνύπαρξη χλωρίτη και καολινίτη. Επιπρόσθετα, μετά τον κορεσμό του υπό εξέταση δείγματος σε αιθυλενογλυκόλη δεν παρατηρήθηκε μετατόπιση της κύριας ανάκλασης του μοντμοριλλονίτη (100) από τα $d \sim 14 \text{ \AA}$ προς τις μικρότερες γωνίες 2θ ($d \sim 17 \text{ \AA}$) [σχήμα 3, αιθυλενογλυκόλη ($C_2H_2(OH)_2$)], γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι το δείγμα που εξετάστηκε δεν περιέχει διογκούμενα ορυκτά.



Σχήμα 3. Συγκριτικό διάγραμμα XRD του δείγματος που εξετάστηκε “Ως έχει” (μαύρο), μετά τη θέρμανση στους 550 °C (μπλε) και μετά από κορεσμό σε αιθυλενογλυκόλη [$C_2H_2(OH)_2$] (κόκκινο). Ka=Καολίνητης, Chl-Χλωρίτης.

Μετατροπή της αναλογίας του βάρους δείγματος σε αναλογία όγκου

Η υγρή φάση αντιπροσωπεύεται από 37.20% έως 53.63% του συνολικού βάρους του ιζήματος. Άρα το ίζημα αντιπροσωπεύεται από 62.8% έως 46.37% κατά βάρος. Εάν η αναλογία βάρους μετατραπεί σε αναλογία όγκου τότε το ξηρό ίζημα (με πυκνότητα-ειδικό βάρος 2.7 κατά μέσο όρο) αντιπροσωπεύει περίπου το 35% έως 24% του συνολικού όγκου του ληφθέντος δείγματος.

$$V=W/\rho$$

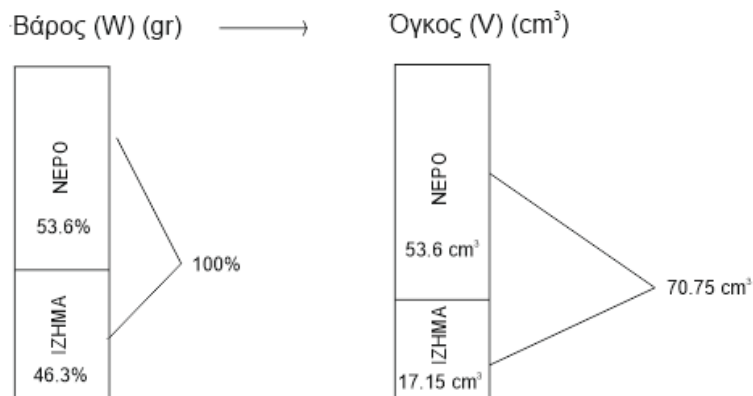
Όπου V= όγκος

W= βάρος

ρ = πυκνότητα

$$\rho_{\text{νερού}}=1$$

$$\rho_{\text{ιζήματος}}=2.7$$



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Βάθος (m)	Δείγμα
0.45-0.50	Kor 0.45-0.50
0.83-0.89	Kor 0.83-0.89
1.33-1.38	Kor 1.33-1.38
1.44-1.48	Kor 1.44-1.48
1.62-1.65	Kor 1.62-1.65
1.73-1.80	Kor 1.73-1.80
1.91-1.97	Kor 1.91-1.97
2.08-2.12	Kor 2.08-2.12
2.24-2.27	Kor 2.24-2.27
2.70-2.74	Kor 2.70-2.74
3.47-3.50	Kor 3.47-3.50
3.63-3.67	Kor 3.63-3.67

Πίνακας 12 . Δειγματοληψία για την μικροπαλαιοντολογική ανάλυση.

Δείγμα	Taxa_S	Dominance_D	Density/gr
Kor(0.45-0.50)	3	0.3469	199.446
Kor(0.83-0.89)	1	1	903.0227
Kor(1.33-1.38)	1	1	980.5984
Kor(1.44-1.48)	1	1	559.9572
Kor(1.62-1.65)	1	1	161.4213
Kor(1.73-1.80)	1	1	1325.581
Kor(1.91-1.97)	1	1	831.5284
Kor(2.08-2.12)	1	1	41.75183
Kor(2.24-2.27)	4	0.4401	120.0035
Kor(2.70-2.74)	4	0.4024	47.52903
Kor(3.47-3.50)	4	0.3966	84.37245
Kor(3.63-3.67)	4	0.3453	8.402204

Πίνακας 13 . Δείκτες Taxa_S, Dominance_D, Density/gr .

Δείγμα	Candona neglecta %	Darwinula stevensoni %	Heterocypris spp. %	Limnocythere inopinata %
Kor(0.45-0.50)	28.57142857	42.85714286	0	28.57142857
Kor(0.83-0.89)	0	0	0	100
Kor(1.33-1.38)	0	0	0	100
Kor(1.44-1.48)	0	0	0	100
Kor(1.62-1.65)	0	0	0	100
Kor(1.73-1.80)	0	0	0	100
Kor(1.91-1.97)	0	0	0	100
Kor(2.08-2.12)	0	0	0	100
Kor(2.24-2.27)	56.42023346	3.891050584	34.24124514	5.447470817
Kor(2.70-2.74)	18.75	1.704545455	55.68181818	23.86363636
Kor(3.47-3.50)	45.81497797	7.929515419	3.964757709	42.2907489
Kor(3.63-3.67)	19.67213115	6.557377049	24.59016393	49.18032787

Πίνακας 14 . Οι σχετικές αφθονίες των ειδών *C.neglecta*, *D.stevensoni*, *Heterocypris* spp. και *L.inopinata*.

