



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΓΙΟΥΡΗ Ν. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Γεωλόγος

Υπότροφος του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών

**ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ – ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΣΣΗΡΟΥ, Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον»

Ειδίκευση: Ορυκτοί Πόροι και Περιβάλλον

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2008

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ**

ΓΙΟΥΡΗ Ν. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
Γεωλόγος
Υπότροφος του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών

**ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ – ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΣΣΗΡΟΥ, Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας
Ημερομηνία προφορικής εξέτασης: 19/6/2008

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βαβελίδης Μιχαήλ, Καθηγητής, Επιβλέπων

Τρώντσιος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος

Φυτιάνος Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Μέλος

*Αφιερώνεται στους γονείς μου
για τη συνεχή υποστήριξη, συμπαράσταση
και κατανόηση που μου προσφέρουν*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	8
2.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	8
2.2. ΟΙΚΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	8
2.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΑΓΛΥΦΟ.....	10
2.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	13
2.5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ...14	
2.5.1. ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	14
2.5.2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	16
3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	20
3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	21
3.1.1. ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ	21
3.1.2. ΠΕΡΙΟΔΟΠΙΚΗ ΖΩΝΗ	21
3.1.3. ΜΕΤΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	22
3.2. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	23
3.3. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ	24
3.4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	25
3.5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ	27
4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ...30	
4.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ.....	32
4.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΑΤΩΝ	35
5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	39
5.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	39
5.1.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	40
5.1.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ FOLK	42
5.1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ASTM D-2487	42
5.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	43
5.3. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	45
5.3.1. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ	45
5.3.2. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΑΤΩΝ	45

<u>6. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΠΟΓΛΑΝΑ</u>	<u>47</u>
6.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	47
6.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ FOLK	52
6.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ASTM D-2487	54
<u>7. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΠΟΓΛΑΝΑ.....</u>	<u>55</u>
7.1. ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ	55
7.2. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	67
7.2.1. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ	67
7.2.2. ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ	72
<u>8. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ</u>	<u>86</u>
8.1. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ	86
8.2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΑΤΩΝ	87
8.2.1. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	87
8.2.2. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	88
<u>9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΛΑΝΑ</u>	<u>89</u>
9.1. ΙΖΗΜΑΤΑ.....	89
9.2. ΥΔΑΤΑ	92
9.2.1. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	92
9.2.2. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	94
<u>10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	<u>97</u>
10.1. ΙΖΗΜΑΤΑ.....	97
10.1.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	97
10.1.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	98
10.1.3. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	98
10.2. ΥΔΑΤΑ	99
<u>11. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</u>	<u>100</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>102</u>
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	102
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διατριβή ειδίκευσης η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο “Ορυκτοί Πόροι και Περιβάλλον”, του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας (ΟΠΚ), του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αντικείμενο της διατριβής αυτής είναι η γεωχημική-ορυκτολογική περιβαλλοντική μελέτη της περιοχής έρευνας, την οποία διαρρέει ο ποταμός Μπογδάνας. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Νομό Θεσσαλονίκης, στη Β. Ελλάδα. Ο ποταμός Μπογδάνας πηγάζει από το δυτικό τμήμα του όρους Βερτίσκος και αφού περάσει ανατολικά του χωριού Άσσηρος και δυτικά της πόλης του Λαγκαδά, εκβάλλει στη λίμνη Κορώνεια.

Από τη θέση αυτή, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή κ. Μ. Βαβελίδη για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη στήριξη, τη συνεχή παροχή επιστημονικών υποδείξεων, το ενδιαφέρον και τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου για την περάτωση της παρούσας διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα ακόμη να εκφράσω στα δύο υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γ. Τρώντσιο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κ. Φυτιάνο, που με τις χρήσιμες συμβουλές τους, τις παρατηρήσεις και το ενδιαφέρον τους με βοήθησαν σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Δρ. Β Μέλφο για τη σημαντική του βοήθεια στην υπαίθρια εργασία και στη συλλογή των δειγμάτων, για το συνεχές ενδιαφέρον του και την παρακολούθηση της εξέλιξης της έρευνας, τις προτάσεις του, την υπομονή του και τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του.

Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα Χ. Χριστοφορίδη για την άψογη συνεργασία και την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων των υδάτων στο Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος, του Τμήματος Χημείας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ευχαριστίες οφείλω και στον κ. Ν. Επιτρόπου, Προϊστάμενο του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) στο παράρτημα Ξάνθης, στον κ. Γ. Κατσανόπουλο, Προϊστάμενο του χημείου του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) στο παράρτημα Ξάνθης καθώς και στο προσωπικό του Εργαστηρίου, για την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων των ιζημάτων.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω θερμά τη Δρ. Α. Παπαδοπούλου για τις αναλύσεις στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, τη βοήθειά της σε

θέματα μικροσκοπίας πετρωμάτων αλλά και για τις γενικότερες επισημάνσεις και το ενδιαφέρον της σε όλη τη διάρκεια εξέλιξης της διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω και στον Δρ. Ν. Καντηράνη, για τις προτάσεις του και την πολύτιμη βοήθειά του σε θέματα περίθλασης ακτίνων Χ καθώς και τον συνάδελφο γεωλόγο Α. Δρακούλη για την πραγματοποίηση της ακτινογράφησης των δειγμάτων.

Ευχαριστώ ακόμη τον Καθηγητή κ. Θ. Καρακώστα για τη σημαντική του βοήθεια στην εύρεση στοιχείων που αφορούν στις κλιματικές και μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έρευνας.

Ευχαριστίες επίσης εκφράζονται στον παρασκευαστή του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας κ. Γ. Μιχαηλίδη για την άμεση και ιδανική προετοιμασία των λεπτών και στιλπνών τομών που χρησιμοποιηθήκαν, καθώς και στην κ. Β. Ζαζάνη, Χημικό Μηχανικό της Διεύθυνσης Προστασίας Περιβάλλοντος της Νομαρχίας Θεσσαλονίκης, για την εμπεριστατωμένη βοήθεια και τις υποδείξεις σχετικά με τις πηγές βιομηχανικής ρύπανσης στην περιοχή έρευνας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τους καλούς φίλους και συναδέλφους γεωλόγους Α. Παπαδόπουλο, Ε. Θεοδόσογλου, Α. Μπουρλίβα, Γ. Ρωμανίδη, Κ. Πιπερά και Γ. Γεωργιάδη για την ηθική συμπαράσταση, τις εποικοδομητικές συζητήσεις, τη στήριξη και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν σε όλα τα στάδια της προσπάθειάς μου αυτής.

Θερμά ευχαριστώ όλα ανεξαιρέτως τα μέλη του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας για τη συμβολή τους στην περάτωση της παρούσας διατριβής.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών του οποίου ήμουν υπότροφος για την πολύτιμη οικονομική βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Νίκο και Μίνα, για την υλική αλλά κυρίως την ηθική στήριξη και συμπαράσταση που μου προσφέρουν αδιάκοπα κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Κορώνεια μαζί με τη Βόλβη αποτελούν ένα σύστημα υδροβιότοπου ο οποίος προστατεύεται από μια σειρά διεθνών συμβάσεων και ρυθμιστικών πράξεων, που προσδιορίζουν το καθεστώς ανάπτυξης και διαχείρισης της περιοχής (Γιαννοπούλου και Παπαμιχαήλ 2006). Σύμφωνα λοιπόν με τις συμβάσεις αυτές η περιοχή των δύο λιμνών αποτελεί:

- ➔ α) «Υδροβιότοπο διεθνούς σημασίας» (σύμβαση Ramsar),
- ➔ β) «Ειδικά προστατευόμενη περιοχή» (SPA, οδηγία 69/409/ΕΟΚ),
- ➔ γ) «Περιοχή κοινοτικού ενδιαφέροντος (SCI, οδηγία 92/43/ΕΟΚ) και
- ➔ δ) «Ειδικά προστατευόμενη περιοχή» (Σύμβαση Βαρκελώνης).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με την ΚΥΑ αριθμός 6919/11-2-2004 (ΦΕΚ 248/Α/5-3-2004), οι λιμναίες, χερσαίες και υδάτινες περιοχές του υδροτοπικού συστήματος των λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και των Μακεδονικών Τεμπών χαρακτηρίστηκαν ως «Εθνικό πάρκο» στο οποίο καθορίστηκαν οι ζώνες προστασίας, οι χρήσεις, οι όροι και οι περιορισμοί δόμησης. Επίσης σύμφωνα με το ΦΕΚ 894Β/3-7-2003, έχει συγκροτηθεί ο Φορέας Διαχείρισης Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης (Γιαννοπούλου και Παπαμιχαήλ 2006, Τσιούρης και Μαμώλος 2006)

Τα τελευταία 30 χρόνια παρατηρείται μία συνεχής και σημαντική μείωση των υδάτων της λίμνης Κορώνειας, η οποία ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '70. Πριν το 1970 το μέσο βάθος της λίμνης ήταν 5 m, το 1987 ήταν 4 m ενώ σήμερα είναι σταθερά μικρότερο από 1.5 m. Για πρώτη φορά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του 1995 το μέσο βάθος της λίμνης έφτασε να είναι μόλις 0.9-1.0 m και από τότε μέχρι σήμερα η στάθμη της κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με μικρές αυξομειώσεις. Σε άμεση συνάρτηση με τη στάθμη βρίσκονται η επιφάνεια και ο όγκος της λίμνης. Η επιφάνεια από 47 km² το 1970 μειώθηκε στα 35 km² το 1995 ενώ ο όγκος της μειώθηκε από 220×10⁶ m³ σε 36×10⁶ m³ αντίστοιχα και το 2002 έφτασε στα 20×10⁶ m³ (Ioannidou et al. 2003, Tzionas et al. 2004, Αντωνόπουλος και Γιαννιού 2006, Myloroulos et al. 2007).

Με βάση λοιπόν αυτές τις προγενέστερες εκτιμήσεις, μέχρι το 1985 το υδατικό ισοζύγιο της υπολεκάνης της λίμνης Κορώνειας ήταν θετικό με πλεόνασμα 37×10⁶ m³/year. Σχεδόν όλη η επιφανειακή απορροή οδηγούνταν μέσω των χειμάρρων που αποστραγγίζουν την γύρω ορεινή περιοχή και κατέληγε κατευθείαν στη λίμνη. Τα τελευταία 20 χρόνια όμως αυτό έχει σταματήσει να συμβαίνει, καθώς όλα τα ύδατα που ρέουν επιφανειακά κατεισδύουν ώστε να καλυφθεί το έλλειμμα του υπόγειου υδροφορέα που προκαλείται από την αυξημένη χρήση νερού. Αυτό έχει ως συνέπεια η λίμνη πλέον να τροφοδοτείται από μικρές ποσότητες

επιφανειακών υδάτων που φτάνουν έως $6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ (Τζιμόπουλος κ.ά. 2006, Myloroulos et al. 2007).

Σύμφωνα με τους Αντωνόπουλο και Γιαννιού 2006 και Τζιμόπουλο κ.ά. 2006 το αρνητικό υδατικό ισοζύγιο που έχει καταγραφεί τα τελευταία χρόνια οφείλεται κυρίως στην κακή διαχείριση των υδατικών πόρων και κυρίως στην υπέρμετρη κατανάλωση του αρδευτικού νερού. Η ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση των αναγκών σε νερό για αρδευτικούς σκοπούς οδήγησε στην ανόρυξη μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων γύρω από τη λίμνη και αποτέλεσε την κύρια αιτία της μείωσης της πιεζομετρίας του υδροφορέα της περιοχής.

Κάποιες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που εκδηλώνονται γύρω από τη λίμνη, επηρεάζουν το οικοσύστημα και το φυσικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής της Κορώνειας, άμεσα αλλά και έμμεσα. Τέτοιες δραστηριότητες είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία και η αλιεία, οι οποίες συνιστούν μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Δραστηριότητες όπως η βιομηχανία-βιοτεχνία και η οικιστική ανάπτυξη, συνιστούν σημειακές πηγές ρύπανσης (Τσιούρης και Μαμώλος 2006). Έτσι, εκτός του ότι ο υδάτινος όγκος των υδάτων της λίμνης μειώνεται σημαντικά, διαπιστώνεται ταυτόχρονα και επιβάρυνση των υδάτων αυτών με ρύπους από τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, καθώς επίσης και από βιομηχανίες-βιοτεχνίες της περιοχής (Kaiserli et al. 2002, Fytianos and Lourantou 2004).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή υποβάθμιση του υδάτινου αυτού συστήματος. Σύμφωνα με τους Tsiouris et al. (2000), Mitraki et al. 2004, Τζιμόπουλο κ.ά. (2006), Gantidis et al. (2006), στα ύδατα της λίμνης έχει παρατηρηθεί βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων, ενώ έχουν αυξηθεί και τα ανεπιθύμητα είδη φυτοπλαγκτού και βιοτοξινών.

Τα προβλήματα της λίμνης απασχολούν ιδιαίτερα τους επιστήμονες και τους αρμόδιους φορείς. Ανάμεσα στις πολυάριθμες μελέτες, σημαντική θέση κατέχουν τα δύο επιχειρησιακά σχέδια (Master Plan) που έγιναν για τη διάσωση και αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Το πρώτο εκπονήθηκε από την Knight Piesold Ltd (1998) και το δεύτερο από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (2004) για λογαριασμό της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Θεσσαλονίκης. Με βάση τα δύο αυτά επιχειρησιακά σχέδια, προέκυψε πως η έντονη αύξηση των γεωργικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης είναι οι κυριότεροι παράγοντες για αυτές τις μεταβολές. Επιπλέον σημαντικό ρόλο στην επιβάρυνση των υδάτων παίζουν οι χείμαρροι και τάφροι που αποστραγγίζουν τη λεκάνη απορροής της λίμνης Κορώνειας. Ένας από τους χείμαρρους αυτούς είναι και ο ποταμός Μπογδάνας.

Η εκπόνηση της παρούσας διατριβής αφορά στην κοκκομετρική, ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη των ιζημάτων αλλά και τη γεωχημική μελέτη των υδάτων του κάτω ρου του ποταμού Μπογδάνα. Σκοπός της διατριβής αυτής είναι να μελετηθούν τα ιστολογικά, ορυκτολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά των ιζημάτων και επιπλέον να προσδιορισθούν οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και οργανικών ουσιών των υδάτων.

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση της περιοχής έρευνας κρίθηκε σκόπιμο να προσδιοριστεί, καθώς εκτός από τις φυσικές διεργασίες όπως είναι το γεωλογικό υπόβαθρο και η αποσάθρωσή του, στην ευρύτερη περιοχή διαπιστώθηκαν ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η ανεξέλεγκτη απόρριψη απορριμμάτων, η λειτουργία βιομηχανικών μονάδων και η καλλιέργεια γεωργικών εκτάσεων. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με στόχο να προσδιοριστεί το μέγεθος της πιθανής ρύπανσης της λίμνης Κορώνειας από τον Μπογδάνα.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Νομό Θεσσαλονίκης, ανατολικά και νότια του χωριού Άσσηρος, στο περιθώριο της Μυγδονίας (Σχ. 2.1.1.).



Σχήμα 2.1.1. Θέση του Νομού Θεσσαλονίκης και των Δήμων Λαχανά, Ασσήρου και Λαγκαδά που διατρέχει ο ποταμός Μπογδάνας.

Στη λεκάνη αυτή, η οποία καταλαμβάνει το βόρειο και κεντρικό τμήμα του νομού, εντοπίζονται η Λίμνη Κορώνεια (ή Λαγκαδά ή Αγίου Βασιλείου) στα δυτικά και η Λίμνη Βόλβη στα ανατολικά. Οι ορεινοί όγκοι που ορίζουν τη λεκάνη Μυγδονίας είναι ο Χορτιάτης στα νοτιοδυτικά, ο Βερτίσκος στα βόρεια, ενώ την ανατολική πλευρά καταλαμβάνει τμήμα των Κερδυλλίων.

Σημαντική είναι στην περιοχή μελέτης η παρουσία του ποταμού Μπογδάνας, ο οποίος ξεκινάει από το δυτικό μέρος του όρους Βερτίσκος, κατευθύνεται δυτικά-νοτιοδυτικά, η κοίτη του στρέφεται προς τα νοτιοανατολικά στο ύψος της Ασσήρου και συνεχίζει τη ροή του έξω από την πόλη του Λαγκαδά μέχρι να καταλήξει στη λίμνη Κορώνεια όπου και εκβάλλει.

2.2. ΟΙΚΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Μετά την εφαρμογή του «Σχεδίου Καποδίστριας» από το Υπουργείο Εσωτερικών το 1997, πολλές κοινότητες συγχωνεύθηκαν σε δήμους. Έτσι, αυτή τη στιγμή ο νομός Θεσσαλονίκης διαιρείται σε 45 δήμους, από τους οποίους, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1.1., ο Μπογδάνας διατρέχει κυρίως τους Δήμους Λαχανά, Ασσήρου και Λαγκαδά.

Ο Δήμος Λαχανά έχει πληθυσμό 3.779 κατοίκους (Ε.Σ.Υ.Ε. 2001) και μετά το νέο θεσμικό πλαίσιο του Ν. 2539/4-12-97 για την τοπική αυτοδιοίκηση Α βαθμού, αποτελείται από τα εξής Δημοτικά Διαμερίσματα:

- ➔ **Δ.δ. Ξυλοπόλεως** μετά του οικισμού
 - η Ξυλόπολις [1381 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Καρτερών** [891 κάτοικοι] μετά των οικισμών
 - οι Καρτερές [261 κάτοικοι]
 - η Δορκάς [482 κάτοικοι]
 - η Μαυρορράχη [63 κάτοικοι]
 - τα Στεφάνια [85 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Λαχανά** [786 κάτοικοι] μετά των οικισμών
 - ο Λαχανάς [542 κάτοικοι]
 - η Ευαγγελίστρια [183 κάτοικοι]
 - η Κυδωνέα [61 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Λευκοχωρίου** μετά του οικισμού
 - το Λευκοχώριον [406 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Νικοπόλεως** μετά του οικισμού
 - η Νικόπολις [315 κάτοικοι]

Ο Δήμος Ασσήρου έχει πληθυσμό 3.861 κατοίκους (Ε.Σ.Υ.Ε. 2001) και μετά το νέο θεσμικό πλαίσιο του Ν. 2539/4-12-97 για την τοπική αυτοδιοίκηση Α βαθμού, αποτελείται από τα εξής Δημοτικά Διαμερίσματα:

- ➔ **Δ.δ. Ασσήρου** [2.481 κάτοικοι] μετά των οικισμών
 - η Άσσηρος [2.264 κάτοικοι]
 - το Εξαμίλιον [217 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Κριθιάς (Κριθέας)** μετά του οικισμού
 - η Κριθιά [1.380 κάτοικοι]

Ο Δήμος Λαγκαδά έχει πληθυσμό 16.836 κατοίκους και μετά το νέο θεσμικό πλαίσιο του Ν. 2539/4-12-97 για την τοπική αυτοδιοίκηση Α βαθμού, αποτελείται από τα εξής Δημοτικά Διαμερίσματα:

- ➔ **Δ.δ. Λαγκαδά** μετά του οικισμού
 - ο Λαγκαδάς [7.215 κάτοικοι]

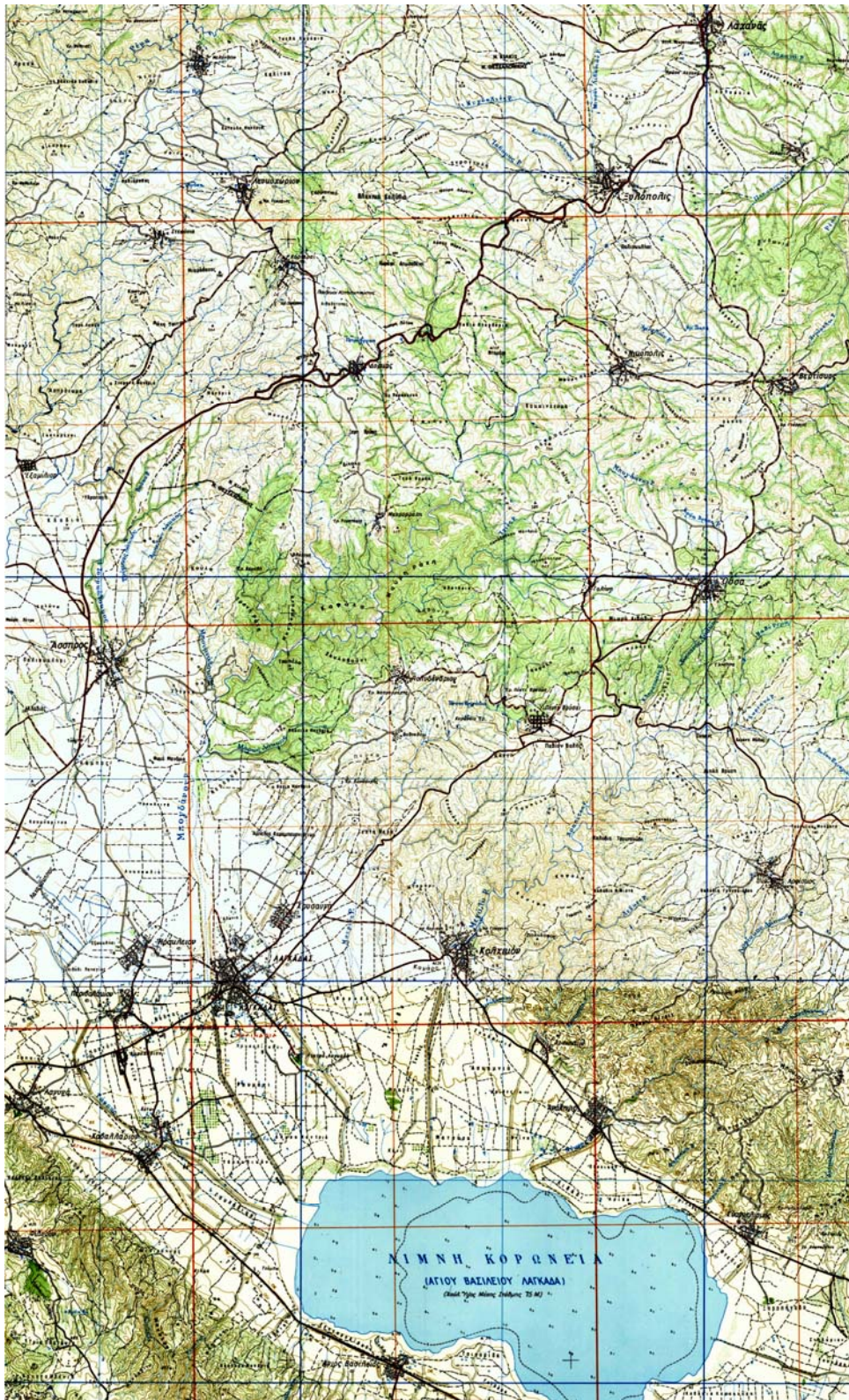
- ➔ **Δ.δ. Αναλήψεως** μετά του οικισμού
 - η Ανάληψις [606 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Ηρακλείου** μετά του οικισμού
 - το Ηράκλειο [914 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Καβαλλαρίου** μετά του οικισμού
 - το Καβαλλάριον [1.874 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Κολχικού** μετά του οικισμού
 - το Κολχικόν [1.959 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Λαγυνών** μετά του οικισμού
 - τα Λαγυνά [2.409 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Περιβολακίου** μετά του οικισμού
 - το Περιβολάκιον [841 κάτοικοι]
- ➔ **Δ.δ. Χρυσαιγής** μετά του οικισμού
 - η Χρυσαιγή [1.018 κάτοικοι]

2.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΑΓΛΥΦΟ

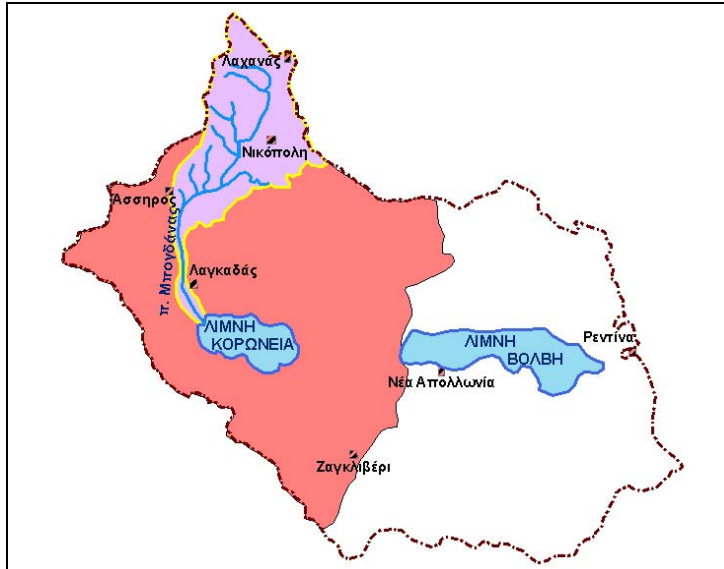
Κύριο χαρακτηριστικό της ευρύτερης περιοχής έρευνας είναι η λεκάνη της Μυγδονίας, η οποία αποτελεί τεκτονικό βύθισμα με διεύθυνση Α-Δ έως ΒΔ-ΝΑ. Η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου βυθίσματος, του Προμυγδονιακού, το οποίο περιλάμβανε και τις γειτονικές λεκάνες Ζαγκλιβερίου και Μαραθούσας. Η ίδια όμως η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελείται από δύο υπολεκάνες. Στα δυτικά υπάρχει η υπολεκάνη του Λαγκαδά στην οποία εντοπίζεται η λίμνη Κορώνεια, ενώ στα ανατολικά βρίσκεται η υπολεκάνη της Βόλβης με την ομώνυμη λίμνη (Ψιλοβίκος, 1977).