Δείγμα	Mg/Ca	Sr/Ca
Kor(0.45-0.50)	0.0157	0.0065
Kor(0.83-0.89)	0.0026	0.0073
Kor(1.33-1.38)	0.0709	0.0106
Kor(1.44-1.48)	0.0292	0.0033
Kor(1.62-1.65)	0.0194	0.0066
Kor(1.73-1.80)	0.0381	0.0068
Kor(2.08-2.12)	0.0330	0.0030
Kor(2.24-2.27)	0.0006	0.0049
Kor(2.70-2.74)	0.0476	0.0099
Kor(3.47-3.50)	0.0466	0.0061
Kor(3.63-3.67)	0.0126	0.0088

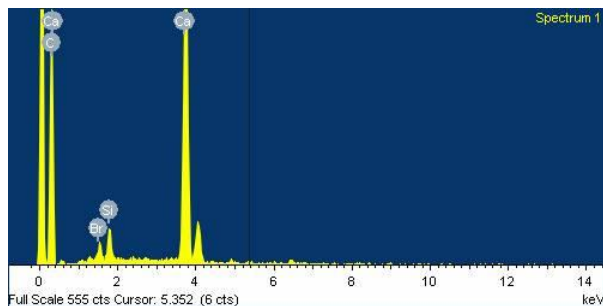
Πίνακας 15 .Οι μέσοι όροι των λόγων *Mg/Ca* και *Sr/Ca* για κάθε δείγμα, από κελύφη του είδους *L.inopinata*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Στοιχειομετρία -Jeol JSM- 840A

Kor(0.45-0.50)

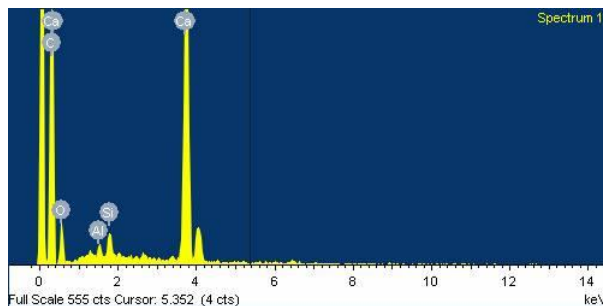
L.inopinata κέλυφος 1



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.72	0.84	0.97	Na2O
Mg K	0.88	0.96	1.45	MgO
Al K	2.08	2.06	3.93	Al2O3
Si K	4.04	3.85	8.65	SiO2
S K	0.05	0.04	0.11	SO3
Cl K	-0.04	-0.03	0.00	
K K	0.30	0.21	0.37	K2O
Ca K	57.74	38.58	80.79	CaO
Mn K	0.15	0.07	0.19	MnO
Fe K	1.89	0.91	2.43	FeO
Cu K	-0.22	-0.09	-0.28	CuO
Sr L	1.21	0.37	1.43	SrO
O	31.21	52.23		
Totals	100.00			

Kor(0.45-0.50)

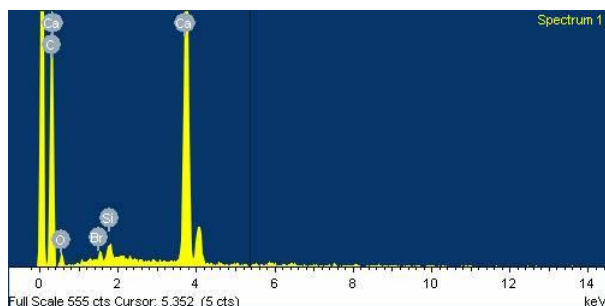
L.inopinata κέλυφος 2



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.19	0.23	0.26	Na2O
Mg K	0.52	0.59	0.87	MgO
Al K	1.94	1.95	3.67	Al2O3
Si K	3.29	3.18	7.03	SiO2
S K	-0.32	-0.27	-0.79	SO3
Cl K	0.80	0.61	0.00	
K K	0.60	0.42	0.72	K2O
Ca K	60.54	41.03	84.70	CaO
Mn K	-0.23	-0.11	-0.30	MnO
Fe K	1.73	0.84	2.22	FeO
Cu K	-0.15	-0.06	-0.19	CuO
Sr L	0.85	0.26	1.00	SrO
O	30.24	51.34		
Totals	100.00			

Kor(0.45-0.50)

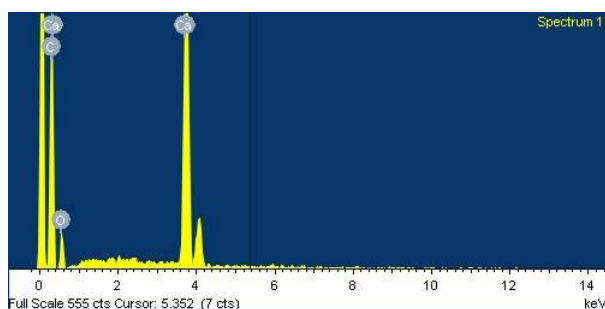
L.inopinata κέλυφος 3



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	1.07	1.28	1.44	Na2O
Mg K	0.28	0.32	0.47	MgO
Al K	1.45	1.48	2.75	Al2O3
Si K	2.12	2.08	4.54	SiO2
S K	0.01	0.01	0.03	SO3
Cl K	-0.25	-0.20	0.00	
K K	0.24	0.17	0.29	K2O
Ca K	60.66	41.61	84.87	CaO
Mn K	1.01	0.50	1.30	MnO
Fe K	1.14	0.56	1.47	FeO
Cu K	2.02	0.87	2.53	CuO
Sr L	0.48	0.15	0.56	SrO
O	29.77	51.16		
Totals	100.00			