Το δυτικό όριο της υπολεκάνης του Λαγκαδά απαρτίζει μια σειρά χαμηλών ραχών και κοιλωμάτων μέσου υψομέτρου 200 έως 300 m με τον απότομα υψούμενο ορεινό όγκο της Καμήλας (569 m) να δεσπόζει (Σχ. 2.3.1.). Προς βορρά η υπολεκάνη οριοθετείται από τη ζώνη των υψηλών λόφων του Λαχανά (687 m) και του Ισώματος (916 m).

Ανατολικά, στο κέντρο της Μυγδονίας, υπάρχει το ασαφές όριο των υπολεκανών Λαγκαδά και Βόλβης, που αποτελείται από ένα σύστημα ραχών, λοφίσκων και αναβαθμίδων μέσω των οποίων διέρχεται ο ποταμός Δερβένι. Τέλος, το νότιο τμήμα της υπολεκάνης οριοθετείται από τις πλαγιές και τα υψώματα των βόρειων κλιτύων του όρους Χορτιάτη (1021 m) (Ψιλοβίκος, 1977). Στο δυτικό τμήμα της υπολεκάνης εκτείνεται εύφορη πεδινή έκταση, εντός της οποίας βρίσκεται και η πόλη του Λαγκαδά.



Σχήμα 2.3.1. Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Γ.Υ.Σ., 1:50000).



Σχήμα 2.3.2. Η λεκάνη της Μυγδονίας με την υπολεκάνη του Λαγκαδά και η λεκάνη απορροής του ποταμού Μπογδάνα (από Τζιμόπουλο και Πλιάτσικα 2005, με μετατροπές).

Ο ποταμός Μπογδάνας, στη μελέτη του οποίου επικεντρώνεται η παρούσα διατριβή, καταλαμβάνει μέρος της βόρειας περιοχής της υπολεκάνης του Λαγκαδά (Σχ. 2.3.2.). Πηγάζει από τον Βερτίσκο στο βόρειο τμήμα της υπολεκάνης, αποστραγγίζοντας την περιοχή νότια του Λαχανά και καθώς διέρχεται ανατολικά της Ασσήρου και δυτικά του Λαγκαδά, εκβάλλει στο βορειοδυτικό τμήμα της λίμνης (Φωτ. 2.3.1.). Η έκταση της λεκάνης απορροής του υπολογίζεται στα 212 km² (Μουζούρη, 2002).



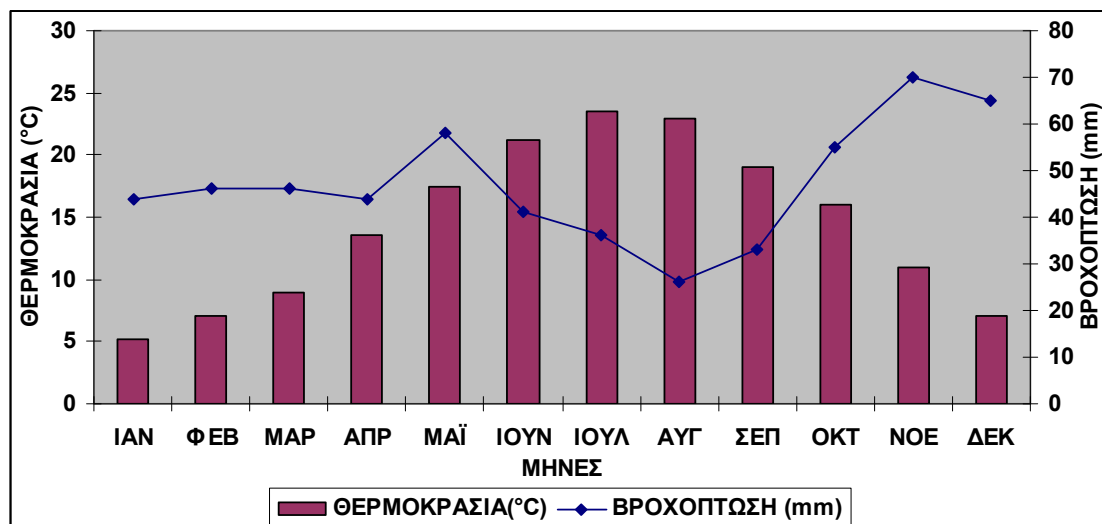
Φωτ. 2.3.1. Τμήμα της περιοχής έρευνας με την κοίτη του ποταμού Μπογδάνα.

2.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα κλιματικά στοιχεία της υπολεκάνης του Λαγκαδά προσομοιάζουν με εκείνα της πόλης της Θεσσαλονίκης, καθώς η μεταξύ τους απόσταση είναι σχετικά μικρή (15 km περίπου). Επιπλέον δεν εμφανίζεται κάποιο ιδιαίτερο κλιματικό φαινόμενο στην περιοχή μελέτης ώστε να διαφοροποιούνται οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν εκεί.

Στην περιοχή έρευνας δεν υπάρχουν επίσημα υδρομετεωρολογικά στοιχεία, καθώς οι μετεωρολογικοί σταθμοί που βρισκόταν στην ευρύτερη περιοχή δεν υφίστανται πλέον, με εξαίρεση το σταθμό του Λαγκαδά. Επειδή όμως σε αυτόν διαπιστώθηκε πως οι μετρήσεις δεν πραγματοποιούνται όπως ορίζει η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, οι μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή έρευνας έχουν καθοριστεί με βάση τα κλιματικά στοιχεία που διέθετε ο Μετεωρολογικός Σταθμός του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Σχ. 2.4.1.).

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, ο κλιματικός τύπος της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης με βάση την ταξινόμηση Koerppen χαρακτηρίζεται ως τύπος κλίματος Csa, δηλαδή μεσογειακός τύπος κλίματος ή μεσόθερμος τύπος κλίματος με ξηρό και θερμό θέρος (Μουζούρη, 2002). Τα γενικά χαρακτηριστικά αυτού του κλιματικού τύπου είναι μεσόθερμο κλίμα με ξηρή περίοδο το θέρος, το οποίο μάλιστα είναι θερμό, ενώ στα τμήματα ανώτερου υψομέτρου επικρατούν συγκριτικά δριμύτερες κλιματικές συνθήκες (Φλόκας, 1997).



Σχήμα 2.4.1. Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μετεωρολογικού Σταθμού του Α.Π.Θ. για το χρονικό διάστημα 1951 - 2000 (από Μουζούρη 2002).

Στο Σχήμα 2.4.1. παρουσιάζεται η εικόνα της ευρύτερης περιοχής όσον αφορά τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και βροχόπτωση. Παρατηρείται πως η υψηλότερη θερμοκρασία (23 °C) εκδηλώνεται κατά τους θερινούς μήνες, περίοδο που παρατηρείται και η χαμηλότερη βροχόπτωση (28 mm). Επίσης, η υψηλότερη μέση βροχόπτωση (70 mm) παρατηρείται κατά το μήνα Νοέμβριο.

Σύμφωνα με τη Μουζούρη (2002) η μέση μηνιαία τιμή υγρασίας στην περιοχή έρευνας είναι 67,5%, ενώ από ανεμολογική πλευρά στην περιοχή κυριαρχούν άνεμοι βορειοδυτικής, βόρειας και βορειοανατολικής κατεύθυνσης κυρίως με τη μέση μηνιαία τους ταχύτητα να κυμαίνεται από 4 – 4,5 m/sec.

2.5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.5.1. ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ

Όση έκταση είναι πεδινή γύρω από τη λίμνη Κορώνεια καλλιεργείται και αξιοποιείται στο σύνολό της. Οι κυριότερες γεωργικές καλλιέργειες περιλαμβάνουν σιτηρά, αραβόσιτο, μηδική, καπνά και σε μικρότερα ποσοστά βαμβάκι, ηλίανθο, άλλα δημητριακά όπως κριθάρι, βρώμη, σίκαλη και λαχανικά (Κοκκινάκης κ.ά. 2000).



Φωτ. 2.5.1.1. Άρδευση καλλιεργειών ηλίανθου και αραβόσιτου στην περιοχή Λαγκαδά.

Όλα τα είδη που καλλιεργούνται ως επί το πλείστον αρδεύονται, ανάλογα βέβαια την ποικιλία τους (Φωτ. 2.5.1.1.). Εξαίρεση αποτελεί το σιτάρι, το οποίο κανονικά δεν αρδεύεται. Η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται από γεωτρήσεις, καθώς οι μόνες απευθείας αντλήσεις από τη λίμνη προορίζονταν για το αρδευτικό δίκτυο του Ευαγγελισμού, το οποίο το 1994 σταμάτησε να λειτουργεί λόγω των σοβαρών προβλημάτων που δημιουργούσε στα ύδατα της λίμνης (Αντωνόπουλος και Γιαννιού 1999,2006).

Η άρδευση μέσω γεωτρήσεων, έχει ως αποτέλεσμα τη δραστική μείωση των αποθεμάτων του υπόγειου υδροφορέα της ευρύτερης περιοχής της Κορώνειας. Το πρόβλημα είναι έντονο καθώς έως το 1989 η ανόρυξη των γεωτρήσεων ήταν ανεξέλεγκτη ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης, στη λεκάνη απορροής της Κορώνειας υπάρχουν πάνω από 2000 γεωτρήσεις από τις οποίες οι περισσότερες είναι αρδευτικές.

Παράλληλα η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων με βάση το άζωτο, το φώσφορο και το ασβέστιο δημιούργησαν κατάσταση έντονων ευτροφικών συνθηκών στη λίμνη, ευνοώντας την υπερβολική ανάπτυξη φυτοπλαγκτού. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν να επιταχυνθεί η τοξικότητα που δημιουργείται από τις αποπλύσεις των γεωργικών εκτάσεων από τα διάφορα φυτοφάρμακα (Κιλικίδης κ.ά. 1984, Kaiserli et al. 2002, Fytianos and Laurantou 2004). Η αύξηση του φυτοπλαγκτού δεν ευνόησε τη διατήρηση των ιχθυοπληθυσμών της λίμνης και επιπρόσθετα η περιορισμένη δυνατότητα φυσικής εξυγίανσης του οικοσυστήματος από τους ρύπους που δέχεται, εξαιτίας του μικρού υδάτινου όγκου του, συνέτειναν σημαντικά στην υποβάθμισή του (Κοκκινάκης κ.ά. 2006).

Δεδομένης της ύπαρξης βοσκοτόπων, μεγάλη ανάπτυξη στην περιοχή έχει γνωρίσει η κτηνοτροφία. Εκδηλώνεται είτε με ενσταυλισμένη εκτροφή χοίρων, βοοειδών και πουλερικών, αλλά και με τη βόσκηση αιγοπροβάτων και βοοειδών, πολύ συχνά και σε παραλίμνιες περιοχές. Η κτηνοτροφία στην περιοχή ενθαρρύνεται και από τις καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ζωοτροφών, οι οποίες επαρκούν για τη συντήρηση του ζωικού κεφαλαίου. Οι επιπτώσεις από την κτηνοτροφία εντοπίζονται στη διάθεση των λυμάτων που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη δραστηριότητα, τα οποία δεν υφίστανται καμία επεξεργασία. Έτσι τα λύματα των ζώων που εκτρέφονται καταλήγουν ανεπεξέργαστα στην κοίτη του Μπογδάνα και στη συνέχεια μέσω αυτού στην Κορώνεια, επιβαρύνοντας τα ύδατά της με οργανικό φορτίο και ενισχύοντας τον ευτροφισμό τους (Φωτ. 2.5.1.2.).



Φωτ. 2.5.1.2. Βόσκηση βοοειδών στις όχθες του Μπογδάνου.

Η μικρή θερμοχωρητικότητα της λίμνης εξαιτίας του μικρού της όγκου, οι χαμηλές περιεκτικότητες σε διαλυμένο οξυγόνο κατά τη θερμή περίοδο και των αυξημένων αναγκών κατανάλωσής του σε διεργασίες βιολογικής αποικοδόμησης, το υψηλό pH που επηρεάζεται επιπρόσθετα από την αναπνοή μεγάλων ποσοτήτων φυτικής βιομάζας, καθώς και οι μεγάλες ποσότητες ενώσεων αζώτου, φωσφόρου και ασβεστίου, δημιουργούν ισχυρά ευτροφικές συνθήκες, οι οποίες συμβάλλουν αρνητικά στην αποκατάσταση της ιχθυολογικής ισορροπίας της λίμνης (Κοκκινάκης κ.ά. 2000).

2.5.2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η γειτνίαση της λίμνης Κορώνειας με την πόλη της Θεσσαλονίκης, η δυνατότητα άντλησης νερού και διάθεσης των λυμάτων, ευνόησαν την εκβιομηχάνιση της ευρύτερης περιοχής της, η οποία συντελέστηκε με πολύ γρήγορο ρυθμό από τις αρχές της δεκαετίας του '70. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθούν πολύ τα βιομηχανικά απόβλητα που καταλήγουν στη λίμνη και να επιταχυνθεί η τοξικότητα των υδάτων της (Κιλικίδης κ.ά. 1984).

Η βιομηχανία ως βασικός μοχλός ανάπτυξης της οικονομίας της περιοχής, είναι ταυτόχρονα και η πρώτη δραστηριότητα σε παραγωγή ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων και η δεύτερη μετά τη γεωργία σε κατανάλωση νερού (Μουζούρη, 2002).

Στην ευρύτερη περιοχή της Κορώνειας υπάρχει σημαντικός αριθμός βιομηχανικών μονάδων. Κάποιες από αυτές είναι μονάδες παραγωγής τροφίμων, μονάδες μεταλλικών κατασκευών, κεραμοποιεία, επιπλοποιεία, χώροι πώλησης δομικών υλικών και βαφεία-φινιριστήρια.

Με την πάροδο του χρόνου και τη διαιώνιση των προβλημάτων της περιοχής διαπιστώθηκε ότι εκ μέρους των αρμοδίων φορέων υπάρχει αδυναμία ουσιαστικού ελέγχου της τήρησης των όρων λειτουργίας των μονάδων. Επίσης έχει διαπιστωθεί δυσχέρεια στην επιβολή μέτρων προστασίας και στην εφαρμογή της νομοθεσίας που ισχύει.



Φωτ. 2.5.2.1. Διάθεση αποβλήτων στην περιοχή έρευνας με βυτία.

Η οικιστική ανάπτυξη στην περιοχή είναι αρκετά έντονη και η σημαντικότερή της επίπτωση είναι η διάθεση των αστικών λυμάτων στους παρακείμενους χείμαρρους και τάφρους είτε άμεσα μέσω αποχετευτικών δικτύων, είτε έμμεσα με βυτία (Φωτ. 2.5.2.1.). Τα λύματα απορρίπτονται σε αυτούς τελείως ανεπεξέργαστα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του οργανικού φορτίου αρχικά των χειμάρρων και στη συνέχεια της λίμνης, καθώς σε αυτήν καταλήγουν.

Ένα ακόμα πρόβλημα είναι η ανεξέλεγκτη απόρριψη των απορριμμάτων που προκύπτουν από τον εκάστοτε οικισμό (Φωτ. 2.5.2.2.). Η δημιουργία χωματερών με αυτόν τον τρόπο είναι συχνό φαινόμενο στην ευρύτερη περιοχή της Κορώνειας, ιδίως σε γειτνίαση με τους διάφορους χείμαρρους που τη διαρρέουν. Οι επιπτώσεις για το περιβάλλον είναι δυσμενείς, καθώς τα επιφανειακά ιζήματα και ύδατα ρυπαίνονται λόγω της

αποσύνθεσης αλλά και της αυτοανάφλεξης των απορριμμάτων που συμβαίνει κάποιες φορές λόγω της έκθεσής τους στις επιφανειακές συνθήκες (Φωτ. 2.5.2.3.).



Φωτ. 2.5.2.2. Ανεξέλεγκτη απόρριψη απορριμμάτων στην περιοχή έρευνας.



Φωτ.2.5.2.23 Αυτοανάφλεξη απορριμμάτων λόγω της ανεξέλεγκτης έκθεσής τους στις επιφανειακές συνθήκες.

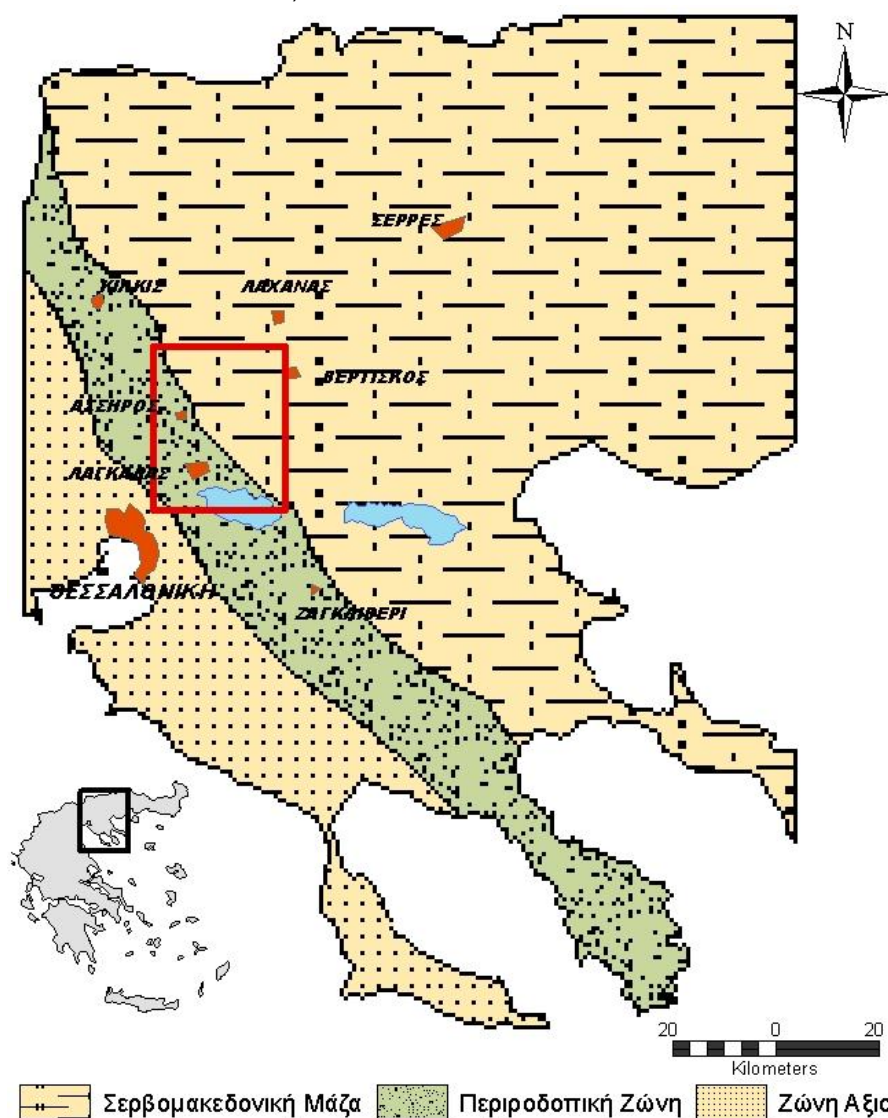
Οι οικισμοί Άσσηρος και Λαγκαδάς, κοντά στους οποίους διαρρέει ο Μπογδάνας, τον επιβαρύνουν κατά κύριο λόγο με τα αστικά τους λύματα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο Λαγκαδά υπάρχει εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων (βιολογικός καθαρισμός) (Φωτ. 2.5.2.4). Αυτή όμως η εγκατάσταση βρίσκεται εκτός λειτουργίας, με αποτέλεσμα να επιβαρύνονται τα ύδατα της λίμνης σε μεγάλο βαθμό.



Φωτ. 2.5.2.4. Ο βιολογικός καθαρισμός που βρίσκεται στον Λαγκαδά.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Γεωτεκτονικά, η περιοχή έρευνας τοποθετείται στο όριο μεταξύ της Σερβομακεδονικής μάζας και της Περιροδοπικής ζώνης, στο δυτικό περιθώριο της Μυγδονίας λεκάνης, η οποία αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα (Σχ. 3.1.). Συγκεκριμένα, η λεκάνη απορροής του Μπογδάνα περιλαμβάνει στο ανώτερο τμήμα της τα πετρώματα της σειράς Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής Μάζας στο κατώτερο τεταρτογενή ιζήματα. Τα ιζήματα αυτά αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης κυρίως της σειράς Βερτίσκου από τη Σερβομακεδονική μάζα και λιγότερο των ενοτήτων Ντεβέ Κοράν - Δουμπιά και Μελισχωρίου - Χολομώντα από την Περιροδοπική ζώνη (Kockel et al. 1978, 1979).



Σχήμα 3.1. Γεωτεκτονικός χάρτης της Κεντρικής Μακεδονίας με τις ζώνες και την περιοχή μελέτης.

3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.1.1. Σερβομακεδονική Μάζα

Η Σερβομακεδονική μάζα στη Βόρεια Ελλάδα αποτελεί το νοτιότερο μέρος μίας αλληλουχίας μεταμορφωμένων πετρωμάτων τα οποία παρουσιάζονται στη νοτιοδυτική Βουλγαρία και τη νοτιοανατολική πρώην Γιουγκοσλαβία. Η τεκτονική της δομή είναι περίπλοκη καθώς υπάρχει η παρουσία ποικίλων μεταμορφωμένων λιθολογικών ενοτήτων, που χρονολογούνται από το Παλαιοζωικό. Τις ενότητες αυτές διασχίζουν γρανιτικές διεισδύσεις μεσοζωικής και καινοζωικής ηλικίας (Kockel et al. 1971, Dimitrijevič 1974, Kockel and Mollat 1977, Sakellariou 1989, Chatzidimitriadis et al. 1985, De Wet et al. 1989, Σιδηρόπουλος 1991, Κούρου 1991, Kiliass et al. 1999).

Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής μάζας χωρίζεται σε δύο σειρές, τη σειρά Κερδυλλίων και τη σειρά Βερτίσκου. Η κατώτερη και παλαιότερη σειρά των Κερδυλλίων βρίσκεται στα ανατολικά και καταλαμβάνει την ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του ποταμού Στρυμώνα και του χωριού Στρατώνι. Έχει συνολικό πάχος 3000 m και αποτελείται κυρίως από μαρμαρυγιακούς - αμφιβολιτικούς γνεύσιους, αμφιβολίτες και μάρμαρα.

Η σειρά του Βερτίσκου είναι η ανώτερη και νεότερη, κατέχει τον κορμό της Χαλκιδικής και εκτείνεται προς Βορρά μέχρι τα σύνορα με την F.Y.R.O.M.. Αποτελείται από εναλλαγές ενστρώσεων όρθο- και παραγνεύσιων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και αμφιβολιτών. Συχνά επίσης παρεμβάλλονται μέσα στα άλλα πετρώματα με τεκτονικές επαφές σερπεντινικά σώματα (Kockel et al. 1971, Kockel and Mollat 1977, Μουντράκης 1985).

Η ηλικία των πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής μάζας προσδιορίζεται στο Παλαιοζωικό. Στο δυτικό τους περιθώριο συνορεύουν τεκτονικά κυρίως με τα μεσοζωικής ηλικίας και ελαφρώς μεταμορφωμένα ιζηματογενή και μαγματικά πετρώματα της Περιροδοπικής ζώνης (Kauffman et al. 1976, Kockel et al. 1977). Στο όριο των δύο ζωνών, τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας εμφανίζονται επωθημένα επάνω στα πετρώματα της Περιροδοπικής με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (Mercier, 1968).

3.1.2. Περιροδοπική Ζώνη

Η Περιροδοπική ζώνη στην Ελλάδα εκτείνεται νοτιοανατολικά από τα σύνορα με τη F.Y.R.O.M. προς τη λίμνη Κορώνεια, τη Σιθωνία Χαλκιδικής και στη συνέχεια κάμπτεται βορειοανατολικά. Περνάει από το νοτιότερο άκρο της χερσονήσου του Άθω, τη Σαμοθράκη και καταλήγει στη Θράκη στην περιοχή του Ν. Έβρου.

Σύμφωνα με τους Kockel and Mollat (1977) η Περιροδοπική ζώνη στο δυτικό της τμήμα διαιρείται στις εξής τρεις ενότητες: ενότητα Ντεβέ

Κοράν – Δουμπιά, ενότητα Μελισχωρίου - Χολομώντα και ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

Η ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά στη βάση της περιλαμβάνει το «Σχηματισμό του Εξαμιλίου», που ουσιαστικά είναι ένας σχηματισμός ο οποίος αποτελείται από μετακλαστικά ιζήματα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά που αποτελείται από εναλλαγές ημιμεταμορφωμένων ηφαιστειακών και ιζηματογενών πετρωμάτων (Πέρμιο-Κ. Τριαδικό) και μία ανθρακική νηριτική σειρά (Μ. Τριαδικό-Μ. Ιουρασικό) που παρά το νηριτικό χαρακτήρα της, στα ανώτερα της στρώματα παρουσιάζει αργιλικές και μαργαϊκές ενστρώσεις πελαγικής φύσης.

Η ενότητα Μελισχωρίου-Χολομώντα στη βάση της περιλαμβάνει έναν σχηματισμό που αποτελείται από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους (Μ-Α Τριαδικό) στους οποίους συχνά παρεμβάλλονται γραφιτικοί φυλλίτες και σερικιτικοί σχιστόλιθοι. Ο σχηματισμός αυτός, προς τα πάνω μεταβαίνει σε φυλλίτες. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο σημαντικότερος σχηματισμός της Περιοδοπικής ζώνης, ο «φλύσχος της Σβούλας» (Κ-Μ Ιουρασικό) που ουσιαστικά είναι ένας σχηματισμός φλύσχη με εναλλαγές μεταϊζημάτων όπως ψαμμίτες, μάργες, ασβεστόλιθοι.

Τέλος, η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη στη βάση της αποτελείται από ανθρακικά νηριτικά ιζήματα (Πέρμιο-Κ. Τριαδικό) όπως εκείνα της ενότητας Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως αργιλικοί και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι και κερατόλιθοι. Μέσα στα ιζήματα αυτά είναι συχνή η εμφάνιση οφειολιθικών σωμάτων με βασικά και υπερβασικά πετρώματα όπως γάββροι, σερπεντινίτες, διορίτες αλλά και πετρώματα όπως πράσινοι γνεύσιοι και σχιστόλιθοι, τα οποία προήλθαν από τη μεταμόρφωση όξινων πυριγενών πετρωμάτων (Kauffman et al. 1976, Kockel and Mollat 1977, Μουντράκης 1985, Ασβεστά 1992).

3.1.3. Μεταλπικοί Σχηματισμοί

Η περιοχή έρευνας καλύπτεται κατά ένα μεγάλο μέρος από ιζήματα νεογενούς και τεταρτογενούς ηλικίας. Συγκεκριμένα, η λεκάνη της Μυγδονίας αναπτύχθηκε κατά το Τεταρτογενές, με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ, λόγω του εφελκυστικού πεδίου που δρούσε εκείνη την περίοδο με ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό, τα πετρώματα καλύφθηκαν από τεταρτογενή ιζήματα, όπως ποταμο-χειμάρρειες και λιμναίες αποθέσεις, που ουσιαστικά αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης του υποβάθρου (Ψιλοβίκος 1977).

Στην κοιλάδα του Αξιού έχει αποθεθεί η ομώνυμη μολασσική αύλακα που εντοπίζεται περισσότερο στη ζώνη Παιονίας. Σύμφωνα με τους Kockel et. al. 1978, 1979 και Μουντράκη 1985 η συγκεκριμένη αύλακα καταλάμβανε περισσότερο χώρο, μέχρι και τη Σερβομακεδονική. Για αυτό

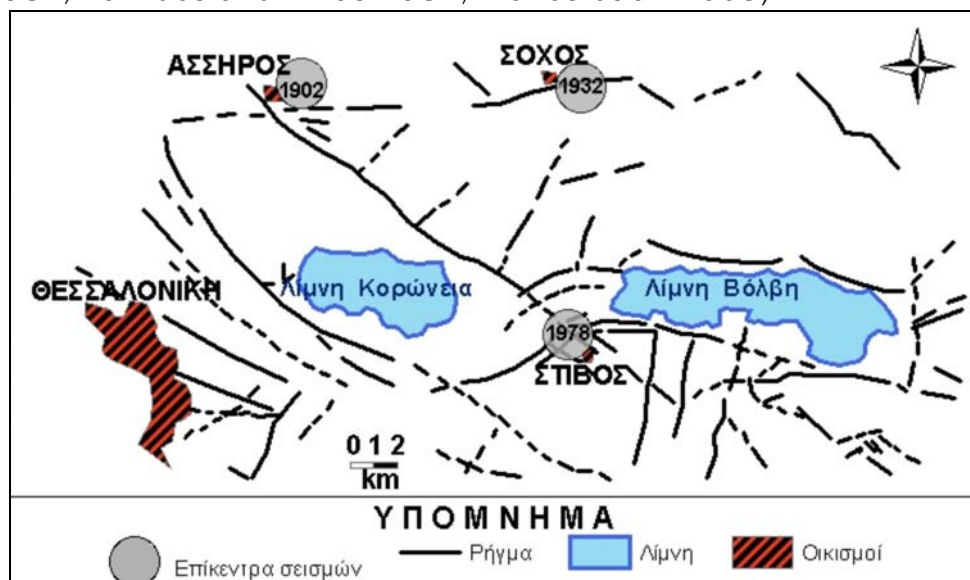
θεωρείται πως οι μικρές εμφανίσεις μολλάσσας Ολιγοκαινικής ηλικίας που υπάρχουν στην περιοχή του Λαγκαδά, παρόλο που βρίσκονται στο χώρο της Σερβομακεδονικής, ανήκουν στη μολασσική αύλακα του Αξιού.

3.2. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Το νοτιότερο μέρος της Σερβομακεδονικής μάζας που βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, είναι μία περιοχή έντονα κατακερματισμένη, που έχει υποστεί μεγάλη τεκτονική καταπόνηση σχετικά πρόσφατα. Αποτέλεσμα αυτού του τεκτονισμού ήταν η δημιουργία δομών, όπως το τεκτονικό κέρασ και το τεκτονικό βύθισμα.

Οι δομές αυτές διαμορφώθηκαν σε δύο περιόδους έντονου τεκτονισμού. Η πρώτη εκδηλώθηκε κατά τη διάρκεια του Κάτω - Μέσου Μειόκαινου και η δεύτερη κατά το Άνω Πλειόκαινο έως το Κάτω Πλειστόκαινο. Κατά τη δεύτερη περίοδο δημιουργήθηκε η λεκάνη της Μυγδονίας που αποτελεί τεκτονικό βύθισμα (Psilonikos, 1984) και στην οποία βρίσκεται η περιοχή μελέτης.

Επίσης και ο Arsonski (1978) υποστηρίζει πως η δράση του έντονου εφελκυστικού πεδίου που εκδηλώθηκε κατά το Τεταρτογενές είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κατά κανόνα κανονικών ρηγμάτων και ήταν η κυριότερη αιτία δημιουργίας του τεκτονικού αυτού βυθίσματος. Τα πιο πρόσφατα και ενεργά ρήγματα της περιοχής βρίσκονται στο όριο της Σερβομακεδονικής μάζας με την Περιροδοπική ζώνη και έχουν ως κύριες διευθύνσεις Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΔ-ΝΑ (Σχ. 3.2.1.), ενώ στη λεκάνη της Μυγδονίας ο εφελκυσμός έχει διεύθυνση Β-Ν έως ΒΒΔ-ΝΝΑ (Papazachos et al. 1982, Pavlides and Kilias 1987, Tranos et al. 2003).



Σχήμα 3.2.1. Τεκτονικό σκαρίφημα της ευρύτερης περιοχής έρευνας, με τα σημαντικότερα σεισμικά επίκεντρα (από Voidomatis et al. 1990, με τροποποιήσεις).

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης τα κύρια ρήγματα που εμφανίζονται είναι το ρήγμα του Λαγκαδά και το σύστημα μικρορηγμάτων της Παλιάς Χρυσαιγής. Το ρήγμα του Λαγκαδά είναι κανονικό, έχει ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και μήκος 20 km καθώς εκτείνεται από την Άσσηρο έως και την Ανάληψη. Χαρακτηρίζεται ενεργό επειδή οριοθετεί μία γνωστή ενεργή τάφρο, επηρεάζει πρόσφατα ιζήματα και αποτελεί συνέχεια του ρήγματος Σχολαρίου. Όσον αφορά το σύστημα μικρορηγμάτων της Παλιάς Χρυσαιγής, πρόκειται ουσιαστικά για ένα σύστημα μικρών σχετικά ρηγμάτων με ΒΔ-ΝΑ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση, τα οποία είναι περίπου παράλληλα με το ρήγμα του Λαγκαδά. Παρόλο που αναπτύσσονται στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, χαρακτηρίζονται πιθανά ενεργά, επειδή αποτελούν τμήμα των ρηξιγενών επιφανειών του προαναφερθέντος ρήγματος του Λαγκαδά καθώς και αυτού του Σοχού (Mercier et al. 1979, Papazachos et al. 1982, Pavlides and Kilias 1987, Chatzipetros and Pavlides 1998).

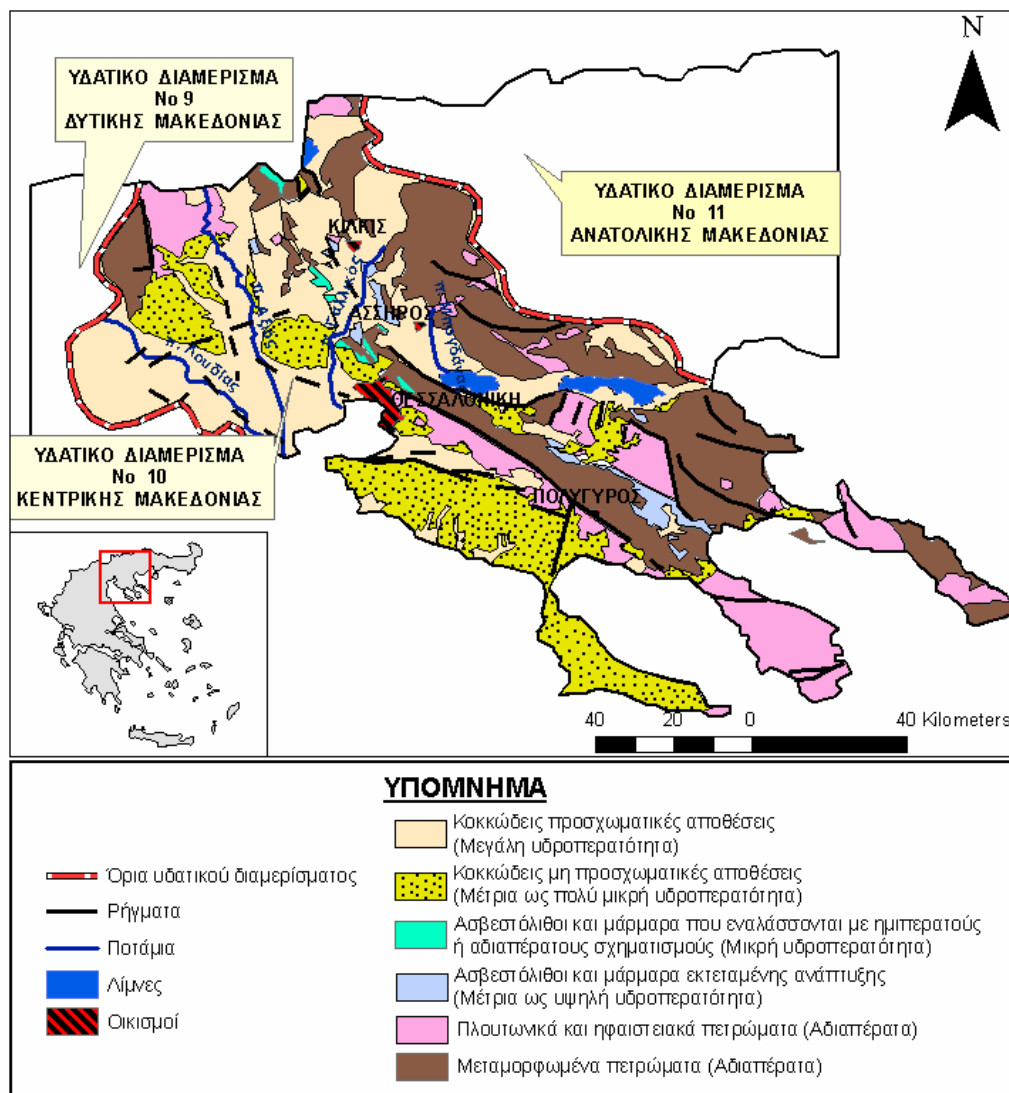
3.3. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Το νοτιότερο μέρος της Σερβομακεδονικής μάζας λόγω της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας, είναι μία περιοχή υψηλής σεισμικότητας και κινητικότητας, με τα επίκεντρα των σεισμών να συγκεντρώνονται κυρίως στις περιοχές τις οποίες διατρέχουν ρήγματα. Το όριο της Σερβομακεδονικής με την Περιροδοπική διαμορφώνει μία ζώνη σεισμικά ενεργή, συμπεριλαμβάνοντας έτσι και τη Μυγδονία λεκάνη (Psilonikos 1984, Voidomatis et al. 1990, Tranos et al. 2003). Σύμφωνα με τους Papazachos et al. (1982) οι σεισμοί σε αυτό το μέρος της Σερβομακεδονικής είναι επιφανειακοί, και τα εστιακά βάθη μικρότερα των 17 km.

Οι κυριότερες σεισμικές δονήσεις που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Σχ. 3.2.1.) είναι οι παρακάτω (Voidomatis et al. 1990): Το επίκεντρο του μεγάλου σεισμού της 5ης Ιουλίου 1902 ($M_s=6,6$) στην Άσσηρο συμπίπτει με τη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση του ενεργού ρήγματος του Λαγκαδά. Ο σεισμός της 29^{ης} Σεπτεμβρίου 1932 ($M_s=6,2$) στο Σοχό σχετίζεται με ρήγματα Α-Δ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί πως η σεισμική δόνηση της 20^{ης} Ιουνίου 1978 ($M_s=6,5$) στη Λίμνη Βόλβη σχετίζεται με τη διασταύρωση των δύο κύριων ρηγμάτων με ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση το καθένα, τα οποία ουσιαστικά αποτελούν τα όρια των δύο υπολεκανών της Μυγδονίας λεκάνης).

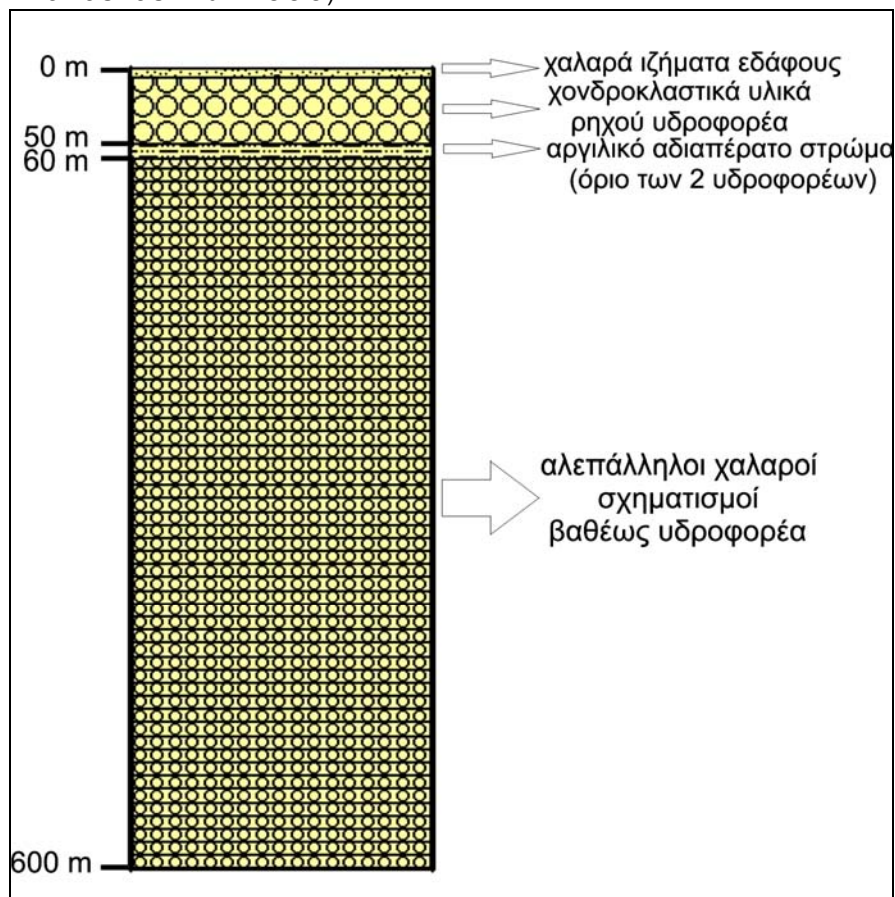
3.4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η υδρολογική χωροθέτηση της περιοχής μελέτης γίνεται με βάση τον Ν. 1739/87. Σύμφωνα με αυτόν, η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο υπ' αριθμόν 10 υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας, που είναι αυτό της κεντρικής Μακεδονίας με έδρα τη Θεσσαλονίκη (Σχ. 3.4.1.). Η έκτασή του είναι 10390 km², ο ετήσιος όγκος βροχής και απορροής του είναι 6068 hm³ και 2606 hm³ αντίστοιχα, ενώ τα ρυθμιστικά αποθέματα των υδροφορέων του είναι 1360 hm³ (Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού, 2003).



Σχήμα 3.4.1. Θέση υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας και σχηματισμοί που συνιστούν τους υδροφορείς του (σύμφωνα με Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού 2003, με τροποποιήσεις).

Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε η περιοχή μελέτης ανήκει στην υπολεκάνη του Λαγκαδά, δηλαδή τη δυτική υπολεκάνη της Μυγδονίας λεκάνης, τα νερά της οποίας δέχεται η λίμνη Κορώνεια. Το προσχωσιγενές υδροφόρο σύστημα της υπολεκάνης του Λαγκαδά και κατά συνέπεια της λεκάνης απορροής του ποταμού Μπογδάνα, υποδιαιρείται σε ένα ρηχό και ένα βαθύ υδροφόρο στρώμα (Σχ. 3.4.2.) (Παπακωνσταντίνου κ.ά. 1995, Γραμματικοπούλου κ.ά. 1996).



Σχήμα 3.4.2. Στρωματογραφική στήλη των υδροφορέων της περιοχής έρευνας (από Σωματαρίδου και Βυρίδη 2002, με μετατροπές).

Το ρηχό υδροφόρο στρώμα εντοπίζεται από την επιφάνεια μέχρι βάθος 40-50 m και αποτελείται κυρίως από χονδροκλαστικά υλικά (άμμοι και χαλίκια με ενδιάμεσες αργιλικές στρώσεις), ενώ επικοινωνεί υδραυλικά με τη λίμνη Κορώνεια. Το βαθύ υδροφόρο στρώμα εκτείνεται σε βάθος από 60 έως 500 m και αποτελείται από αλλεπάλληλους χαλαρούς σχηματισμούς (ψαμμίτες και κροκαλοπαγή με παρεμβολές από φακούς αργιλοαμμώδους υλικού). Από τα 50 έως τα 60 m περίπου υπάρχει ένα αργιλικό στρώμα το οποίο είναι κυρίως διαπερατό και σε κάποια σημεία ημιδιαπερατό. Αυτό αποτελεί το διαχωριστικό όριο του ρηχού από τον βαθύ υδροφορέα (Μουζούρη 2002, Σωματαρίδου και Βυρίδης 2002).