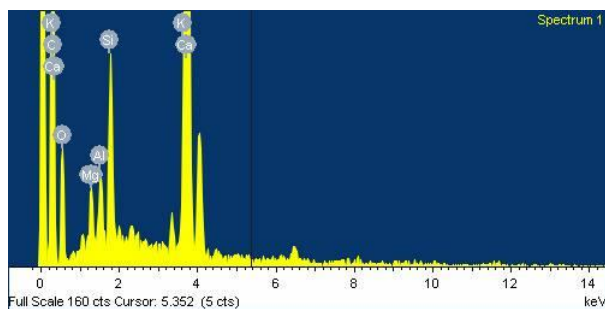
Kor(0.83-0.89)

L.inopinata κέλυφος 1



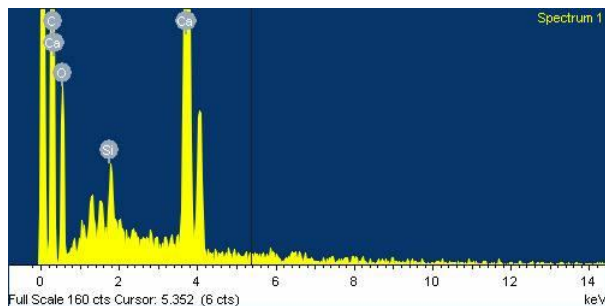
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.37	0.45	0.50	Na2O
Mg K	0.10	0.12	0.17	MgO
Al K	0.02	0.02	0.04	Al2O3
Si K	0.39	0.39	0.84	SiO2
S K	0.28	0.25	0.71	SO3
Cl K	-0.32	-0.26	0.00	
K K	0.08	0.05	0.09	K2O
Ca K	66.28	46.66	92.74	CaO
Mn K	0.95	0.49	1.22	MnO
Fe K	0.89	0.45	1.14	FeO
Cu K	1.30	0.58	1.62	CuO
Sr L	1.05	0.34	1.24	SrO
O	28.61	50.45		
Totals	100.00			

Kor(1.33-1.38)
L.inopinata κέλυφος 1



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.98	1.13	1.32	Na2O
Mg K	2.35	2.55	3.90	MgO
Al K	2.03	1.98	3.84	Al2O3
Si K	6.76	6.35	14.47	SiO2
S K	0.26	0.22	0.66	SO3
Cl K	0.23	0.17	0.00	
K K	1.57	1.06	1.89	K2O
Ca K	47.55	31.29	66.54	CaO
Mn K	0.08	0.04	0.10	MnO
Fe K	1.58	0.74	2.03	FeO
Cu K	0.83	0.35	1.04	CuO
Sr L	1.82	0.55	2.15	SrO
Ba L	1.64	0.31	1.83	BaO
O	32.31	53.26		
Totals	100.00			

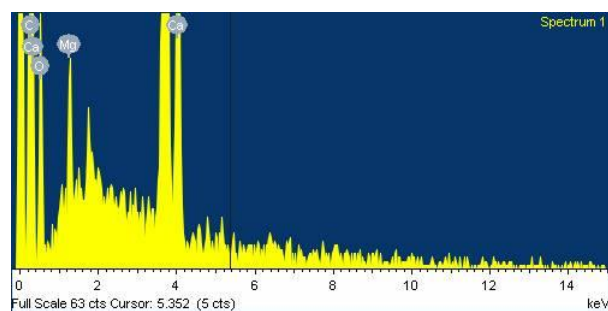
Kor(1.33-1.38)
L.inopinata κέλυφος 2



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	1.31	1.54	1.77	Na2O
Mg K	1.73	1.92	2.88	MgO
Al K	1.40	1.39	2.64	Al2O3
Si K	2.73	2.62	5.84	SiO2
S K	0.30	0.25	0.74	SO3
Cl K	0.01	0.01	0.00	
K K	0.23	0.16	0.28	K2O
Ca K	58.89	39.54	82.39	CaO
Mn K	0.78	0.38	1.01	MnO
Fe K	0.54	0.26	0.69	FeO
Sr L	1.48	0.46	1.75	SrO
O	30.60	51.48		
Totals	100.00			

Kor(1.33-1.38)

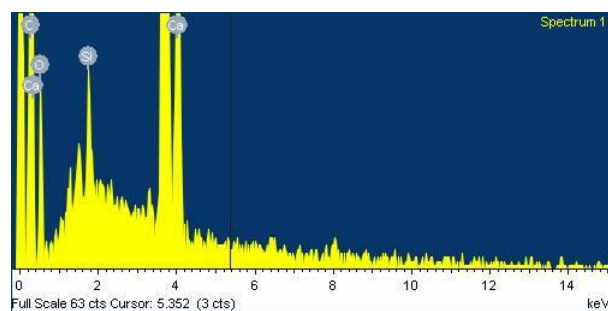
L.inopinata κέλυφος 3



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.65	0.77	0.88	Na2O
Mg K	3.17	3.54	5.25	MgO
Al K	0.29	0.29	0.55	Al2O3
Si K	1.03	1.00	2.21	SiO2
S K	0.21	0.18	0.52	SO3
Cl K	0.38	0.29	0.00	
K K	0.41	0.28	0.49	K2O
Ca K	63.17	42.85	88.39	CaO
Mn K	0.08	0.04	0.11	MnO
Fe K	0.62	0.30	0.80	FeO
Sr L	0.35	0.11	0.41	SrO
O	29.63	50.34		
Totals	100.00			

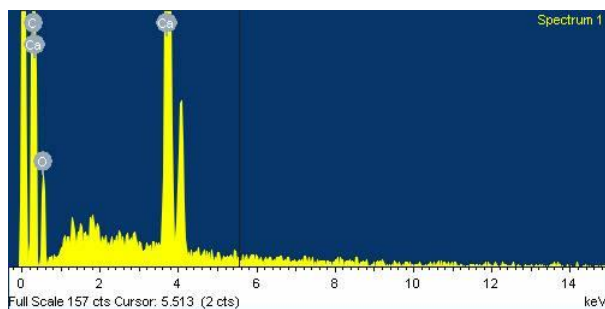
Kor(1.44-1.48)

L.inopinata κέλυφος 1



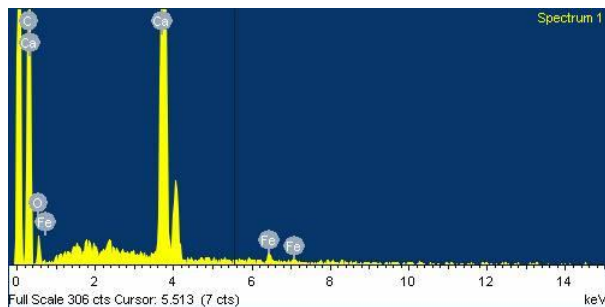
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.64	0.77	0.87	Na2O
Mg K	0.78	0.88	1.29	MgO
Al K	0.75	0.76	1.41	Al2O3
Si K	1.66	1.62	3.55	SiO2
S K	0.19	0.16	0.47	SO3
Cl K	0.03	0.02	0.00	
K K	0.58	0.40	0.69	K2O
Ca K	63.96	43.77	89.50	CaO
Mn K	0.17	0.09	0.23	MnO
Fe K	1.02	0.50	1.31	FeO
Sr L	0.56	0.18	0.67	SrO
O	29.66	50.86		
Totals	100.00			

Kor(1.44-1.48)
L.inopinata κέλυφος 2



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.31	0.37	0.42	Na2O
Mg K	1.57	1.78	2.60	MgO
Al K	0.18	0.19	0.34	Al2O3
Si K	0.70	0.69	1.50	SiO2
S K	-0.06	-0.05	-0.15	SO3
Cl K	0.31	0.24	0.00	
K K	0.11	0.07	0.13	K2O
Ca K	67.30	46.39	94.17	CaO
Mn K	0.68	0.34	0.88	MnO
Fe K	-0.51	-0.25	-0.65	FeO
Sr L	0.39	0.12	0.46	SrO
O	29.02	50.11		
Totals	100.00			

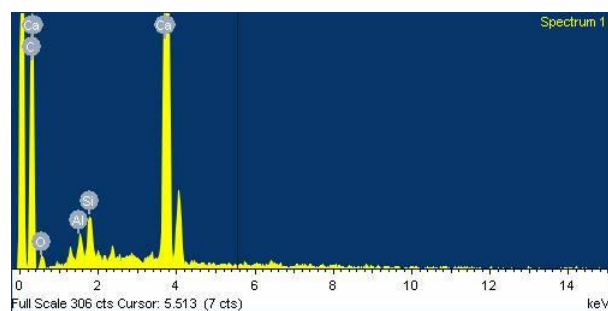
Kor(1.62-1.65)
L.inopinata κέλυφος 1



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.52	0.63	0.71	Na2O
Mg K	0.14	0.16	0.24	MgO
Al K	0.17	0.17	0.31	Al2O3
Si K	0.69	0.68	1.48	SiO2
S K	0.82	0.71	2.05	SO3
Cl K	-0.13	-0.10	0.00	
K K	-0.27	-0.19	-0.32	K2O
Ca K	64.87	45.05	90.76	CaO
Mn K	0.67	0.34	0.87	MnO
Fe K	2.66	1.33	3.43	FeO
Sr L	0.51	0.16	0.61	SrO
O	29.33	51.04		
Totals	100.00			

Kor(1.62-1.65)

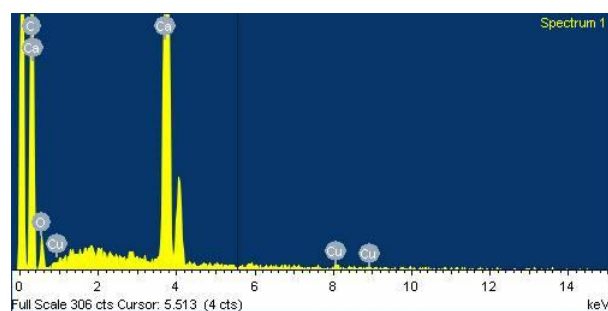
L.inopinata κέλυφος 2



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	-0.12	-0.14	-0.16	Na ₂ O
Mg K	1.27	1.40	2.11	MgO
Al K	1.64	1.63	3.11	Al ₂ O ₃
Si K	3.16	3.02	6.76	SiO ₂
S K	0.87	0.73	2.17	SO ₃
Cl K	-0.04	-0.03	0.00	
K K	0.30	0.21	0.36	K ₂ O
Ca K	59.39	39.74	83.10	CaO
Mn K	-0.40	-0.20	-0.52	MnO
Fe K	1.27	0.61	1.63	FeO
Sr L	1.24	0.38	1.46	SrO
O	31.41	52.64		
Totals	100.00			