3.5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ

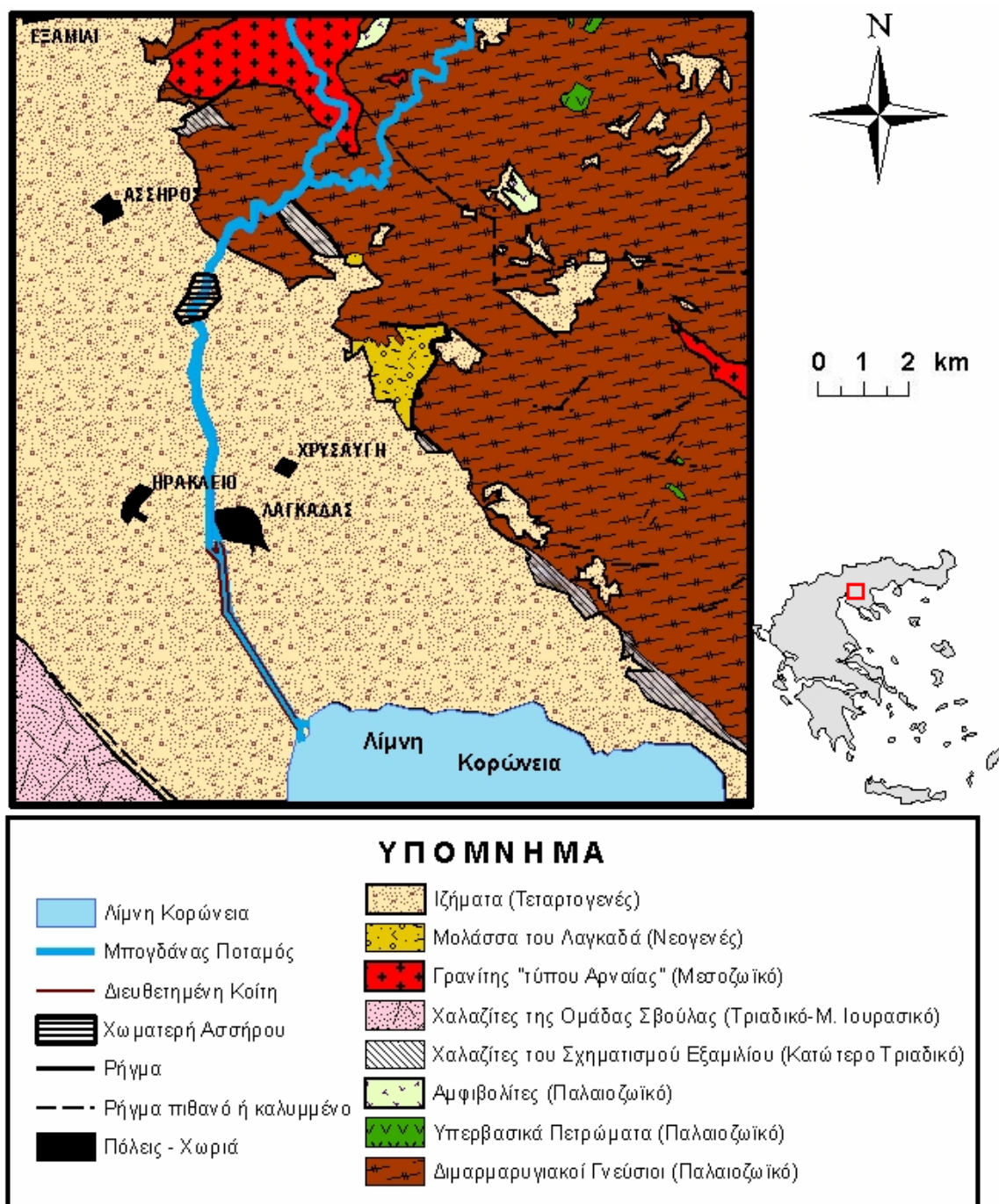
Το υπόβαθρο της λεκάνης απορροής του Μπογδάνα αποτελείται κυρίως από τους Παλαιοζωικής ηλικίας διμαρμαρυγιακούς γνέυσιους της σειράς Βερτίσκου (Σχ. 3.5.1.). Πιο συγκεκριμένα η ηλικία των γνευσίων προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Pb-Pb σε ζιρκόνια από τους Kostopoulos et al. (2001) στο Κ.-Μ. Ορδοβίσιο. Αυτοί είναι σκοτεινότεφροι ή καστανοί γνέυσιοι με γνευσιακό ή σχιστώδη ιστό και τα ορυκτά που περιέχουν είναι χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, καλιούχοι άστριοι, μοσχοβίτης, βιοτίτης, τιτανίτης, αλμανδίνης, επίδοτο, ζιρκόνιο και απατίτης. Παλαιοζωικής ηλικίας είναι επίσης και οι χαλαζίτες του σχηματισμού Εξαμιλίου που υπάρχουν στην περιοχή και οι οποίοι παρουσιάζονται σκοτεινότεφροι έως πρασινωποί και λεπτόκοκκοι (Kockel et al. 1979).

Νότια του Λαχανά υπάρχουν μεγάλες εμφανίσεις αμφιβολιτών Παλαιοζωικής ηλικίας οι οποίοι είναι σκοτεινοπράσινοι, λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι και εκτός των αμφιβόλων περιέχουν χαλαζία, πλαγιόκλαστα, επίδοτο, τιτανίτη. Ίδιας ηλικίας είναι οι μικρές εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων που εντοπίζονται εντός της λεκάνης απορροής. Πρόκειται ουσιαστικά για ταλκικούς-γραμματιτικούς σχιστόλιθους με φλέβες τάληκη (Kockel et al. 1979).

Τέλος, σημαντική είναι η παρουσία ενός διμαρμαρυγιακού και βιοτιτικού γρανιτικού σώματος (τύπου Αρναίας) το οποίο διεισδύει στη σειρά Βερτίσκου. Η ηλικία του προσδιορίστηκε στο Α. Τριαδικό από τους Kostopoulos et al. (2001) με τη μέθοδο Pb-Pb σε ζιρκόνια, και Α. Ιουρασικό από τον De Wet (1989) με τη μέθοδο Ar-Ar σε φεγγίτες. Τα ορυκτά που περιέχονται στο γρανιτικό αυτό σώμα είναι χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, καλιούχος άστριος, μικροκλινής, μοσχοβίτης, βιοτίτης, ζιρκόνιο, απατίτης.

Όσον αφορά τις μεταλλοφορίες που υπάρχουν στην περιοχή, σύμφωνα με τους Vavelidis et al. (1999) οι χαλαζιακές φλέβες που εντοπίζονται κοντά στον οικισμό Δρακόντιο σχετίζονται με μεταλλοφορία χρυσού. Στην περιοχή Παλιόμυλος βόρεια του οικισμού Στεφάνια, υπάρχει μεταλλοφορία χαλκού στην οποία περιέχεται κυρίως άργυρος και χρυσός (Melfos et al. 2001). Από τη μέχρι τώρα έρευνα προκύπτει πως οι δύο αυτές μεταλλοφορίες που φιλοξενούνται σε χαλαζιακές φλέβες, ανήκουν στην ίδια μεταλλογενετική ζώνη με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση.

Από επιτόπιες έρευνες που έγιναν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, εντοπίστηκε μεταλλοφορία χαλκού ανατολικά του χωριού Άσσηρος (Φωτ. 3.5.1.).



Σχήμα 3.5.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.



Φωτ. 3.5.1. Μεταλλοφορία χαλκού που εντοπίστηκε κοντά στην Άσσηρο.

Στους γνεύσιους που υπάρχουν στην περιοχή βρέθηκε στοά μήκους περίπου 15 m κατά μήκος της οποίας εμφανίζεται μία χαλαζιακή φλέβα (Φωτ 3.5.2.). Πρόκειται για χαλαζιακή φλέβα η οποία διεισδύει στα μεταμορφωμένα πετρώματα της σειράς Βερτίσκου, συγκεκριμένα στους διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους και είναι συμπτυχωμένη με αυτούς. Η φλέβα αυτή αποτελείται από τα πρωτογενή ορυκτά χαλκοπυρίτη, σιδηροπυρίτη και σφαλερίτη καθώς και τα δευτερογενή ορυκτά λόγω οξείδωσης λειμωνίτη και κοβελλίνη.



Φωτ. 3.5.2. Μεταλλοφορία χαλκού σε στοά κοντά στην Άσσηρο.

4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε υπαίθρια έρευνα και κατόπιν δειγματοληψία σε θέσεις οι οποίες κρίθηκαν σημαντικές με βάση την έρευνα. Η δειγματοληψία έγινε με την καθοδήγηση και βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή Μ. Βαβελίδη και του Δρ. Γεωλόγου Β. Μέλφου.

Έγινε συλλογή δειγμάτων ιζημάτων αλλά και ύδατος στον κάτω ρου του ποταμού Μπογδάνα. Συγκεκριμένα, οι θέσεις που επιλέχθηκαν εντοπίζονται μεταξύ της περιοχής νοτιοανατολικά της Ασσήρου και των δελταϊκών αποθέσεων της λίμνης Κορώνειας, όπως φαίνεται στη συνέχεια στα Σχήματα 4.1.1. και 4.2.1..

Έγινε προσπάθεια να ληφθούν δείγματα κατά μήκος της κοίτης του ποταμού ανά περίπου 500 m, σε μερικές περιπτώσεις όμως η απόσταση αυτή διαφέρει λόγω αντικειμενικών προβλημάτων όπως είναι η παρουσία καλλιεργήσιμων εκτάσεων, ανθρωπογενών επεμβάσεων και χώρων ανεξέλεγκτης απόρριψης απορριμμάτων (χωματερές). Επίσης η επιλογή των θέσεων προσαρμόστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε τα αποτελέσματα των αναλύσεων να είναι αντιπροσωπευτικά της εικόνας της ρύπανσης που επικρατεί στα εκάστοτε σημεία του ποταμού.

Κάθε χρόνο παράγονται στην Ελλάδα κατά μέσο όρο 3.000.000 τόνοι απορριμμάτων που αντιστοιχούν σε 15.700.000 m³. Η ημερήσια ποσότητα των παραγόμενων αστικών απορριμμάτων ανέρχεται στην Ελλάδα σε 1,14 kgr/άτομο. Δυστυχώς, σε πανελλαδικό επίπεδο, η διάθεση των απορριμμάτων τείνει να εξελιχθεί σε μεγάλο κοινωνικό πρόβλημα, καθώς γίνεται συνήθως ανεξέλεγκτα. Ιδιαίτερα μέχρι τη δεκαετία του 1960 το σύνολο των στερεών απορριμμάτων διατίθετο σε χωματερές, χωρίς να λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας (Βουδούρης 2004).

Το αποτέλεσμα είναι να καταγράφονται επισήμως στην Ελλάδα 1.458 ανεξέλεγκτες χωματερές, από τις οποίες οι 83 εντοπίζονται στο νομό Θεσσαλονίκης, με τη λειτουργία τους στις περισσότερες από αυτές να συνεχίζεται (Καββαδάς 2001). Πιο πρόσφατη έρευνα του Εργαστηρίου Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης που έγινε κατά το 2003, έδειξε ότι στο νομό Θεσσαλονίκης λειτουργούν 79 χωματερές (Τσατσαρέλης κ.ά. 2006). Μία από αυτές υπάρχει και στην περιοχή έρευνας, σε μικρή απόσταση από την Άσσηρο. Τα απορρίμματα είναι διασκορπισμένα παραπλεύρως της κοίτης του Μπογδάνα, σε έκταση που κατά την περίοδο δειγματοληψίας έφτανε έως και 1 km μήκος. Δυστυχώς δεν λαμβάνεται κανένα μέτρο προστασίας του περιβάλλοντος και έτσι οι σωροί των απορριμμάτων είναι ακάλυπτοι και επομένως άμεσα εκτεθειμένοι στις ατμοσφαιρικές συνθήκες.



Φωτ. 4.1. Τμήμα της χωματερής της Ασσήρου και αυτοανάφλεξη των απορριμμάτων της.

Λόγω αυτής της έκθεσης, τα απορρίμματα έχουν παρατηρηθεί να αυτοαναφλέγονται, προκαλώντας έτσι περιβαλλοντική επιβάρυνση (Φωτ. 4.1.). Επίσης, τα στραγγίσματα που παράγονται κατεισδύουν στο έδαφος, εισρέουν στον Μπογδάνα και στη συνέχεια καταλήγουν μέσω αυτού στη λίμνη Κορώνεια (Φωτ. 4.2.).

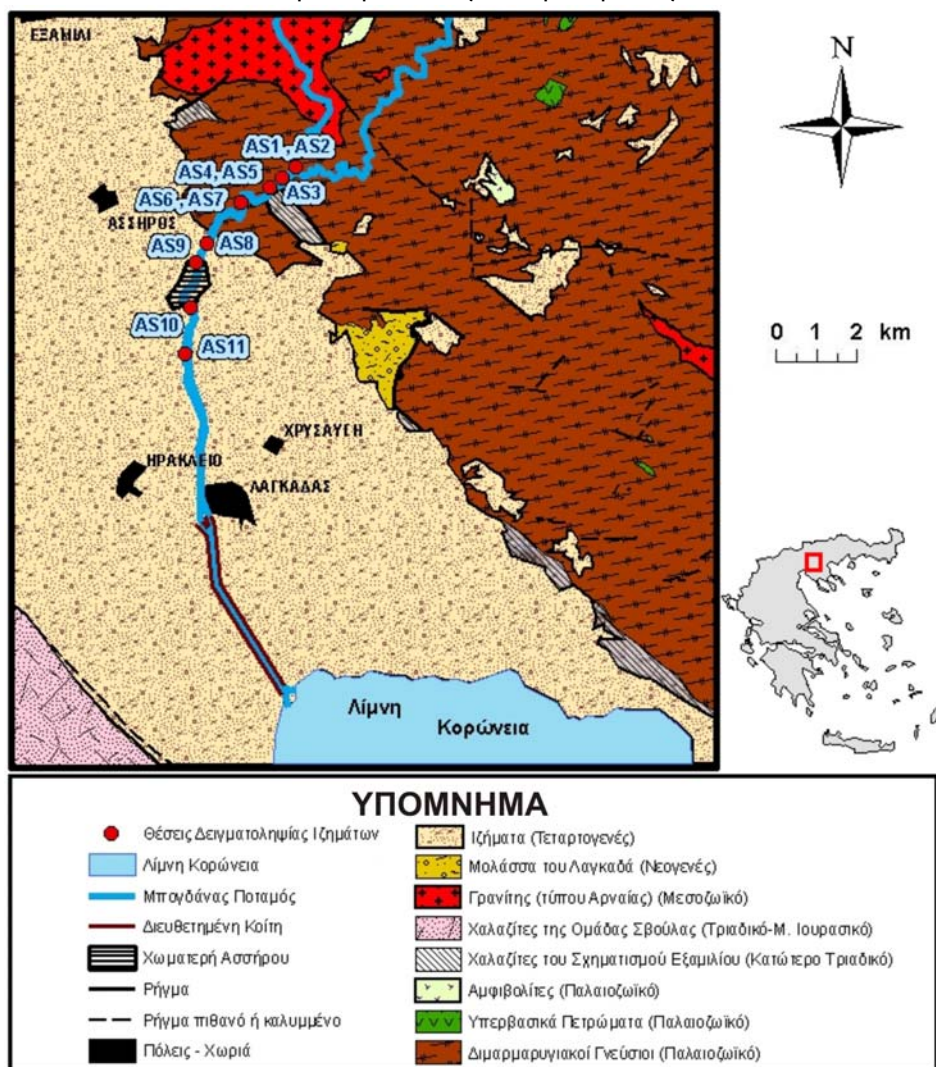


Φωτ. 4.2. Τμήμα της χωματερής της Ασσήρου το οποίο φαίνεται πόσο κοντά βρίσκεται στην κοίτη του Μπογδάνα.

Στην περιοχή έρευνας εκδηλώνονται και δραστηριότητες όπως η λειτουργία βαφείων, κτηνοτροφικών μονάδων και καλλιέργεια γεωργικών εκτάσεων. Η δειγματοληψία λοιπόν πραγματοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να εξεταστεί εάν οι παραπάνω δραστηριότητες επιβαρύνουν με ρυπαντικό φορτίο τον ποταμό και μέσω αυτού την λίμνη Κορώνεια, στην οποία εκβάλλει.

4.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Η δειγματοληψία των ιζημάτων πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2006. Συνολικά λήφθηκαν 11 δείγματα ιζήματος από το AS1 έως το AS11 (Σχ. 4.1.1.), κάποια από αυτά σε μικρό ύψος από την κοίτη του ποταμού και κάποια άλλα από τα πρανή και τις αναβαθμίδες του.



Σχήμα 4.1.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τις θέσεις δειγματοληψίας των ιζημάτων.

Πριν τη λήψη, αφαιρούνταν από την κάθε θέση του πρανού ή της αναβαθμίδας το επιφανειακό στρώμα πάχους έως 10 cm, ώστε με τον τρόπο αυτό να απομακρυνθεί η φυτικής προελεύσεως οργανική ύλη ή τα υλικά που είχαν μεταφερθεί από άλλου και δεν ήταν αντιπροσωπευτικά της εκάστοτε θέσης (Φωτ. 4.1.1.). Έγινε προσπάθεια να ληφθεί υλικό από το κάθε δείγμα βάρους 700 έως 1000 gr, εκτός από ένα όπου τα λιμνάζοντα ύδατα του ποταμού σε συνδυασμό με την έντονη βλάστηση, έκαναν δυνατή την απόληψη περίπου 350 gr ιζήματος. Μετά τη συλλογή σε κάθε θέση, το υλικό τοποθετήθηκε σε πλαστικές σακούλες.



Φωτ. 4.1.1. Θέση δειγματοληψίας ιζήματος στην περιοχή έρευνας.

Τα δείγματα AS1 και AS2 είναι από την ίδια θέση, το AS1 κοντά στην κοίτη του ποταμού ενώ το AS2 στην αναβαθμίδα. Το δείγμα AS3 λήφθηκε από τις ρίζες ενός πλατανιού τις οποίες έκοβε το πρανές του ποταμού (Φωτ. 4.1.2.). Τα δείγματα AS4 και AS5 είναι από την ίδια θέση, το πρώτο από την κοίτη του ποταμού και το δεύτερο από το κροκαλώδες πρανές. Το δείγμα AS6 είναι από την κοίτη του ποταμού και το AS7 από την αναβαθμίδα του, στην ίδια θέση.



Φωτ. 4.1.2. Θέση δειγματοληψίας στο πρανές του Μπογδάνα.



Φωτ. 4.1.3. Θέσεις δειγματοληψίας ιζημάτων από την κοίτη του Μπογδάνα.

Το δείγμα AS8 λήφθηκε από την κοίτη και σε απόσταση 500 m περίπου πριν από τη χωματερή στην Άσσηρο (Φωτ. 4.1.3.), ενώ το AS9 είναι ακριβώς από το σημείο που αρχίζει η χωματερή. Το δείγμα AS10

λήφθηκε από την κοίτη του ποταμού και σε απόσταση 250 m νότια από το AS9 και το AS11 200 m περίπου μετά το τέλος της χωματερής. Η δειγματοληψία των ιζημάτων δε συνεχίστηκε πιο κάτω διότι επέρχεται ο παράγοντας της ανθρώπινης παρέμβασης, καθώς η κοίτη του ποταμού έχει διευθετηθεί με τη χρήση σκυροδέματος.

4.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΔΑΤΩΝ

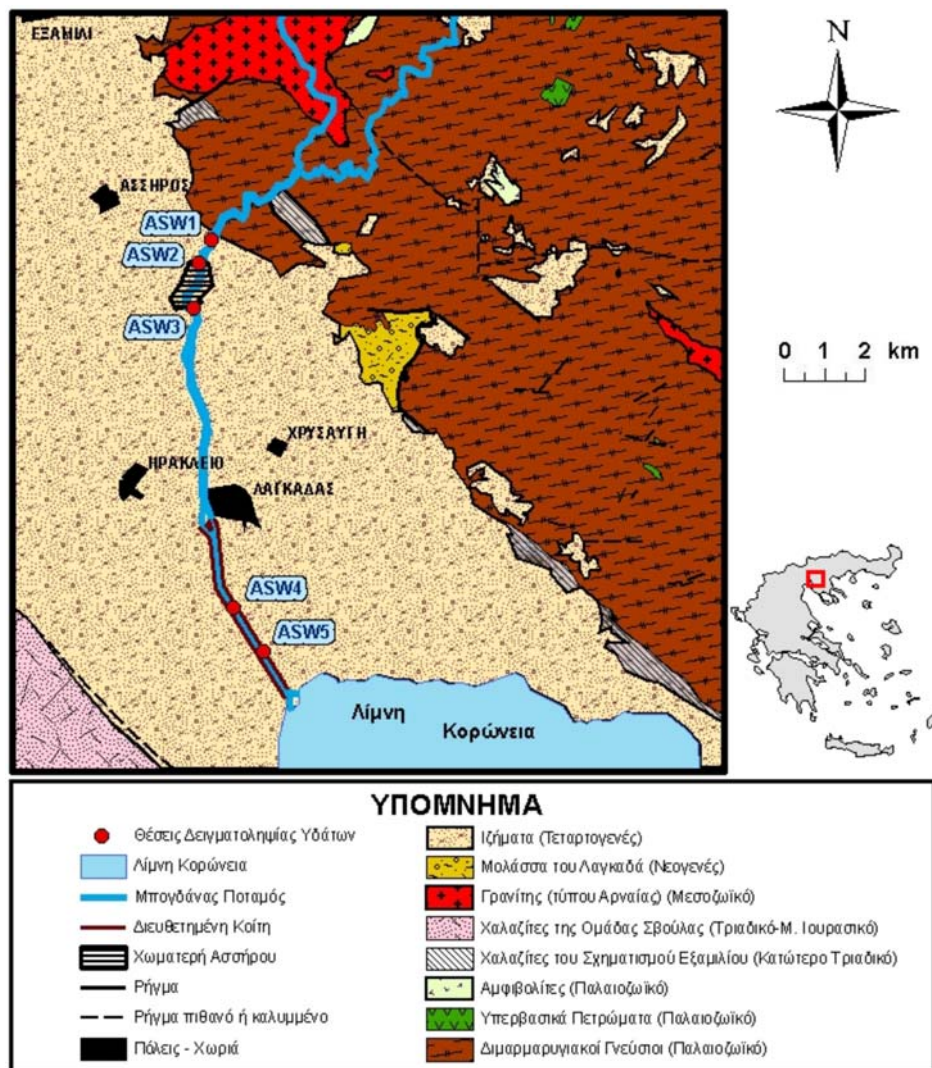
Η δειγματοληψία των υδάτων πραγματοποιήθηκε σε δύο περιόδους, τον Νοέμβριο 2006 και τον Ιούνιο 2007. Αυτό έγινε για να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων σε βαρέα μέταλλα και οργανικές ουσίες σε δύο εποχές μέσα σε ένα υδρολογικό έτος, ώστε να δίνεται μία πιο πλήρης εικόνα της κατάστασης που επικρατεί στα ύδατα του ποταμού.

Κατά την πρώτη δειγματοληψία (Νοέμβριος 2006) η τροφοδοσία του ποταμού σε νερό ήταν μικρή με αποτέλεσμα να επικρατούν χαμηλές συνθήκες ροής. Αυτό δικαιολογείται, καθώς είχε προηγηθεί το καλοκαίρι που αποτελεί περίοδο χαμηλής βροχόπτωσης. Αντίθετα κατά τη δεύτερη δειγματοληψία (Ιούνιος 2007) παρατηρήθηκε μεγάλη τροφοδοσία του Μπογδάνα με νερό. Οι συνθήκες ροής που επικρατούσαν ήταν υψηλές, κάτι που επίσης δικαιολογείται, καθώς ο χειμώνας που προηγήθηκε αποτελεί περίοδο έντονης βροχόπτωσης και χιονόπτωσης.

Με βάση όλους τους παραπάνω παράγοντες επιλέχθηκαν οι θέσεις στις οποίες έγινε η συλλογή δειγμάτων ύδατος (Φωτ. 4.2.1.), που ήταν 5 στο σύνολό τους από το ASW1 έως το ASW5, κατά μήκος του Μπογδάνα (Σχ. 4.2.1.).