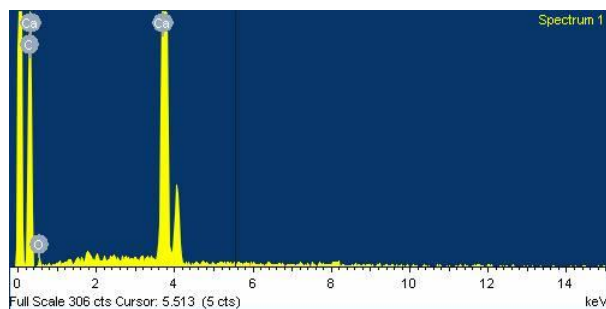
Kor(1.73-1.80)

L.inopinata κέλυφος 1



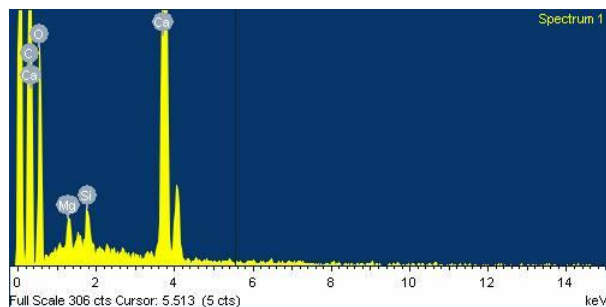
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	-0.58	-0.71	-0.79	Na ₂ O
Mg K	0.62	0.71	1.02	MgO
Al K	0.40	0.41	0.76	Al ₂ O ₃
Si K	0.35	0.35	0.75	SiO ₂
S K	0.10	0.09	0.26	SO ₃
Cl K	-0.13	-0.10	0.00	
K K	0.08	0.06	0.10	K ₂ O
Ca K	68.95	48.12	96.47	CaO
Mn K	0.18	0.09	0.23	MnO
Fe K	0.25	0.12	0.32	FeO
Sr L	0.86	0.27	1.01	SrO
O	28.93	50.58		
Totals	100.00			

Kor(1.73-1.80)
L.inopinata κέλυφος 2



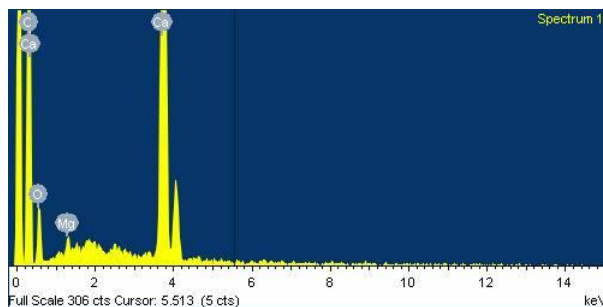
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.06	0.08	0.09	Na2O
Mg K	0.48	0.54	0.79	MgO
Al K	0.25	0.26	0.47	Al2O3
Si K	0.87	0.87	1.87	SiO2
S K	-0.08	-0.07	-0.20	SO3
Cl K	-0.10	-0.08	0.00	
K K	0.23	0.17	0.28	K2O
Ca K	67.90	47.23	95.00	CaO
Mn K	0.03	0.02	0.04	MnO
Fe K	0.70	0.35	0.89	FeO
Sr L	0.74	0.24	0.87	SrO
O	28.93	50.41		
Totals	100.00			

Kor(1.73-1.80)
L.inopinata κέλυφος 3



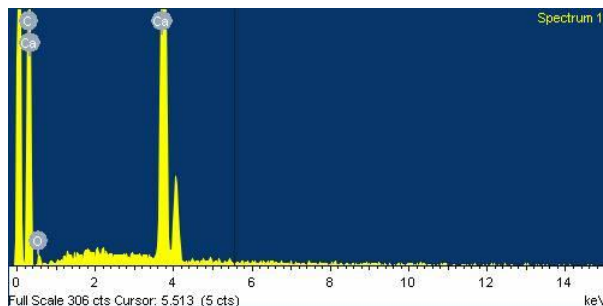
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.79	0.93	1.07	Na2O
Mg K	3.15	3.50	5.23	MgO
Al K	0.90	0.90	1.70	Al2O3
Si K	2.65	2.55	5.68	SiO2
S K	-0.23	-0.20	-0.58	SO3
Cl K	0.37	0.28	0.00	
K K	0.39	0.27	0.47	K2O
Ca K	59.01	39.75	82.56	CaO
Mn K	0.61	0.30	0.79	MnO
Fe K	0.98	0.47	1.26	FeO
Sr L	1.23	0.38	1.45	SrO
O	30.14	50.86		
Totals	100.00			

Kor(2.08-2.12)
L.inopinata κέλυφος 1



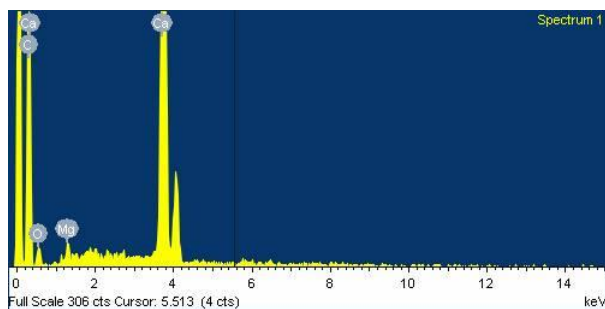
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.72	0.86	0.97	Na2O
Mg K	1.61	1.83	2.67	MgO
Al K	0.44	0.45	0.84	Al2O3
Si K	0.30	0.29	0.64	SiO2
S K	-0.13	-0.11	-0.32	SO3
Cl K	-0.24	-0.18	0.00	
K K	0.33	0.23	0.40	K2O
Ca K	67.40	46.43	94.30	CaO
Mn K	0.47	0.23	0.60	MnO
Fe K	-0.30	-0.15	-0.38	FeO
Sr L	0.44	0.14	0.52	SrO
O	28.95	49.97		
Totals	100.00			

Kor(2.08-2.12)
L.inopinata κέλυφος 2



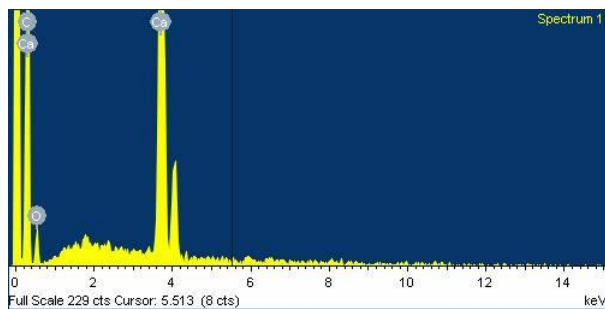
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.32	0.39	0.43	Na2O
Mg K	0.43	0.49	0.71	MgO
Al K	0.16	0.16	0.30	Al2O3
Si K	0.62	0.61	1.32	SiO2
S K	0.02	0.02	0.06	SO3
Cl K	-0.16	-0.13	0.00	
K K	0.15	0.11	0.18	K2O
Ca K	69.29	48.05	96.95	CaO
Mn K	-0.25	-0.13	-0.32	MnO
Fe K	-0.13	-0.06	-0.16	FeO
Sr L	0.59	0.19	0.69	SrO
O	28.96	50.30		
Totals	100.00			

Kor(2.08-2.12)
L.inopinata κέλυφος 3



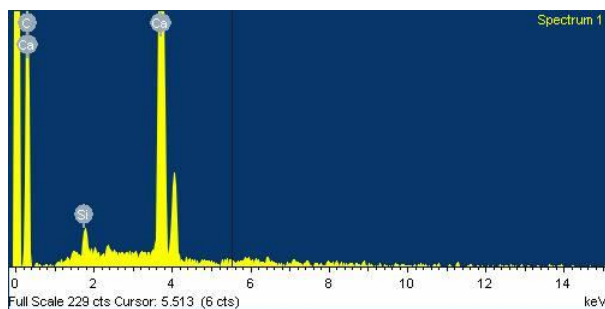
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	-0.60	-0.72	-0.81	Na2O
Mg K	2.00	2.29	3.32	MgO
Al K	0.15	0.15	0.28	Al2O3
Si K	0.13	0.13	0.27	SiO2
S K	0.31	0.27	0.78	SO3
Cl K	0.25	0.20	0.00	
K K	-0.04	-0.03	-0.05	K2O
Ca K	66.95	46.42	93.68	CaO
Mn K	-0.06	-0.03	-0.07	MnO
Fe K	1.55	0.77	2.00	FeO
Sr L	0.29	0.09	0.35	SrO
O	29.06	50.46		
Totals	100.00			

Kor(2.24-2.27)
L.inopinata κέλυφος 1



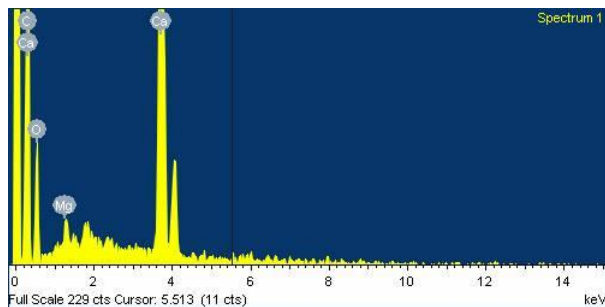
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	-0.35	-0.42	-0.47	Na2O
Mg K	0.02	0.03	0.04	MgO
Al K	0.32	0.33	0.60	Al2O3
Si K	0.74	0.74	1.59	SiO2
S K	0.26	0.23	0.64	SO3
Cl K	0.11	0.08	0.00	
K K	0.44	0.31	0.53	K2O
Ca K	67.03	46.89	93.78	CaO
Mn K	0.91	0.47	1.18	MnO
Fe K	0.89	0.45	1.15	FeO
Sr L	0.72	0.23	0.86	SrO
O	28.91	50.66		
Totals	100.00			