Φωτ. 4.2.1. Θέση δειγματοληψίας ύδατος στην περιοχή έρευνας.



Σχήμα 4.2.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τις θέσεις δειγματοληψίας των υδάτων.

Συγκεκριμένα, το δείγμα ASW1 λήφθηκε 500 m πριν η κοίτη συναντήσει τη χωματερή στην Άσσηρο και το ASW2 ακριβώς στο σημείο στο οποίο τη συναντά, δηλαδή στις ίδιες θέσεις από τις οποίες λήφθηκαν τα δείγματα ιζημάτων AS8 και AS9 αντίστοιχα. Το ίδιο ισχύει και για το δείγμα ASW3 που λήφθηκε σε απόσταση 250 m νότια από την αρχή της χωματερής, δηλαδή από την ίδια θέση με το δείγμα ιζηματοσ AS10. Τέλος, τα δύο τελευταία δείγματα ASW4 και ASW5 είναι σε θέσεις της κοίτης που βρίσκονται μετά την πόλη του Λαγκαδά και πριν τις εκβολές του Μπογδάνου στη λίμνη Κορώνεια, για να διαπιστωθεί η πιθανή επιβάρυνση των υδάτων από τα αστικά λύματα (Φωτ. 4.2.2.).



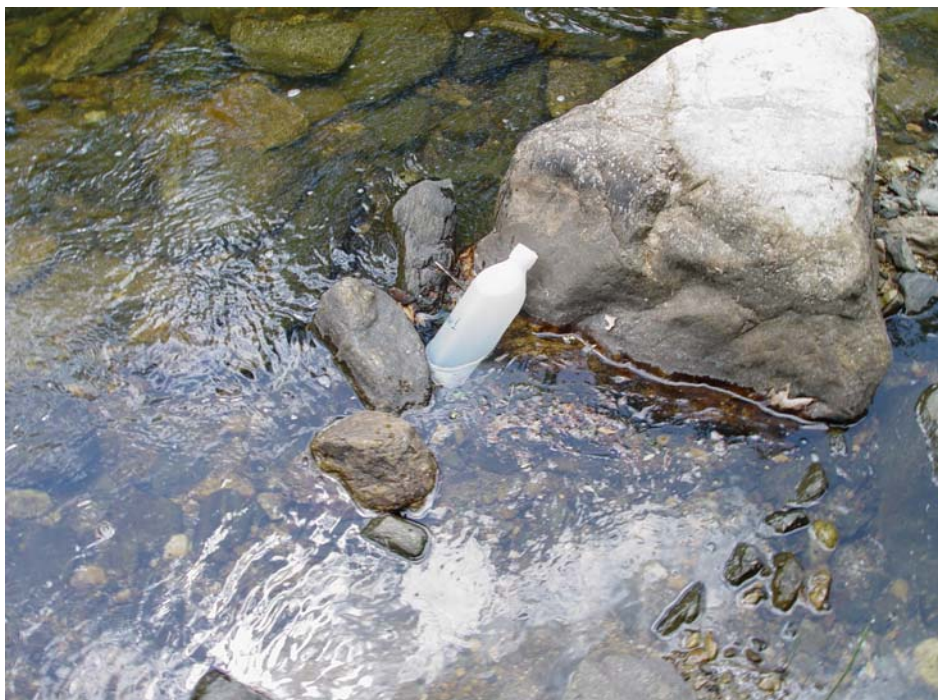
Φωτ. 4.2.2. Θέση δειγματοληψία ύδατος η οποία βρίσκεται μετά τον Λαγκαδά..

Κατά τη συλλογή έγινε προσπάθεια να αποφευχθεί η λήψη οργανικής ύλης όπως υλικά φυτικής προέλευσης, έντομα κ.λ.π. (Φωτ. 4.2.3.). Το κάθε δείγμα ύδατος τοποθετήθηκε σε πλαστικές φιάλες χωρητικότητας 1 L (Φωτ. 4.2.4.).



Φωτ. 4.2.3. Θέση δειγματοληψίας ύδατος με οργανική ύλη στην περιοχή έρευνας.

Στη συνέχεια τα δείγματα οξινίστηκαν προσθέτοντας άμεσα σε κάθε μία φιάλη 3 ml διαλύματος HNO_3 1:1 σε $\text{pH} < 2$. Αυτό έγινε για να διατηρηθούν τα ύδατα καλύτερα μέχρι να αναλυθούν στο εργαστήριο, πρώτον αποφεύγοντας την ανάπτυξη μικροοργανισμών (πρωτόζωα) και δεύτερον περιορίζοντας την απορρόφηση και την καθίζηση των ιχνοστοιχείων στα τοιχώματα.



Φωτ. 4.2.4. Θέση δειγματοληψίας ύδατος στην περιοχή έρευνας και τοποθέτηση του δείγματος σε πλαστική φιάλη χωρητικότητας 1 L.

5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το εργαστηριακό μέρος της έρευνας που πραγματοποιήθηκε περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια.

Αρχικά έγινε κοκκομετρική μελέτη, καθώς από τη μελέτη της κοκκομετρικής σύστασης των κλαστικών ιζημάτων μπορούν να βγουν συμπεράσματα σχετικά με τη φύση και την ένταση των φυσικών διεργασιών που έχουν επιδράσει πάνω σε κάθε κόκκο κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και απόθεσής του. Έτσι, τα χαρακτηριστικά του ιστού όλων των κόκκων αποτελούν στατιστικές παραμέτρους του εκάστοτε δείγματος (Τσιραμπίδης, 2004).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ορυκτολογική μελέτη των ιζημάτων, ώστε να προσδιοριστούν τα ορυκτά που συμμετέχουν στη σύστασή τους. Για το σκοπό αυτό έγινε χρήση οπτικού μικροσκοπίου διερχόμενου αλλά και ανακλώμενου φωτός, περιθλασίμετρου ακτίνων Χ (XRD) και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM).

Τέλος, τα δείγματα αναλύθηκαν ως προς τη χημική τους σύσταση ώστε να πραγματοποιηθεί η γεωχημική μελέτη των ιζημάτων αλλά και των υδάτων της περιοχής έρευνας.

5.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Για την πραγματοποίηση της κοκκομετρικής μελέτης, αρχικά τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξεχωριστά δοχεία με απιονισμένο νερό και αναδεύθηκαν, με σκοπό να επιπλεύσουν και με τον τρόπο αυτό να αφαιρεθούν τυχόν οργανικά υλικά (φύλλα, κλωνάρια κ.τ.λ.). Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε συσκευή υπερήχων με σκοπό να αποσυσσωματωθούν και κατόπιν αποχύθηκαν κάθε ένα διαδοχικά σε σύστημα επάλληλων κόσκινων ώστε με τη διαδικασία της υγρής κοσκίνισης να διαχωριστεί το κάθε κλάσμα.

Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν είναι με φθίνουσα σειρά μεγέθους βρόγχων τα εξής: 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.71 mm, 0.5 mm, 0.18 mm, 0.125 mm και 0.063 mm. Το κάθε κλάσμα στη συνέχεια τοποθετήθηκε σε φούρνο ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία και η μεγάλη ποσότητα νερού που συσσωρεύτηκε στο δοχείο το οποίο βρισκόταν κάτω από το τελευταίο κόσκινο των 0.063 mm φυγοκεντρήθηκε, ώστε να απομακρυνθεί το μεγαλύτερο μέρος της. Το κλάσμα των <0.063 mm που απέμεινε στις φυγοκεντρικές φιάλες τοποθετήθηκε με τη σειρά του σε φούρνο ώστε να απομακρυνθεί και από αυτό η υγρασία. Τέλος, το κάθε κλάσμα ζυγίστηκε και υπολογίστηκε το ποσοστό συμμετοχής του στο ίζημα.

Με βάση αυτά τα ποσοστά υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι ταξινόμηση (Sorting-So), λοξότητα (Skewness-Sk) και σταθερή απόκλιση (Standard Deviation-SD) για κάθε δείγμα και κατόπιν χρησιμοποιήθηκαν

για την προβολή των ιζημάτων σε διαγράμματα. Ακολούθησε ο χαρακτηρισμός και η ταξινόμηση των ιζημάτων με δύο τρόπους: α) με προβολή σε τριγωνικά διαγράμματα κατά Folk et al. (1970) και β) με το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης εδαφών ASTM D-2487 (American Society for Testing Materials).

5.1.1. Στατιστικές παράμετροι

Η πλέον εύχρηστη παράμετρος είναι η εκατοστιαία κατά βάρος κατανομή των κόκκων μεταξύ διαφορετικών ορίων μεγέθους. Για το λόγο αυτό το κάθε δείγμα κοσκινίστηκε και από την κοκκομετρική σύσταση που προέκυψε κατασκευάστηκαν οι καμπύλες συχνότητας κατανομής και οι αθροιστικές καμπύλες συχνότητας των δειγμάτων που αναλύθηκαν. Οι κοκκομετρικές κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές του Wentworth (1922) σε mm και του Krumbein (1934) σε μονάδες Φ , όπου $\Phi = -\log_2 \delta$ και δ η διάμετρος των κόκκων σε mm (Σχ. 5.1.1.1.).

Λιθολογική τάξη	Wentworth (1922) (mm)	Krumbein (1934) (Φ)
κροκώδες ή λατίπας	256	- 8
	128	- 7
	64	- 6
	32	- 5
	16	- 4
	8	- 3
	4	- 2
	2	- 1
άμμος	πολύ αδρόκοκκη	
	1	0
	αδρόκοκκη	
	0,5	1
	μεσόκοκκη	
	0,25	2
	λεπτόκοκκη	
	0,125	3
ιάλς	πολύ λεπτόκοκκη	
	0,06	4
	0,032	5
	0,016	6
	0,008	7
όφρυλος		
	0,004	8
	0,002	9
	0,001	10
	0,0005	11
	0,00025	12

Σχήμα 5.1.1.1. Κοκκομετρικές κλίμακες κατά Wentworth (1922) και Krumbein (1934).

Από τις κοκκομετρικές καμπύλες υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι ταξινόμηση (Sorting-So), λοξότητα (Skewness-Sk) και σταθερή απόκλιση (Standard Deviation-SD) για κάθε δείγμα. Οι τιμές των στατιστικών παραμέτρων υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις (Τσιραμπίδης, 2004):

$$Sk = [(\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{84} - \Phi_{16})] + [(\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50})/2(\Phi_{95} - \Phi_5)]$$

$$SD = (\Phi_{84} - \Phi_{16})/2$$

$$So = [(\Phi_{84} - \Phi_{16})/4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5)/6,6]$$

Στους Πίνακες 5.1.1.1. έως 5.1.1.3. παρουσιάζονται οι διαβαθμίσεις των παραπάνω στατιστικών παραμέτρων.

Πίνακας 5.1.1.1. Διαβαθμίσεις ταξινόμησης (Ψιλοβίκος, 1984)

So	Διαβάθμιση
<0,35	Πολύ καλή
0,35 - 0,50	Καλή
0,50 - 0,71	Μέτρια καλή
0,71 - 1,0	Μέτρια
1,0 - 2,0	Κακή
2,0 - 4,0	Πολύ κακή
>4,0	Εξαιρετικά κακή

Πίνακας 5.1.1.2. Διαβαθμίσεις λοξότητας (Ψιλοβίκος, 1984)

Sk	Διαβαθμίσεις
+1,0 έως +0,30	Έντονα θετική
+0,30 έως 0,10	Θετική
+0,10 έως 0,10	Συμμετρική
-0,10 έως -0,30	Αρνητική
-0,30 έως -1,0	Έντονα αρνητική

Πίνακας 5.1.1.3. Βαθμός ταξινόμησης κλαστικού ιζήματος σε σχέση με τη σταθερή απόκλιση (Folk, 1968)

SD	Βαθμός Ταξινόμησης Κλαστικού Ιζήματος
0,00 - 0,35	Πολύ καλά ταξινομημένο
0,35 - 0,50	Καλά ταξινομημένο
0,50 - 0,71	Μέτρια καλά ταξινομημένο
0,71 - 1,0	Μέτρια ταξινομημένο
1,0 - 2,0	Φτωχά ταξινομημένο
2,0 - 4,0	Πολύ φτωχά ταξινομημένο
>4,0	Αταξινόμητο

Στη συνέχεια, με βάση τις τιμές των παραπάνω στατιστικών παραμέτρων έγινε προβολή των δειγμάτων στο διάγραμμα διάκρισης άμμων με βάση τις τιμές Sk και SD του Friedman (1961) και στο διάγραμμα που

προτάθηκε από τον Weller (1960) για την εκτίμηση της ιστολογικής ωριμότητας των κλαστικών ιζημάτων.

5.1.2. Ταξινόμηση κατά Folk

Στα τριγωνικά διαγράμματα κατά Folk et al. (1970) τα κλαστικά ιζήματα ταξινομούνται με βάση την εκατοστιαία αναλογία των κροκαλών, της άμμου, της ιλύος και της αργίλου. Οι λιθολογικές τάξεις που προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.2.1.. Οι τάξεις αυτές προσδιορίζονται είτε από το ποσοστό των κροκαλών (>2 mm) και τη σχέση άμμος ($2-0,06$ mm) / (ιλύς + άργιλος) ($<0,06$ mm), είτε από το ποσοστό της άμμου ($2-0,06$ mm) και τη σχέση ιλύς ($0,06-0,004$ mm) / άργιλος ($<0,004$ mm).

Πίνακας 5.1.2.1. Λιθολογικές τάξεις κλαστικών ιζημάτων (κατά Folk et al. 1970).

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
G	Κροκαλώδες	mS	Πηλοαμμώδες
mG	Πηλοκροκαλώδες	S	Αμμώδες
msG	Πηλοαμμοκροκαλώδες	cS	Αργιλοαμμώδες
sG	Αμμοκροκαλώδες	mS	Πηλοαμμώδες
gM	Κροκαλοπηλώδες	zS	Ιλυοαμμώδες
gmS	Κροκαλοπηλοαμμώδες	sC	Αμμοαργιλώδες
gS	Κροκαλοαμμώδες	sM	Αμμοπηλώδες
(g)M	Ημικροκαλοπηλώδες	sZ	Αμμοίλυδες
(g)mS	Ημικροκαλοπηλοαμμώδες	C	Αργιλώδες
(g)S	Ημικροκαλοαμμώδες	M	Πηλώδες
sM	Πηλοαμμώδες	Z	Ιλυώδες

G ή g = gravel (κροκάλες), S ή s = sand (άμμος), M ή m = mud (πηλός), Z ή z = silt (ιλύς) και C ή c = clay (άργιλος).

5.1.3. Ταξινόμηση κατά ASTM D-2487

Με το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης εδαφών κατά ASTM D-2487, γίνεται αρχικά ένας κύριος διαχωρισμός, ανάλογα με τα ποσοστά των κόκκων που έχουν διάμετρο α) μεγαλύτερη του κόσκινου No. 200 (διάμετρος $0,075$ mm) (χονδρόκοκκα εδάφη) ή μικρότερη του κόσκινου No. 200 (λεπτόκοκκα εδάφη) και β) μεγαλύτερη (χάλικες) ή μικρότερη (άμμοι) του κόσκινου No. 4 (διάμετρος $4,75$ mm). Στη συνέχεια, τα εδάφη σύμφωνα και με άλλα χαρακτηριστικά (ποσοστό λεπτόκοκκων, διαβάθμιση, πλαστικότητα) κατατάσσονται σε επιμέρους κατηγορίες. Ο διαχωρισμός και η ονοματολογία των τάξεων των εδαφών φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 5.1.3.1..

Πίνακας 5.1.3.1. Ταξινόμηση εδαφών με βάση το σύστημα ASTM D-2487

ΕΝΙΑΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ (ASTM D-2487)		
Κύριος διαχωρισμός	Σύμβολα ομάδας	Όνομα
ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ (περισσότερο από το 50% των κόκκων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του κόσκινου No. 200)		
ΧΑΛΙΚΕΣ (περισσότερο από το 50% των χονδρόκοκκων τμημάτων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από αυτήν του κόσκινου No. 4)		
Καθαροί χάλικες (καθόλου λεπτόκοκκα)	GW	Καλά διαβαθμισμένοι χάλικες, μείγμα άμμου-χαλίκων με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά
	GP	Μη διαβαθμισμένοι χάλικες, μείγμα άμμου-χαλίκων με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά
Χάλικες με λεπτόκοκκα (σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων)	GM	Ιλυώδεις χάλικες, μείγμα άμμος-χάλικες-ιλύς
	GC	Αργιλώδεις χάλικες, μείγμα άμμος-χάλικες-άργιλος
ΑΜΜΟΙ (περισσότερο από το 50% των χονδρόκοκκων τμημάτων έχουν διάμετρο μικρότερη από αυτή του κόσκινου No. 4)		
Καθαρές άμμοι (λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα)	SW	Καλά διαβαθμισμένες άμμοι, χαλικώδεις άμμοι με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά
	SP	Μη διαβαθμισμένες άμμοι, χαλικώδεις άμμοι με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα υλικά
Άμμοι με λεπτόκοκκα (σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων)	SM	Ιλυώδεις άμμοι, μείγμα άμμος-ιλύς
	SC	Αργιλώδεις άμμοι, μείγμα άμμος-άργιλος
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ (περισσότερο από το 50% των κόκκων έχουν διάμετρο μικρότερη του κόσκινου No.200)		
Ιλύες και άργιλοι (LL<50)	ML	Ανόργανες ιλύες και λεπτόκοκκες άμμοι, ιλυώδεις ή αργιλώδεις άμμοι ή αργιλώδεις ιλύες με μικρή πλαστικότητα
	CL	Ανόργανες άργιλοι με μικρή έως μέτρια πλαστικότητα, χαλικώδεις άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι, ιλυώδεις άργιλοι, άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
	OL	Οργανικές ιλύες και οργανικές ιλυώδεις άργιλοι Χαμηλής πλαστικότητας
Ιλύες και άργιλοι (LL>50)	MH	Ανόργανες ιλύες, μαρμαρυγιακές ή διατομικές λεπτόκοκκες άμμοι ή ιλυώδη εδάφη, ελαστικές ιλύες
	CH	Ανόργανες άργιλοι μεγάλης πλαστικότητας, λιπώδεις άργιλοι
	OH	Οργανικές άργιλοι μέτριας ή μεγάλης πλαστικότητας, οργανικές ιλύες
Πολύ οργανικά εδάφη	Pt	Τύρφη και άλλα οργανικά εδάφη

5.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Για την πραγματοποίηση της ορυκτολογικής μελέτης, προετοιμάστηκαν συνολικά 12 λεπτές τομές, 8 λεπτές στιλπνές τομές και 18 στιλπνές τομές στο εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.. Το κλάσμα που χρησιμοποιήθηκε για την προετοιμασία των τομών ήταν αυτό των 0.125-0.18 mm. Για τον προσδιορισμό των μεταλλικών και των μη μεταλλικών ορυκτών των ιζημάτων έγινε μικροσκοπική μελέτη των παραπάνω παρασκευασμάτων σε μικροσκόπιο τύπου Leitz, τόσο διερχόμενου όσο και ανακλώμενου φωτός.

Επιπλέον, για να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD). Για το σκοπό αυτό, τα δείγματα κονιοποιήθηκαν μέσα σε αχάτινο γουδί και μικρή ποσότητα σκόνης τοποθετήθηκε σε ειδικό πλακίδιο και επιπεδοποιήθηκε.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί πώς έγιναν ακτινογραφήματα τόσο για το ολικό ίζημα όσο και για το κλάσμα των 0.125 – 0.18 mm. Για ορυκτά των οποίων οι ανακλάσεις επικαλύπτονται από εκείνες άλλων ορυκτών, όπως του γρανάτη και του ιλμενίτη με τα πλαγιόκλαστα και τους καλιούχους άστριους, έγινε προσπάθεια να απομονωθούν και να ακτινογραφηθούν ξεχωριστά.

Για το διαχωρισμό και την αναγνώριση των γρανατών και του ιλμενίτη εφαρμόστηκε ελεύθερη πτώση κόκκων κονιοποιημένου δείγματος με διάμετρο <63 μm , με φυγοκεντρική επιτάχυνση της βαρύτητας, σε αιώρημα απιονισμένου νερού (Τσιραμπίδης, 2004). Οι γρανάτες, ο ιλμενίτης και άλλα ορυκτά με πυκνή δομή καθιζάνουν ταχύτατα στη στήλη του αιωρήματος. Για να έρθει το υλικό σε αιώρηση χρησιμοποιήθηκε συσκευή υπερήχων με διάρκεια δόνησης 1 λεπτού. Αμέσως μετά το υπερκείμενο αιώρημα αποχύθηκε και η διαδικασία επαναλήφθηκε έως ότου διαυγάσει το υπερκείμενο αιώρημα. Στη συνέχεια, το υλικό που κατακάθισε ξηράνθηκε σε θερμοκρασία 60° C για 24 ώρες. Με αυτό τον τρόπο απομακρύνονται τα αργιλικά και τα φυλλοπιριτικά ορυκτά που περιέχονται σε ένα δείγμα (Τσιραμπίδης, 2004). Κατόπιν το ξηρό υλικό διαχωρίστηκε σε μαγνητικό διαχωριστή για την απόληψη των γρανατών και του ιλμενίτη, κονιοποιήθηκε και ακτινογραφήθηκε. Το ακτινογράφημα αυτό παραθέτεται στην ενότητα της ακτινογραφικής εξέτασης (§7.1.) του Κεφαλαίου 7, στο οποίο περιγράφεται η ορυκτολογική μελέτη των ιζημάτων (Σχ. 7.5.α.).

Η ακτινογράφιση έγινε στο εργαστήριο του τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας σε περιθλασίμετρο PHILIPS τύπου PW1011, ενώ χρησιμοποιήθηκε λυχνία χαλκού CuK α για παραγωγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας με μήκος κύματος 1,54184 Å και φίλτρο Ni 0,0170 mm. Η σταθερά χρόνου ήταν T=2T και η ταχύτητα καταγραφής 1 cm/min με περιοχή σάρωσης του γωνιομέτρου 3°-63°. Οι εκτιμήσεις για την ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων έγιναν με βάση το αρχείο καρτών της A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials).

Επίσης έγινε χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) του Α.Π.Θ., τύπου JEOL 840A με αναλυτικό σύστημα EDS Oxford Isis 300.

5.3. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Για την πραγματοποίηση της γεωχημικής μελέτης αναλύθηκαν ως προς τη χημική τους σύσταση τόσο τα δείγματα ιζημάτων όσο και τα υδατικά δείγματα.

Για τη χημική ανάλυση των ιζημάτων έγινε κονιοποίηση του κάθε δείγματος σε μύλο βολφραμίου, ώστε το υλικό να αποκτήσει διαστάσεις αναφούς σκόνης και στη συνέχεια να διαλυτοποιηθεί στο εργαστήριο.

Για την καλύτερη αξιολόγηση της ρύπανσης του ποταμού Μπογδάνα, τα δείγματα ύδατος αναλύθηκαν όχι μόνο ως προς τις συγκεντρώσεις τους σε βαρέα μέταλλα αλλά και για τη φόρτισή τους σε οργανικές ουσίες. Οι αναλύσεις αυτές έγιναν στις πρώτες 48 ώρες για τις οργανικές ουσίες και ως προς τα βαρέα μέταλλα άμεσα, αφού πρώτα το κάθε δείγμα διηθήθηκε με φίλτρο Whatman διαμέτρου 0,45 μm με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΡΗΑ, 1995).