Kor(2.70-2.74)
L.inopinata κέλυφος 1



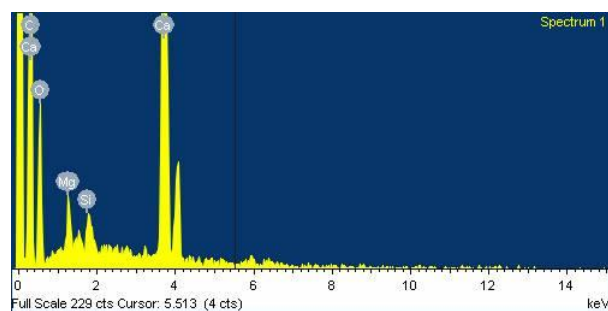
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.45	0.54	0.61	Na2O
Mg K	0.19	0.22	0.32	MgO
Al K	0.43	0.43	0.80	Al2O3
Si K	1.78	1.75	3.81	SiO2
S K	0.38	0.33	0.95	SO3
Cl K	0.02	0.02	0.00	
K K	0.07	0.05	0.08	K2O
Ca K	64.75	44.50	90.60	CaO
Mn K	0.92	0.46	1.18	MnO
Fe K	0.83	0.41	1.07	FeO
Sr L	0.47	0.15	0.55	SrO
O	29.71	51.16		
Totals	100.00			

Kor(2.70-2.74)
L.inopinata κέλυφος 2



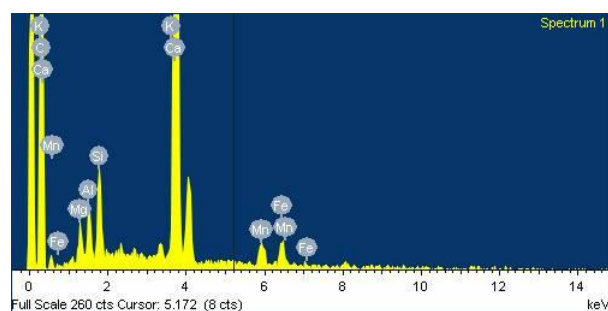
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.40	0.48	0.54	Na2O
Mg K	1.99	2.25	3.29	MgO
Al K	0.46	0.47	0.87	Al2O3
Si K	0.87	0.85	1.86	SiO2
S K	0.40	0.34	0.99	SO3
Cl K	0.00	0.00	0.00	
K K	-0.20	-0.14	-0.25	K2O
Ca K	64.19	44.04	89.81	CaO
Mn K	0.07	0.04	0.10	MnO
Fe K	0.97	0.48	1.25	FeO
Sr L	1.31	0.41	1.54	SrO
O	29.56	50.80		
Totals	100.00			

Kor(2.70-2.74)
L.inopinata κέλυφος 3



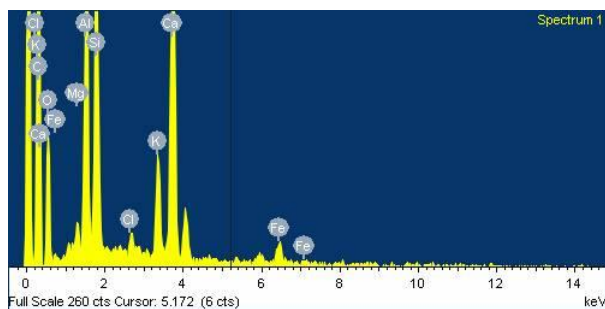
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.52	0.62	0.70	Na2O
Mg K	3.20	3.59	5.31	MgO
Al K	0.26	0.27	0.50	Al2O3
Si K	1.90	1.84	4.06	SiO2
S K	0.16	0.14	0.41	SO3
Cl K	-0.05	-0.03	0.00	
K K	-0.26	-0.18	-0.32	K2O
Ca K	60.72	41.34	84.96	CaO
Mn K	0.93	0.46	1.21	MnO
Fe K	0.44	0.21	0.56	FeO
Sr L	2.25	0.70	2.66	SrO
O	29.92	51.04		
Totals	100.00			

Kor(3.47-3.50)
L.inopinata κέλυφος 1



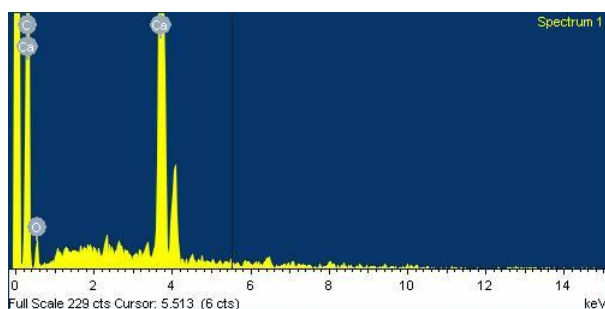
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.88	1.03	1.19	Na2O
Mg K	2.28	2.51	3.78	MgO
Al K	2.60	2.59	4.92	Al2O3
Si K	4.34	4.15	9.29	SiO2
S K	0.32	0.27	0.80	SO3
Cl K	0.30	0.23	0.00	
K K	0.89	0.61	1.07	K2O
Ca K	46.54	31.18	65.12	CaO
Mn K	3.82	1.87	4.94	MnO
Fe K	4.66	2.24	6.00	FeO
Cu K	1.75	0.74	2.19	CuO
Sr L	0.35	0.11	0.41	SrO
O	31.26	52.47		
Totals	100.00			