5.3.1. Χημική ανάλυση ιζημάτων

Για τη χημική ανάλυση των ιζημάτων μετρήθηκε η εκατοστιαία κατά βάρος αναλογία (% κ.β.) των οξειδίων που συμμετέχουν στη χημική τους σύσταση. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν τα οξείδια: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MnO και P_2O_5 . Επιπλέον προσδιορίστηκαν οι περιεκτικότητές τους στα ιχνοστοιχεία Cu , Pb , Zn , Co , Ni και Cr καθώς και η απώλεια πύρωσης (LOI).

Ο προσδιορισμός των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων έγινε με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης στο χημείο του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) στο παράρτημα Ξάνθης.

5.3.2. Χημική ανάλυση υδάτων

Ο προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων As , Cd , Cr και Pb στα ύδατα έγινε με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης με φούρνο θερμαινόμενου γραφίτη, από το Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος, του Τμήματος Χημείας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Οι μετρήσεις του Νοεμβρίου 2006 πραγματοποιήθηκαν σε όργανο AAS Perkin Elmer 2380, με φούρνο γραφίτη HGA 400, ενώ οι μετρήσεις του Ιουνίου 2007 πραγματοποιήθηκαν σε όργανο AAS Perkin Elmer 400, με φούρνο γραφίτη HGA 900.

Ο προσδιορισμός των μετάλλων Cu , Zn και Ni στα ύδατα έγινε με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης στο χημείο του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) στο παράρτημα Ξάνθης. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε όργανα AAS Perkin Elmer 2100 και Perkin Elmer Analyst 100.

Για τον προσδιορισμό της φόρτισης των υδάτων σε οργανικές ουσίες, προσδιορίστηκαν στα δείγματα οι παράμετροι BOD_5 και COD από το Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος, του Τμήματος Χημείας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Με τον όρο

BOD₅ εννοούμε την ποσότητα του O₂ που καταναλίσκεται από τους μικροοργανισμούς για να αποικοδομήσουν οξειδωτικά τις οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στο νερό σε διάστημα 5 ημερών, χωρίς φως και σε θερμοκρασία 20 °C (Κουϊμτζής κ.ά. 1998, 2004).

Ο προσδιορισμός του BOD₅ έγινε με τη μέθοδο της αραίωσης, η οποία είναι η πιο απλή και εφαρμόζεται με επιτυχία τόσο σε μη ρυπασμένα όσο και σε πολύ ρυπασμένα νερά. Κατά τη μέθοδο της αραίωσης, το δείγμα αραιώνεται κατάλληλα, προσδιορίζεται σε αυτό το διαλυμένο οξυγόνο και στη συνέχεια επωάζεται για χρονικό διάστημα 5 ημερών. Τέλος ξαναπροσδιορίζεται το διαλυμένο οξυγόνο και υπολογίζεται το BOD₅ (Κουϊμτζής κ.ά. 1998, 2004). Ο προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου πραγματοποιήθηκε με οξυγονόμετρο WTW.

Οι τοξικές ουσίες οι οποίες εμπεριέχονται στα διάφορα απόβλητα μπορούν να νεκρώσουν τους μικροοργανισμούς και έτσι να μην μπορεί να προσδιοριστεί το BOD₅. Για το λόγο αυτό προσδιορίστηκε και το COD, ώστε να υπολογιστεί η ολική φόρτιση των δειγμάτων σε οργανικές ουσίες.

Με τον όρο COD εννοούμε την ποσότητα του O₂ που απαιτείται για τη χημική οξείδωση του συνόλου των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό και που μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο (Κουϊμτζής κ.ά. 1998, 2004). Η συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων προσδιορίστηκε με την οξείδωσή τους από το K₂Cr₂O₇ σε όξινο περιβάλλον, η περίσσεια του οποίου προσδιορίστηκε ογκομετρικά με πρότυπο διάλυμα Fe²⁺ και τελικά η ποσότητα του K₂Cr₂O₇ που καταναλώθηκε ήταν ανάλογη με την υπάρχουσα ποσότητα οργανικών ενώσεων που οξειδώθηκαν (Κουϊμτζής κ.ά. 1998, 2004).

6. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ

6.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

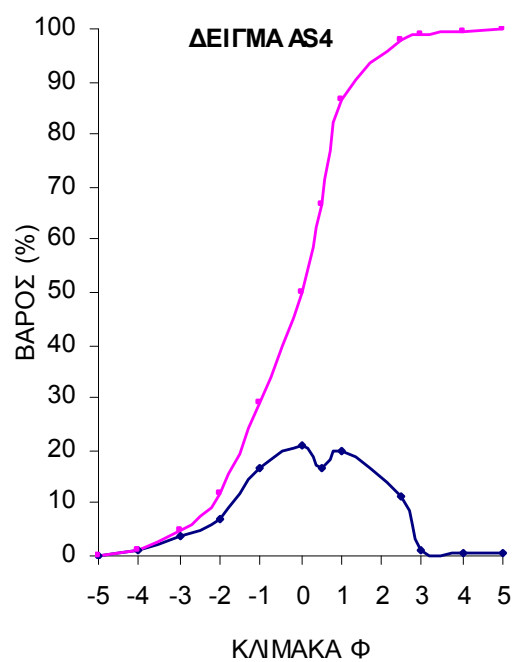
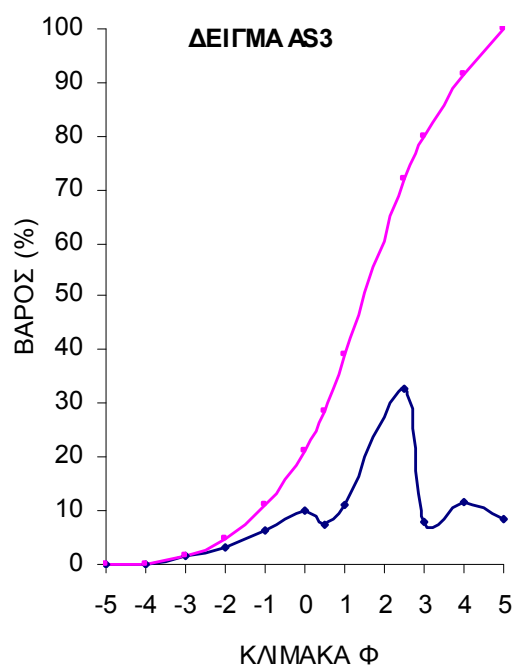
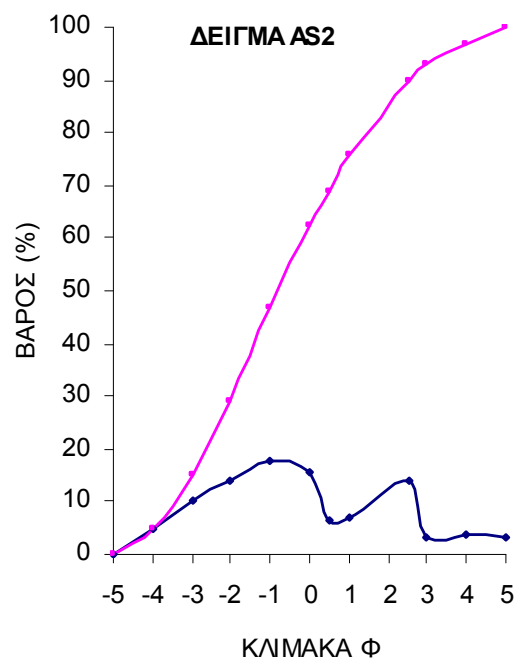
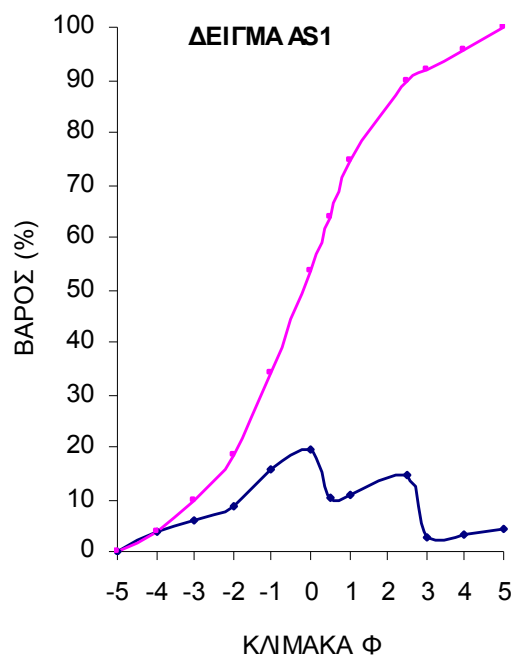
Αφού το κάθε δείγμα κοσκινίστηκε, προσδιορίστηκε η κοκκομετρική κατανομή των ιζημάτων που φαίνεται στον Πίνακα 6.1.1.. Με βάση αυτή την κατανομή κατασκευάστηκαν οι καμπύλες συχνότητας και οι αθροιστικές καμπύλες συχνότητας των δειγμάτων που αναλύθηκαν (Σχήμα 6.1.1).

Πίνακας 6.1.1. Κοκκομετρική κατανομή των δειγμάτων της περιοχής μελέτης.

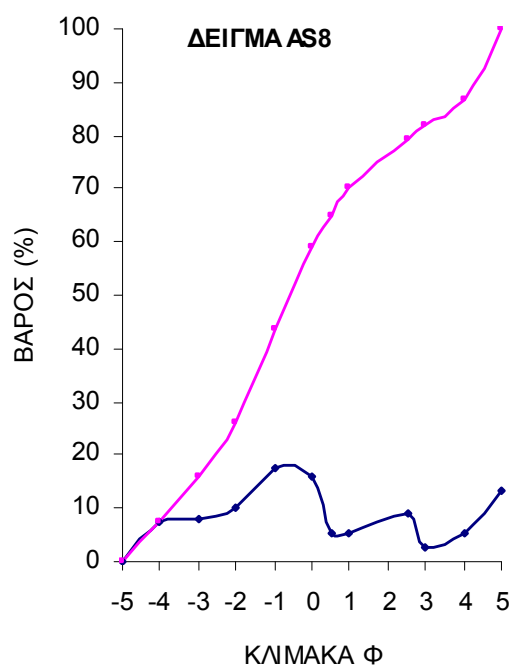
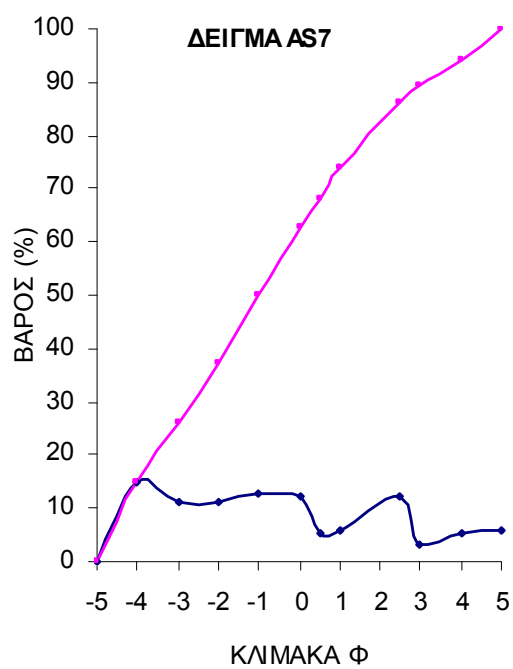
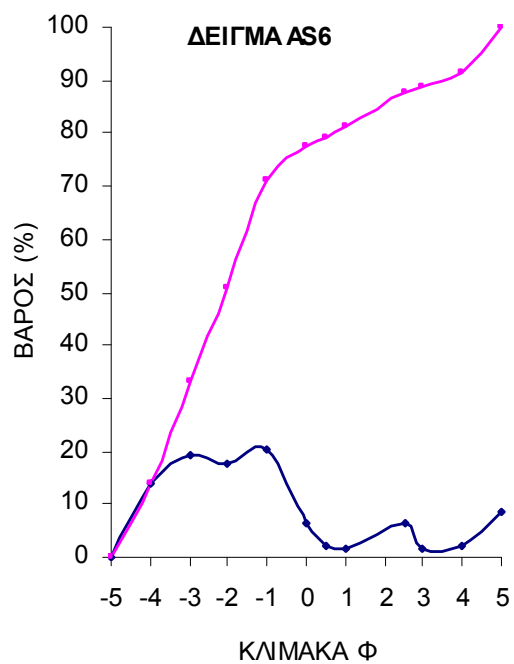
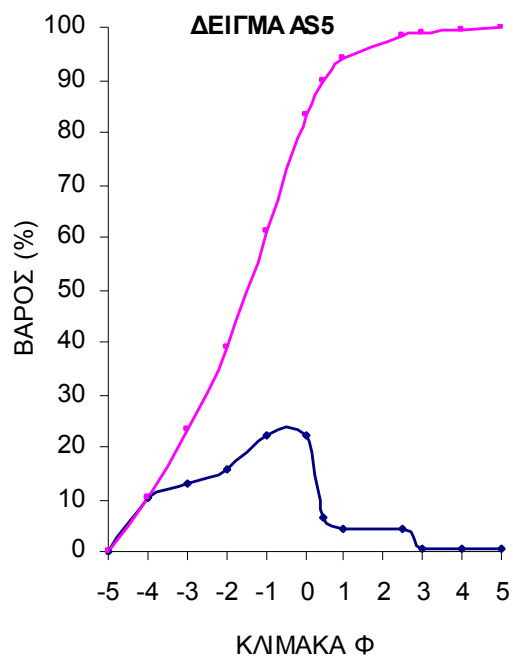
	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0,71 mm	0,5 mm	0,18 mm	0,125 mm	0,063 mm	<0,063 mm
	-4 Φ	-3 Φ	-2 Φ	-1 Φ	0 Φ	0,5 Φ	1 Φ	2,5 Φ	3 Φ	4 Φ	5 Φ
AS1	14,5 ¹	21,3	32,3	58,7	73,3	38,5	39,7	55,2	9,8	12,7	16,6
	3,9 ²	5,7	8,7	15,7	19,7	10,3	10,7	14,8	2,6	3,4	4,5
	3,9 ³	9,6	18,3	34,0	53,7	64,0	74,7	89,5	92,2	95,5	100,0
AS2	11,9	23,5	32,7	42,1	37,0	15,6	15,9	33,0	7,8	8,6	7,8
	5,0	10,0	13,8	17,9	15,7	6,6	6,7	14,0	3,3	3,7	3,3
	5,0	15,0	28,9	46,7	62,4	69,0	75,7	89,7	93,0	96,7	100,0
AS3	0,0	4,5	10,4	20,4	31,2	22,5	34,3	102,0	25,4	35,7	26,8
	0,0	1,4	3,3	6,5	10,0	7,2	11,0	32,6	8,1	11,4	8,6
	0,0	1,4	4,8	11,3	21,2	28,4	39,4	71,9	80,0	91,4	100,0
AS4	6,8	24,8	44,7	105,9	132,3	106,9	124,7	72,7	5,4	4,5	3,0
	1,1	3,9	7,1	16,8	20,9	16,9	19,7	11,5	0,9	0,7	0,5
	1,1	5,0	12,1	28,8	49,8	66,7	86,5	98,0	98,8	99,5	100,0
AS5	92,3	115,6	139,4	196,0	199,6	57,9	36,6	36,9	5,5	6,6	4,5
	10,4	13,0	15,6	22,0	22,4	6,5	4,1	4,1	0,6	0,7	0,5
	10,4	23,3	39,0	61,0	83,4	89,9	94,0	98,1	98,8	99,5	100,0
AS6	26,8	37,6	34,0	39,3	12,6	3,9	3,3	12,8	2,7	4,6	16,7
	13,8	19,4	17,5	20,2	6,5	2,0	1,7	6,6	1,4	2,4	8,6
	13,8	33,1	50,7	70,9	77,4	79,4	81,1	87,6	89,0	91,4	100,0
AS7	63,0	47,1	46,4	53,9	52,4	22,5	24,4	51,2	13,8	21,5	23,7
	15,0	11,2	11,0	12,8	12,5	5,3	5,8	12,2	3,3	5,1	5,7
	15,0	26,2	37,3	50,1	62,6	67,9	73,7	85,9	89,2	94,3	100,0
AS8	10,4	11,4	13,9	24,1	21,8	7,6	7,3	12,6	3,5	7,1	18,2
	7,6	8,2	10,1	17,5	15,8	5,5	5,3	9,1	2,5	5,1	13,2
	7,6	15,8	25,9	43,4	59,1	64,7	70,0	79,1	81,7	86,8	100,0
AS9	0,0	6,4	17,7	41,9	20,5	17,9	14,2	23,5	3,6	3,7	5,4
	0,0	4,1	11,4	27,1	13,2	11,6	9,2	15,2	2,3	2,4	3,5
	0,0	4,1	15,6	42,6	55,9	67,5	76,6	91,8	94,1	96,5	100,0
AS10	15,3	1,4	1,3	1,6	1,4	1,9	1,4	3,2	2,0	4,6	21,2
	27,7	2,5	2,4	2,9	2,6	3,4	2,4	5,9	3,7	8,2	38,3
	27,7	30,2	32,6	35,5	38,1	41,5	43,9	49,8	53,5	61,7	100,0
AS11	0,0	16,1	26,6	42,3	47,0	23,3	26,6	39,0	5,5	5,7	9,2
	0,0	6,7	11,0	17,5	19,5	9,7	11,0	16,2	2,3	2,4	3,8
	0,0	6,7	17,7	35,2	54,7	64,3	75,4	91,5	93,8	96,2	100,0

¹:Βάρος κλάσματος σε gr ²:Βάρος κλάσματος % ³:Αθροιστικό Βάρος κλάσματος %

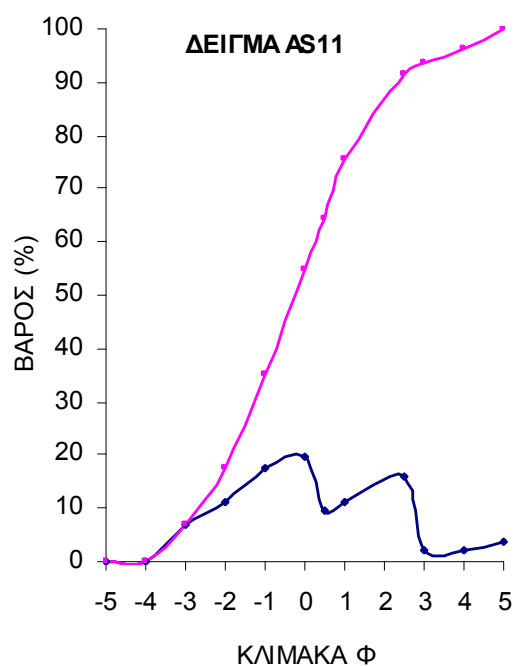
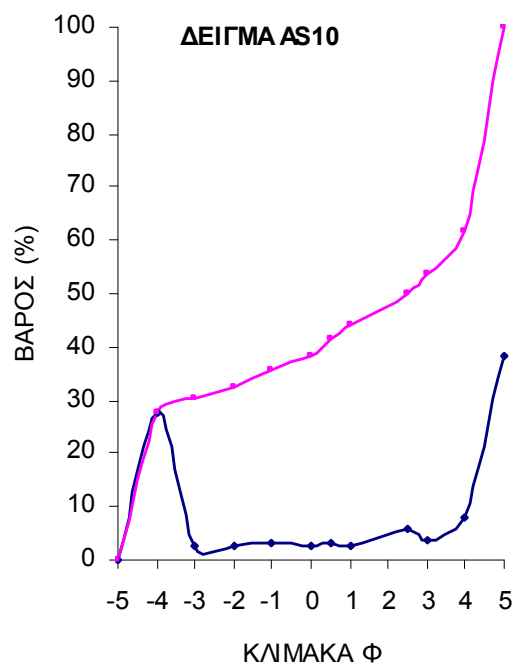
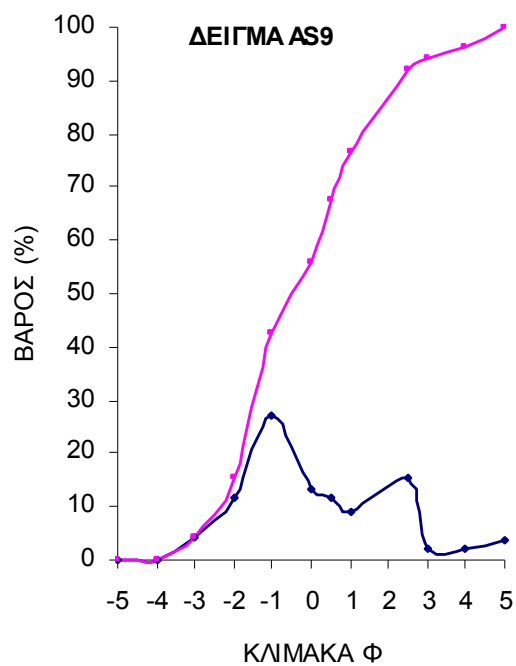
Από τις κοκκομετρικές καμπύλες υπολογίστηκαν γραφικά οι στατιστικές παράμετροι ταξινόμηση (Sorting-So), λοξότητα (Skewness-Sk) και σταθερή απόκλιση (Standard Deviation-SD) για το κάθε δείγμα, οι τιμές των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 6.1.2.



Σχήμα 6.1.1. Καμπύλες συχνότητας και αθροιστικές καμπύλες συχνότητας των δειγμάτων που αναλύθηκαν.



Σχήμα 6.1.1. (συνέχεια).



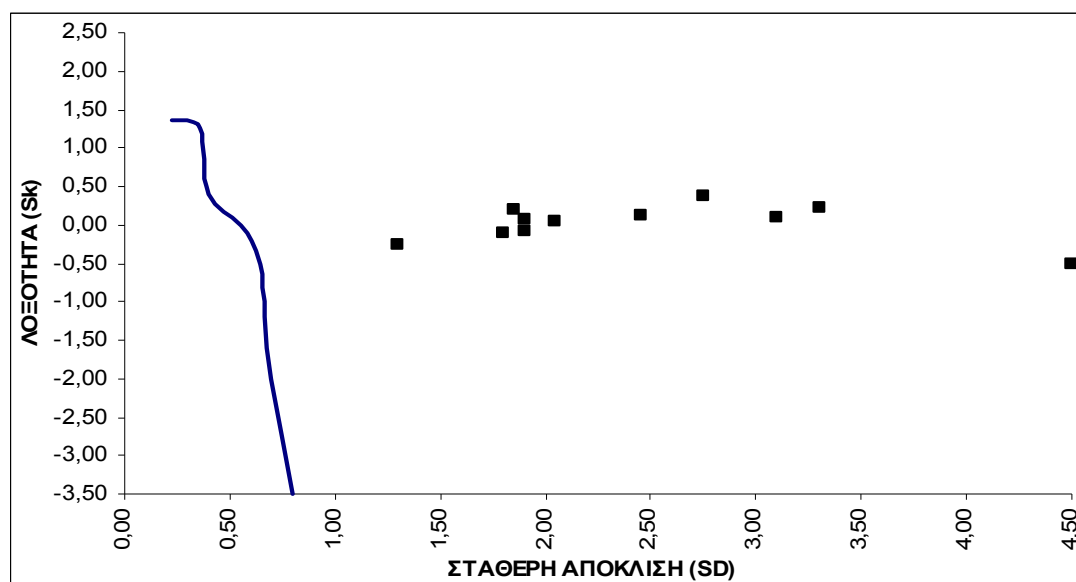
Σχήμα 6.1.1. (συνέχεια).