Kor(3.47-3.50)
L.inopinata κέλυφος 2



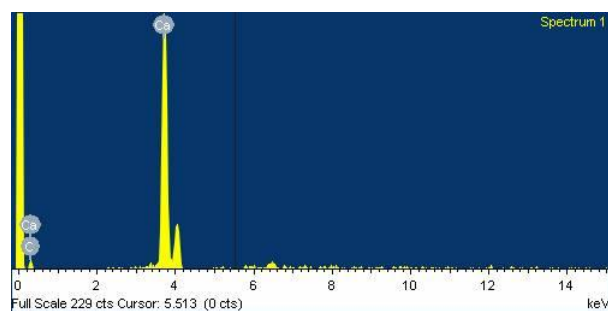
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.47	0.48	0.64	Na2O
Mg K	1.07	1.02	1.77	MgO
Al K	12.46	10.71	23.53	Al2O3
Si K	15.80	13.05	33.80	SiO2
S K	-0.01	-0.01	-0.04	SO3
Cl K	0.92	0.60	0.00	
K K	4.64	2.75	5.59	K2O
Ca K	19.75	11.43	27.63	CaO
Mn K	0.91	0.38	1.18	MnO
Fe K	2.68	1.11	3.45	FeO
Cu K	0.42	0.15	0.53	CuO
Sr L	0.85	0.22	1.00	SrO
O	40.05	58.09		
Totals	100.00			

Kor(3.47-3.50)
L.inopinata κέλυφος 3



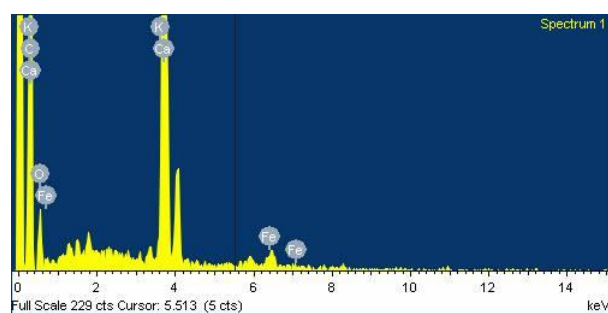
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	1.03	1.25	1.39	Na2O
Mg K	0.49	0.57	0.82	MgO
Al K	0.09	0.10	0.17	Al2O3
Si K	-0.05	-0.05	-0.10	SiO2
S K	0.51	0.44	1.27	SO3
Cl K	0.59	0.47	0.00	
K K	0.94	0.67	1.13	K2O
Ca K	65.35	45.56	91.44	CaO
Mn K	0.88	0.45	1.14	MnO
Fe K	1.56	0.78	2.00	FeO
Sr L	0.13	0.04	0.15	SrO
O	28.48	49.73		
Totals	100.00			

Kor(3.47-3.50)
L.inopinata κέλυφος 4



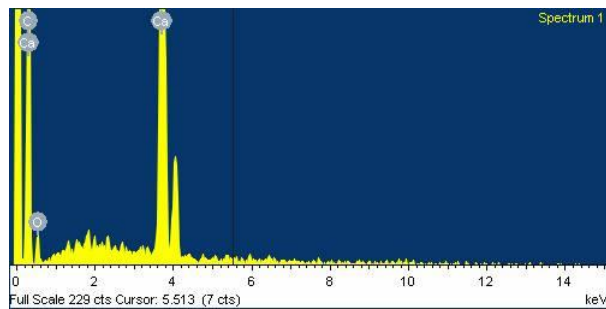
Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.04	0.05	0.05	Na2O
Mg K	0.16	0.19	0.27	MgO
Al K	-0.13	-0.13	-0.24	Al2O3
Si K	0.06	0.06	0.12	SiO2
S K	0.04	0.04	0.10	SO3
Cl K	0.17	0.14	0.00	
K K	0.28	0.20	0.34	K2O
Ca K	67.81	47.88	94.88	CaO
Mn K	0.85	0.44	1.09	MnO
Fe K	2.36	1.20	3.04	FeO
Sr L	0.14	0.04	0.16	SrO
O	28.21	49.90		
Totals	100.00			

Kor(3.63-3.67)
L.inopinata κέλυφος 1



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.40	0.48	0.54	Na2O
Mg K	0.66	0.75	1.09	MgO
Al K	1.11	1.14	2.09	Al2O3
Si K	1.21	1.19	2.59	SiO2
S K	0.34	0.30	0.86	SO3
Cl K	-0.20	-0.16	0.00	
K K	1.02	0.72	1.23	K2O
Ca K	61.27	42.36	85.73	CaO
Mn K	1.47	0.74	1.90	MnO
Fe K	2.59	1.29	3.33	FeO
Sr L	0.71	0.23	0.84	SrO
O	29.42	50.95		
Totals	100.00			

Kor(3.63-3.67)
L.inopinata κέλυφος 2



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Na K	0.06	0.07	0.08	Na ₂ O
Mg K	0.30	0.34	0.49	MgO
Al K	0.38	0.39	0.71	Al ₂ O ₃
Si K	0.63	0.63	1.35	SiO ₂
S K	0.87	0.76	2.17	SO ₃
Cl K	0.18	0.14	0.00	
K K	0.40	0.29	0.49	K ₂ O
Ca K	65.09	45.27	91.07	CaO
Mn K	0.75	0.38	0.96	MnO
Fe K	0.36	0.18	0.46	FeO
Sr L	1.72	0.55	2.04	SrO
O	29.27	51.00		
Totals	100.00			