Πίνακας 6.1.2. Τιμές Φ και στατιστικές παράμετροι των δειγμάτων της περιοχής μελέτης.

ΔΕΙΓΜΑ	Φ_5	Φ_{16}	Φ_{50}	Φ_{84}	Φ_{95}	ΛΟΞΟΤΗΤΑ (Sk)	ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (SD)	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ (So)
AS1	-3,80	-2,20	-0,20	1,90	3,80	0,04	2,05	2,18
AS2	-4,00	-3,00	-0,80	1,90	3,40	0,12	2,45	2,35
AS3	-1,90	-0,50	1,50	3,30	4,30	-0,07	1,90	1,89
AS4	-3,00	-1,70	0,00	0,90	1,90	-0,27	1,30	1,39
AS5	-4,50	-3,60	-1,50	0,00	1,20	-0,11	1,80	1,76
AS6	-4,60	-3,90	-2,00	1,60	4,50	0,37	2,75	2,75
AS7	-4,70	-4,00	-1,00	2,20	4,00	0,09	3,10	2,87
AS8	-4,40	-3,00	-0,60	3,60	4,70	0,22	3,30	3,03
AS9	-2,90	-2,00	-0,50	1,70	3,20	0,20	1,85	1,85
AS10	-4,80	-4,40	2,50	4,60	4,90	-0,52	4,50	3,72
AS11	-3,20	-2,10	-0,30	1,70	3,20	0,07	1,90	1,92

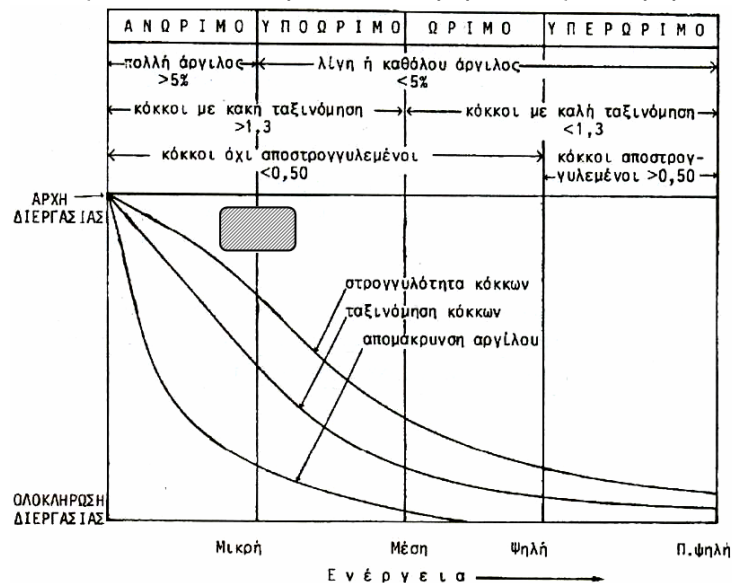
Με βάση τις τιμές των στατιστικών παραμέτρων όπως αυτές φαίνονται στον Πίν. 6.1.2., προκύπτει πως η λοξότητα (Sk) των ιζημάτων της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται από έντονα θετική έως και έντονα αρνητική, καθώς οι τιμές της καλύπτουν όλο το φάσμα των διαβαθμίσεων που προτείνει ο Ψιλοβίκος (1984). Με βάση τις τιμές της σταθερής απόκλισης (SD), όλα τα δείγματα κατά Folk (1968) χαρακτηρίζονται φτωχά έως πολύ φτωχά ταξινομημένα, ενώ η ταξινόμησή τους (So) σύμφωνα και πάλι με τον Ψιλοβίκο (1984) κυμαίνεται από κακή έως πολύ κακή.

Προβάλλοντας τις τιμές των στατιστικών παραμέτρων SD και Sk στο διάγραμμα του Σχ. 6.2. που προτάθηκε από τον Friedman (1961), προκύπτει ότι όλα τα δείγματα της περιοχής μελέτης προβάλλονται στο πεδίο των ποτάμιων άμμων, κάτι που συμφωνεί με το περιβάλλον από το οποίο συλλέχθηκε το κάθε δείγμα.



Σχήμα 6.1.2. Διάκριση άμμων με βάση τις τιμές Sk και SD κατά Friedman (1961).

Επίσης προσδιορίστηκε η ιστολογική ωριμότητα των δειγμάτων. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2.1. κάποια από αυτά περιέχουν περισσότερο και άλλα λιγότερο από 5% άργιλο. Η ταξινόμηση των κόκκων τους όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι κακή. Ακόμη, από την οπτική εκτίμηση του βαθμού στρογγυλότητας των κλαστικών κόκκων κατά Powers (1953) προκύπτει ότι αυτοί είναι γωνιώδεις έως υπογωνιώδεις. Έτσι, με βάση το διάγραμμα του Σχ. 6.1.3. που προτάθηκε από τον Weller (1960) συμπεραίνεται πως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας είναι ιστολογικά υποώριμα έως ανώριμα.



Σχήμα 6.1.3. Στάδια ιστολογικής ωριμότητας κλαστικών ιζημάτων κατά Weller (1960).

6.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ FOLK

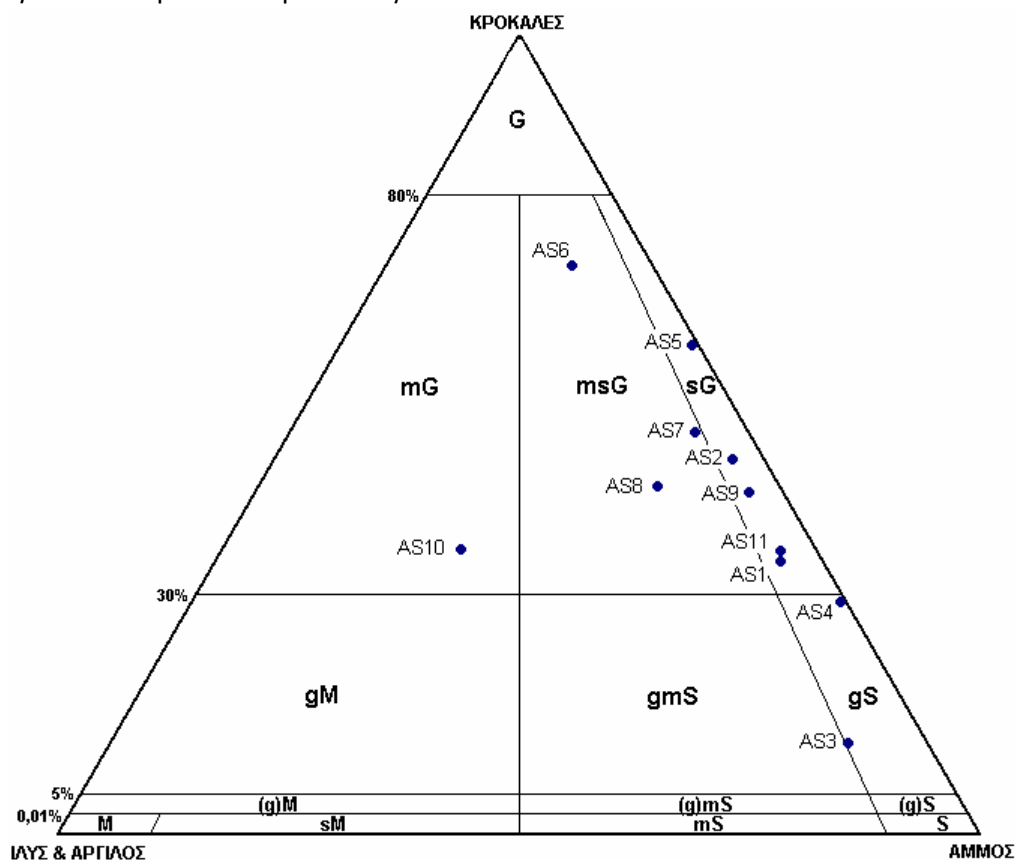
Η ταξινόμηση των ιζημάτων κατά Folk που βασίζεται στην κοκκομετρία, έχει ως σκοπό να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του τύπου εδάφους στον οποίο αντιστοιχούν.

Στον Πίνακα 6.2.1. φαίνεται η εκατοστιαία αναλογία των κροκαλών, της άμμου, της ιλύος και της αργίλου των δειγμάτων που μελετήθηκαν καθώς και οι αντίστοιχες λιθολογικές τάξεις που προκύπτουν κατά Folk et al. (1970).

Πίνακας 6.2.1. Εκατοστιαίες αναλογίες και ταξινόμηση των δειγμάτων της περιοχής μελέτης κατά Folk et al. (1970).

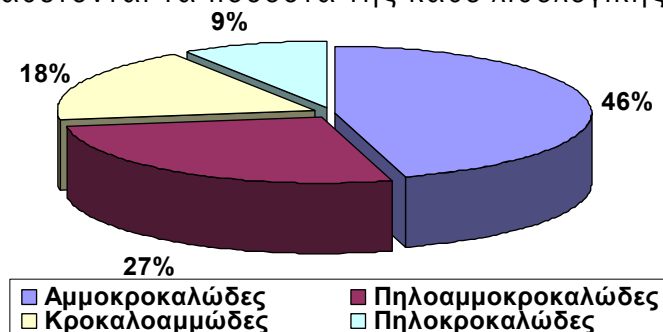
ΔΕΙΓΜΑ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΙΛΥΣ+ΑΡΓΙΛΟΣ (%)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
AS1	34,02	61,53	4,45	sG	αμμοκροκαλώδες
AS2	46,71	49,97	3,32	sG	αμμοκροκαλώδες
AS3	11,27	80,17	8,56	gS	κροκαλοαμμώδες
AS4	28,84	70,68	0,48	gS	κροκαλοαμμώδες
AS5	60,99	38,51	0,51	sG	αμμοκροκαλώδες
AS6	70,90	20,51	8,59	msG	πηλοαμμοκροκαλώδες
AS7	50,11	44,23	5,65	msG	πηλοαμμοκροκαλώδες
AS8	43,36	43,46	13,18	msG	πηλοαμμοκροκαλώδες
AS9	42,65	53,86	3,50	sG	αμμοκροκαλώδες
AS10	35,52	26,16	38,32	mG	πηλοκροκαλώδες
AS11	35,21	60,96	3,82	sG	αμμοκροκαλώδες

Ακόμη, στο Σχήμα 6.2.1. γίνεται ταξινόμηση των ιζημάτων σε τριγωνικό διάγραμμα κατά Folk et al. (1970), με βάση τη λιθολογική τους σύσταση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.2.1.



Σχήμα 6.2.1. Ταξινόμηση των κροκαλοφόρων ιζημάτων της περιοχής έρευνας, κατά Folk et al. (1970).

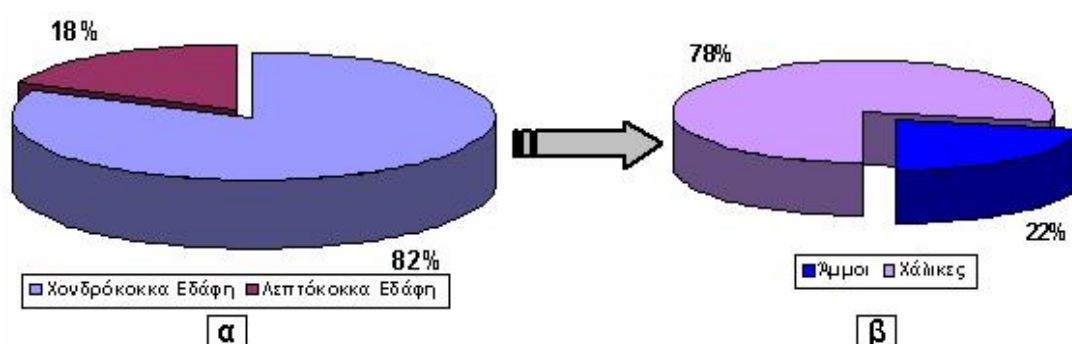
Από την ταξινόμηση αυτή παρατηρείται ότι πέντε δείγματα χαρακτηρίζονται ως αμμοκροκαλώδη (AS1, AS2, AS5, AS9, AS11), τρία ως πηλοαμμοκροκαλώδη (AS6, AS7, AS8), δύο ως κροκαλοαμμώδη (AS3, AS4) και ένα ως πηλοκροκαλώδες (AS10). Στο Σχήμα 6.2.2. που ακολουθεί παραθέτονται τα ποσοστά της κάθε λιθολογικής τάξης.



Σχήμα 6.2.2. Ποσοστιαία κατανομή των λιθολογικών τάξεων των δειγμάτων κατά Folk et al. (1970).

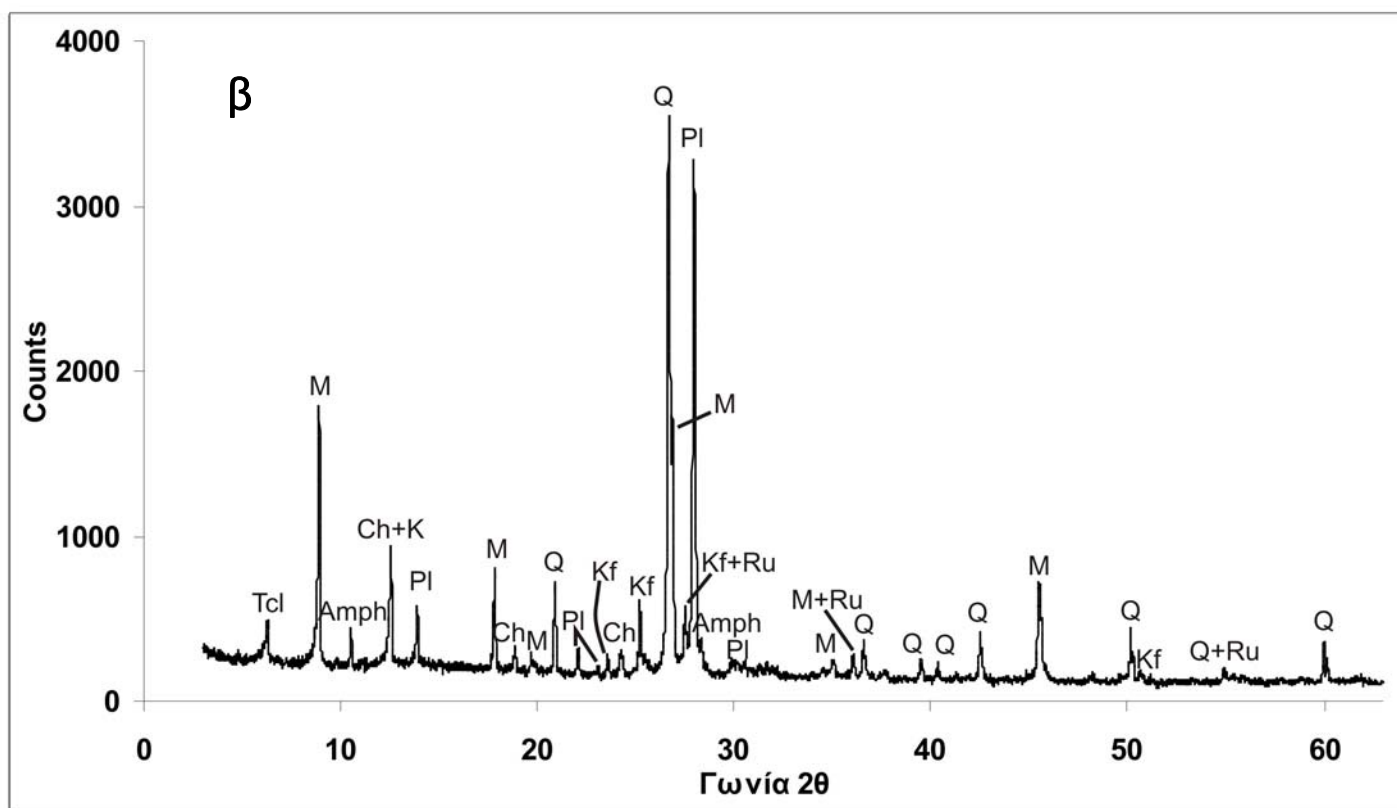
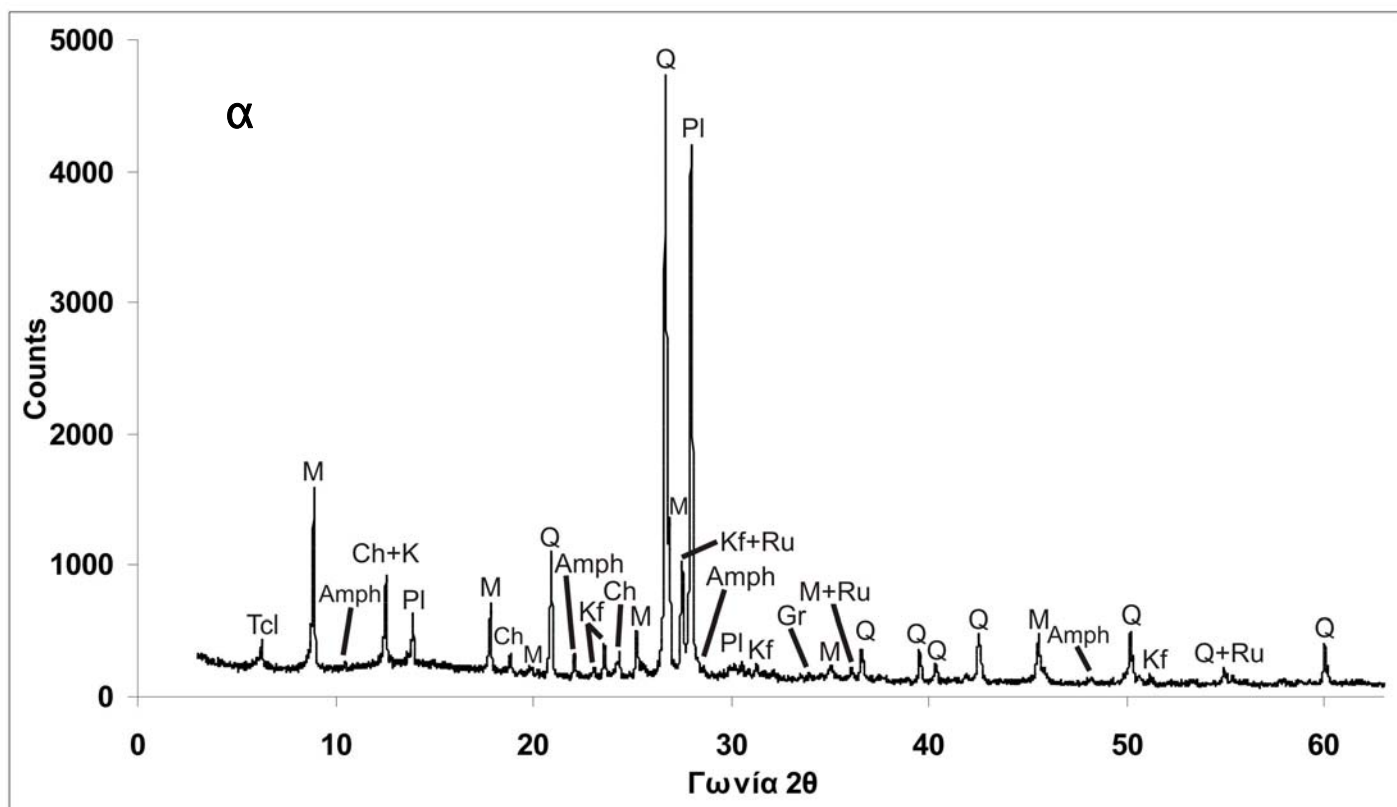
6.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ASTM D-2487

Τέλος, έγινε ταξινόμηση των ιζημάτων της περιοχής έρευνας με βάση το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης εδαφών ASTM D-2487 (American Society for Testing Materials), σύμφωνα με τις τάξεις που διακρίνονται στον Πίνακα 5.1.3.1., ο οποίος παραθέτεται στην παράγραφο 5.1.3. του 5^{ου} κεφαλαίου. Σύμφωνα με αυτή την ταξινόμηση, 9 από τα δείγματα (AS1, AS2, AS4, AS5, AS6, AS7, AS8, AS9, AS11) ανήκουν στην κατηγορία των χονδρόκοκκων εδαφών (δηλαδή περισσότερο από το 50% των κόκκων τους έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από αυτή του κόσκινου No. 200, που είναι ίση με 0,075 mm) και 2 από τα δείγματα (AS3, AS10) ανήκουν στην κατηγορία των λεπτόκοκκων εδαφών (δηλαδή περισσότερο από το 50% των κόκκων τους έχουν διάμετρο μικρότερη από αυτή του κόσκινου No. 200) (Σχ. 6.3.1α).



Σχήμα 6.3.1. Ποσοστιαία κατανομή των λιθολογικών τάξεων των δειγμάτων κατά ASTM D-2487.

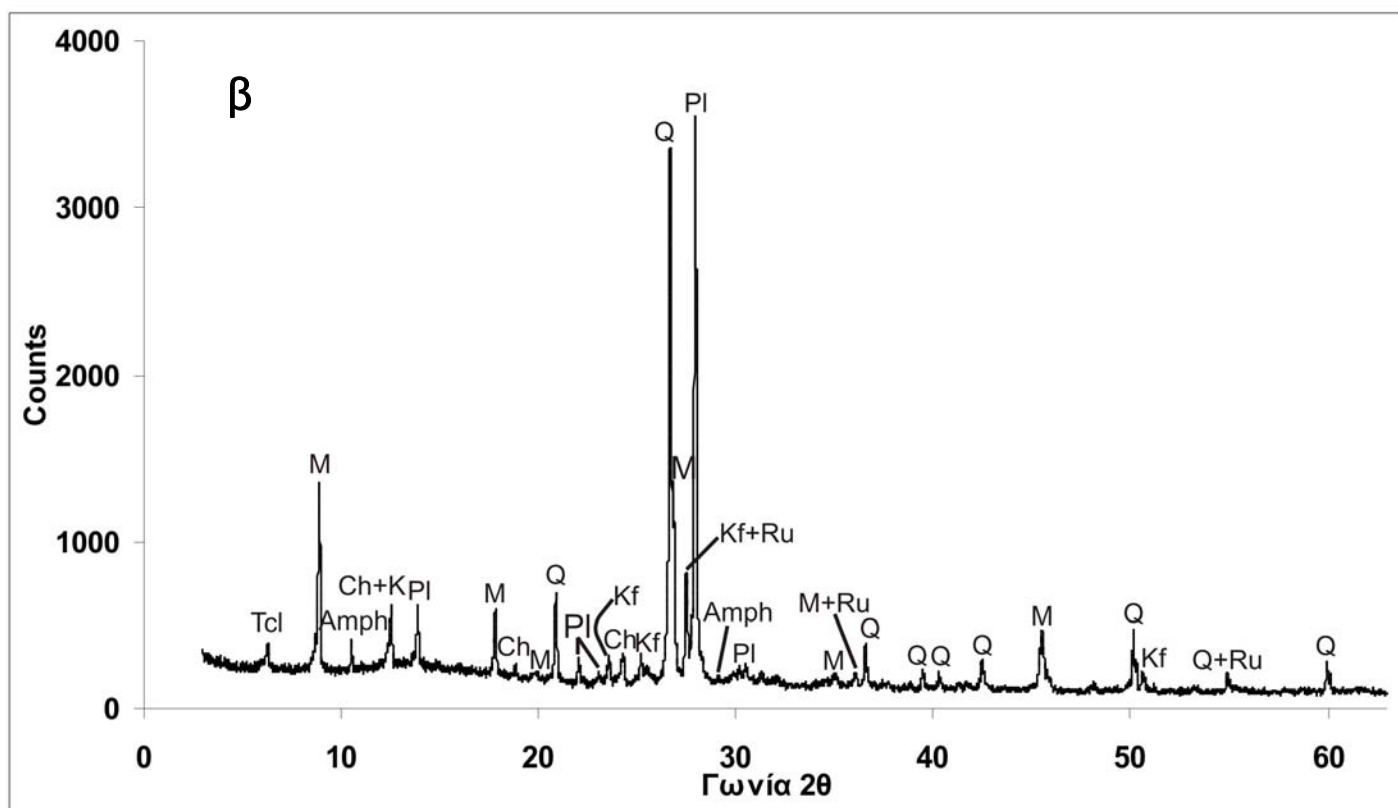
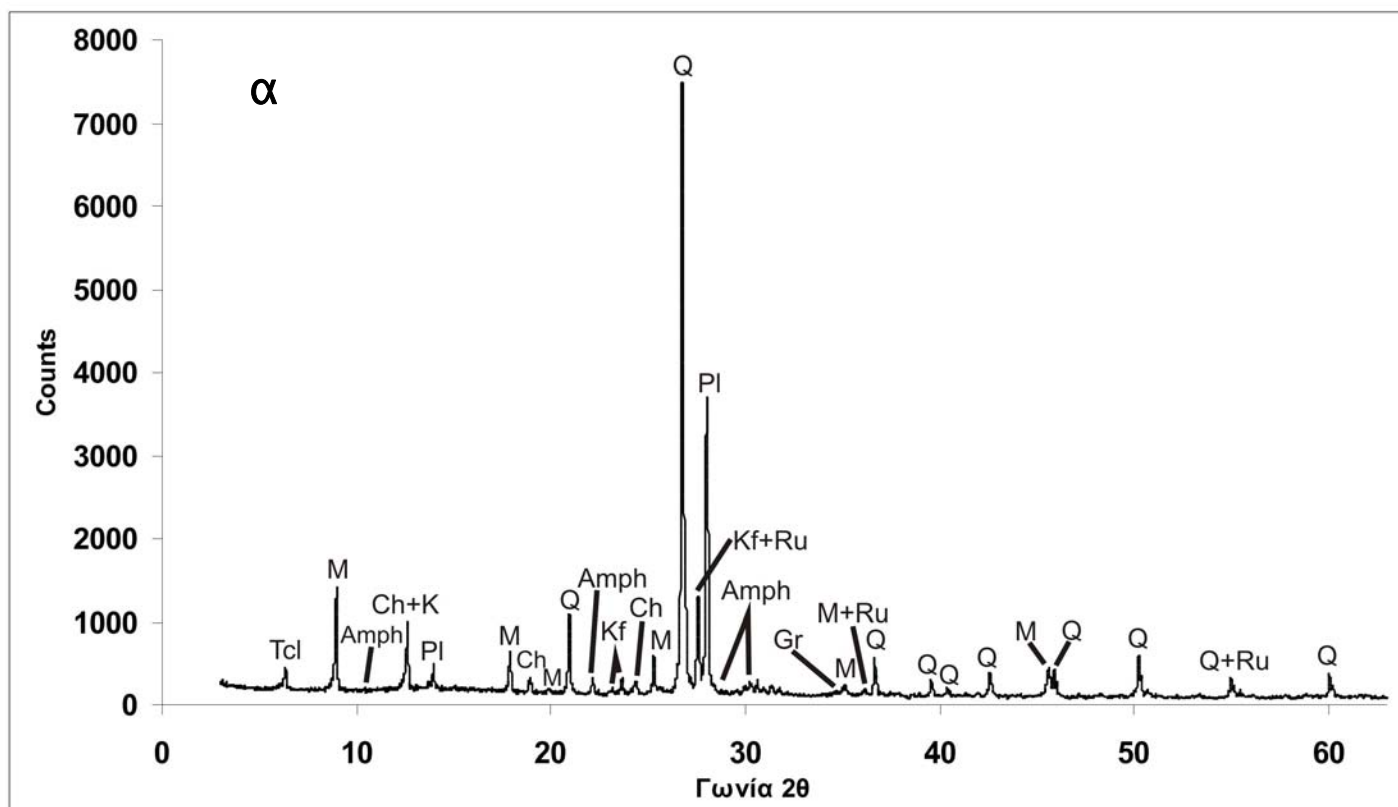
Από τα δείγματα που ταξινομήθηκαν στην κατηγορία των χονδρόκοκκων εδαφών, τα 2 (AS6 και AS7) χαρακτηρίζονται ως χάλικες, καθώς περισσότερο από το 50% των χονδρόκοκκων τμημάτων τους έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από αυτή του κόσκινου No. 4 που είναι ίση με 4,75 mm, ενώ τα υπόλοιπα 7 (AS1, AS2, AS4, AS5, AS8, AS9, AS11) χαρακτηρίζονται ως άμμοι, καθώς περισσότερο από το 50% των χονδρόκοκκων τμημάτων τους έχουν διάμετρο μικρότερη από αυτή του κόσκινου No. 4 (Σχ. 6.3.1β).



Σχήμα 7.1.1. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS1

α: Ολικό δείγμα

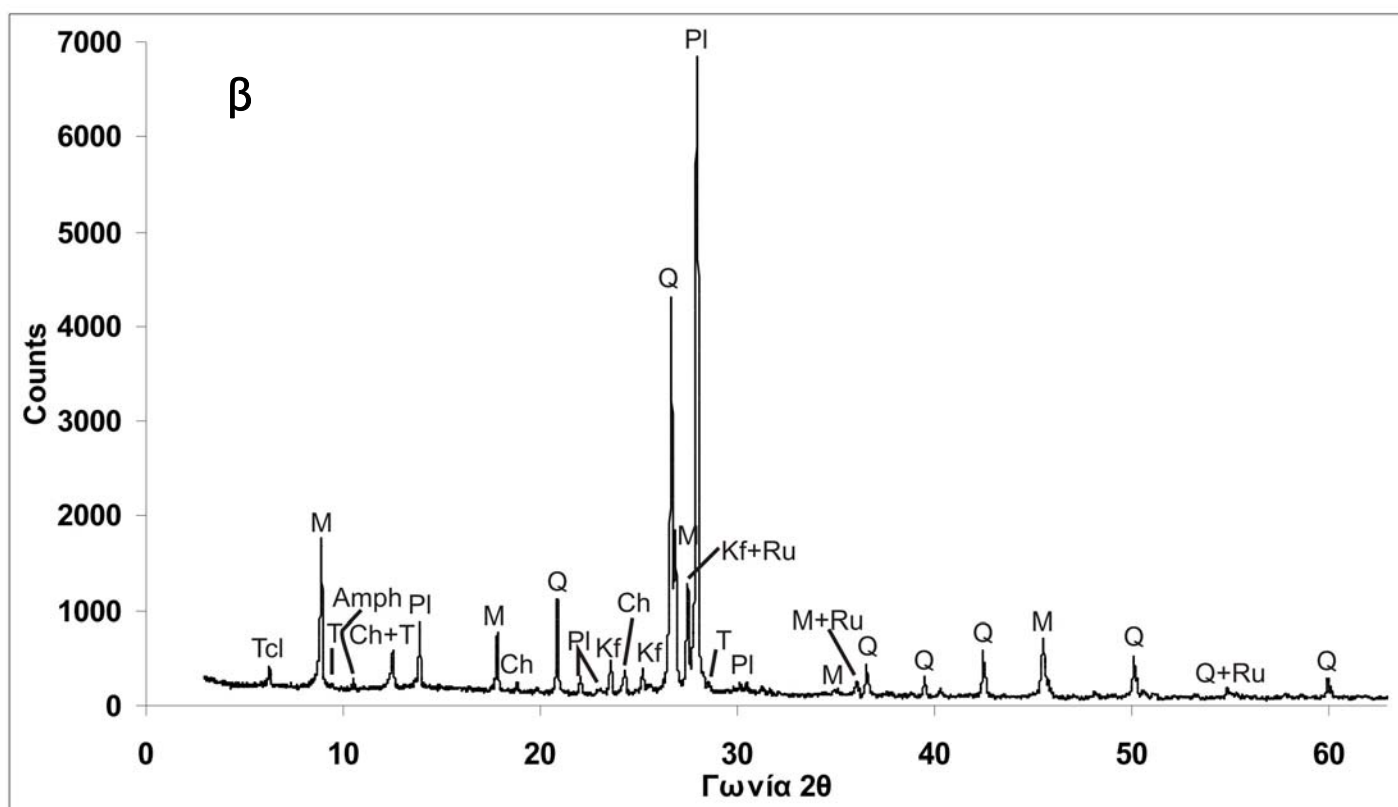
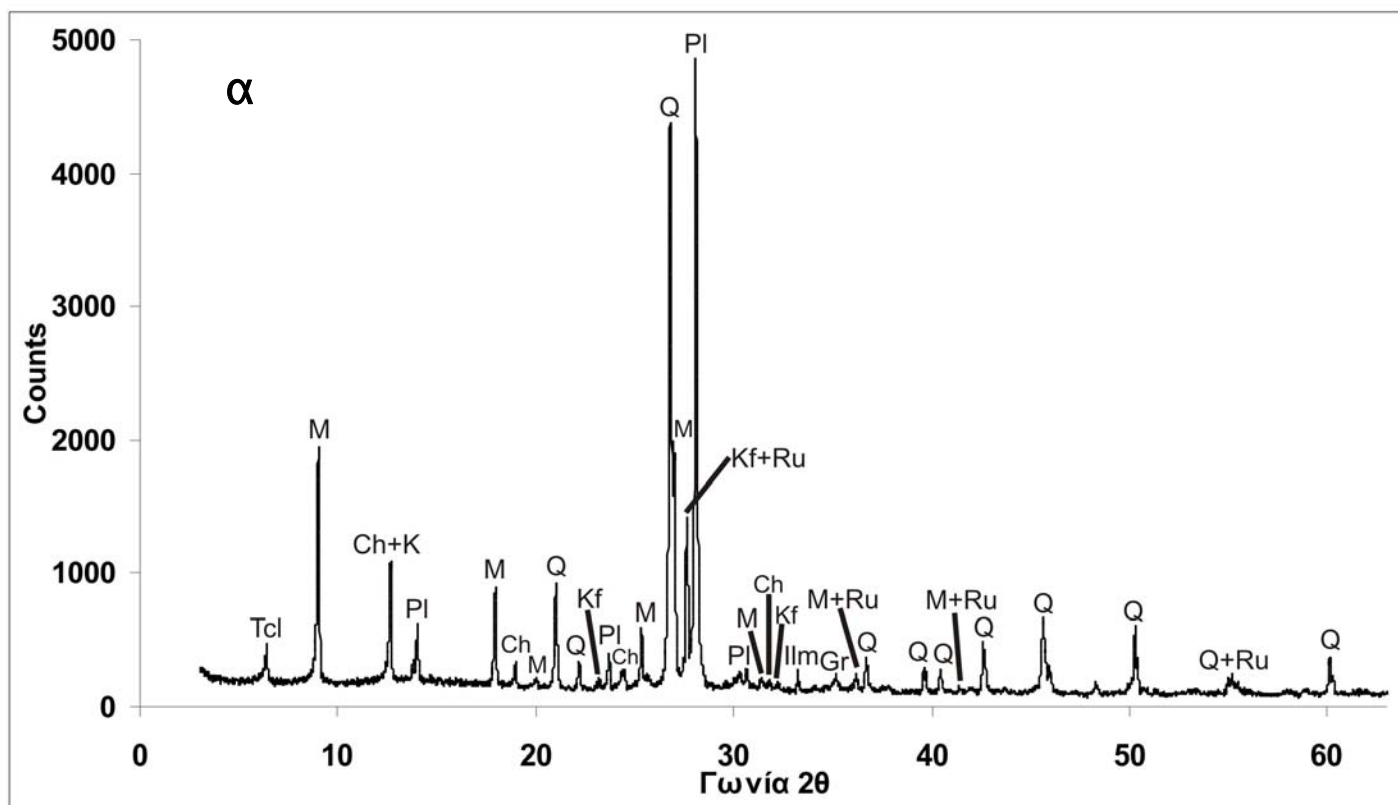
β: Κλάσμα 0.125 - 0.18 mm



Σχήμα 7.1.2. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS2

α: Ολικό δείγμα

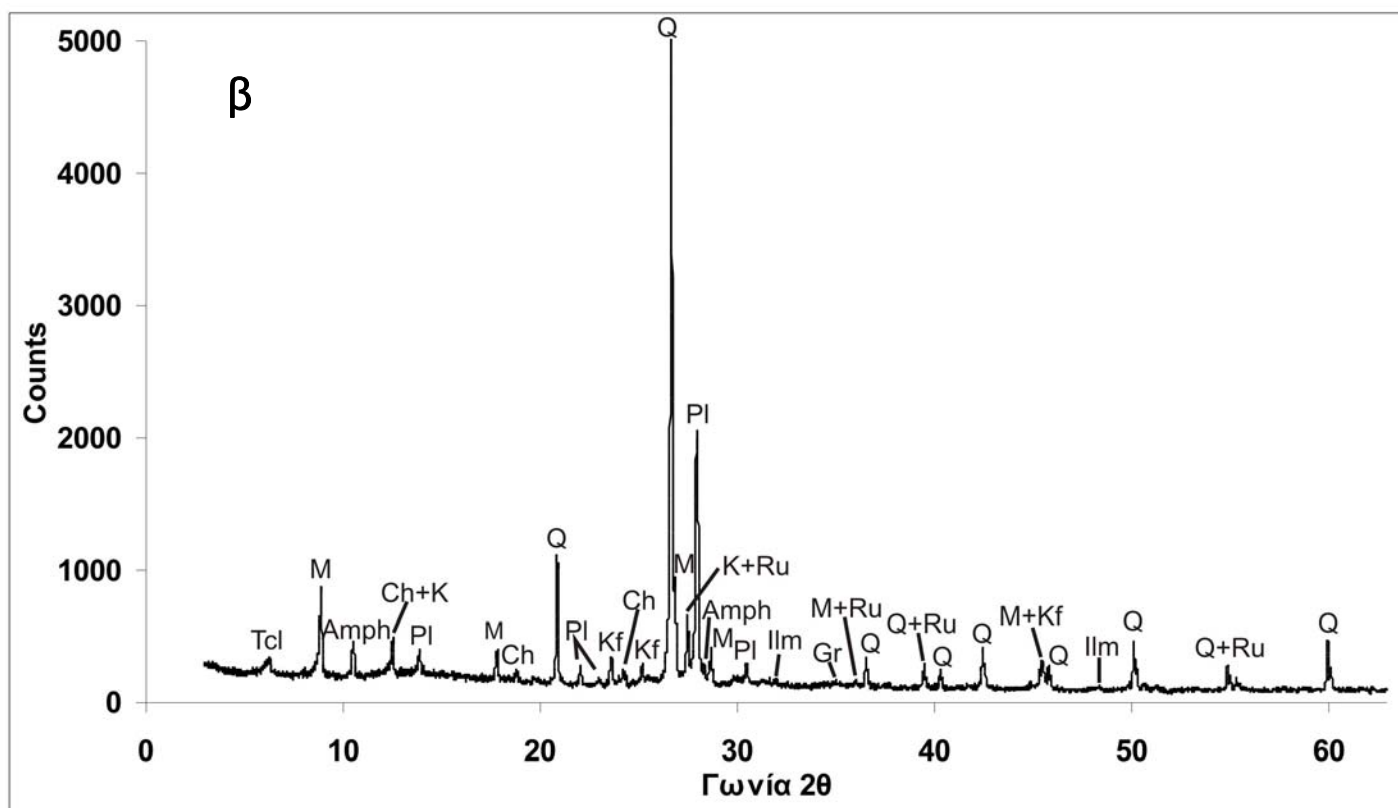
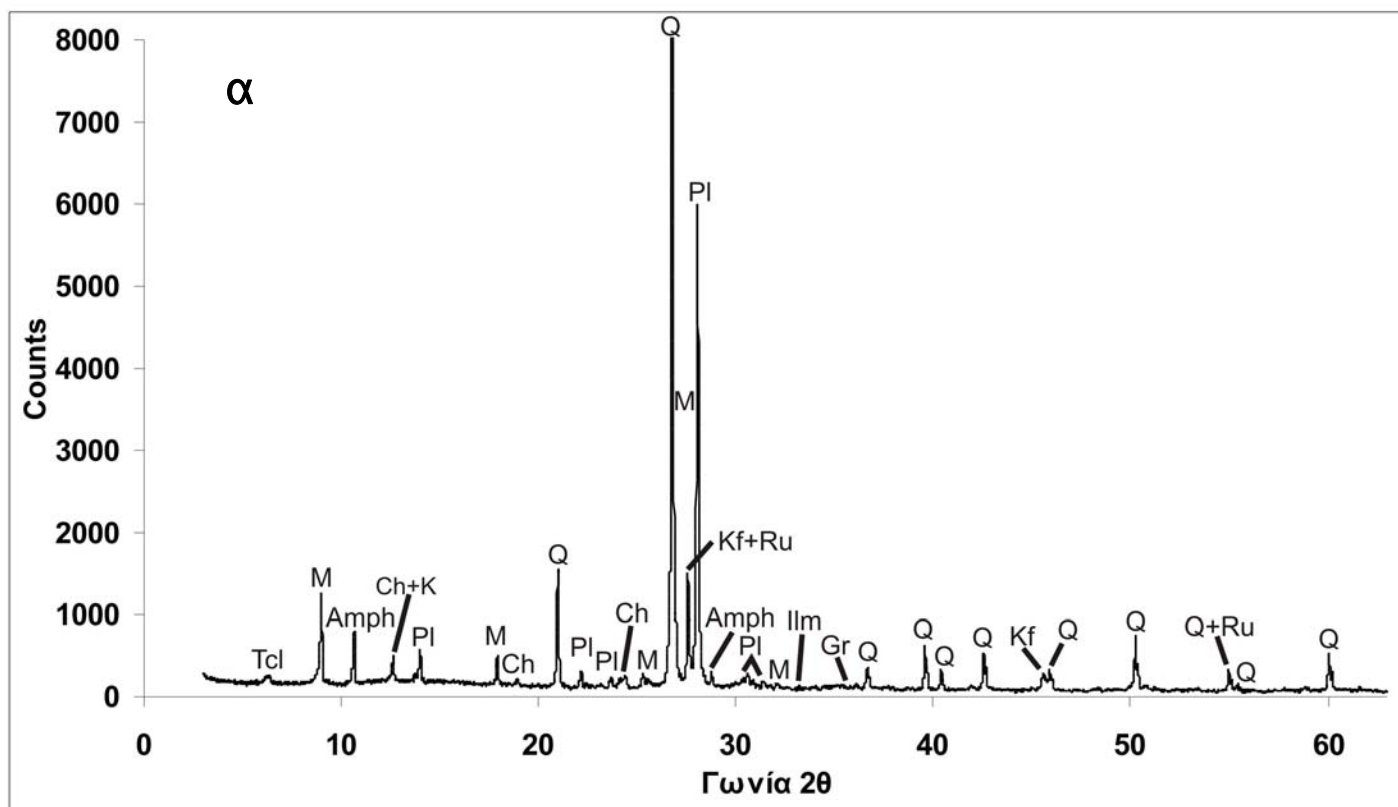
β: Κλάσμα 0.125 - 0.18 mm



Σχήμα 7.1.3. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS3

α: Ολικό δείγμα

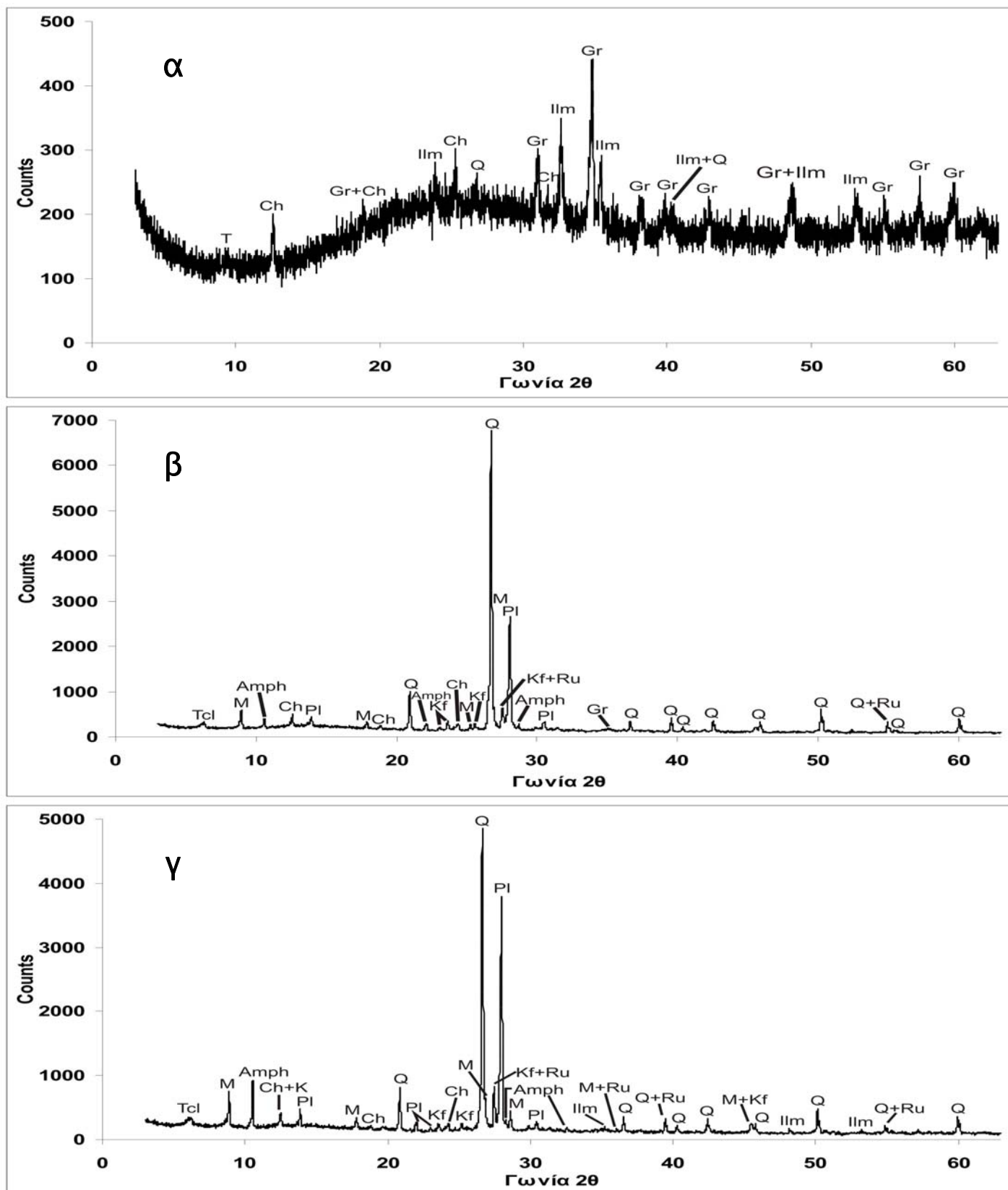
β: Κλάσμα 0.125 - 0.18 mm



Σχήμα 7.1.4. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS4

α: Ολικό δείγμα

β: Κλάσμα 0.125 - 0.18 mm

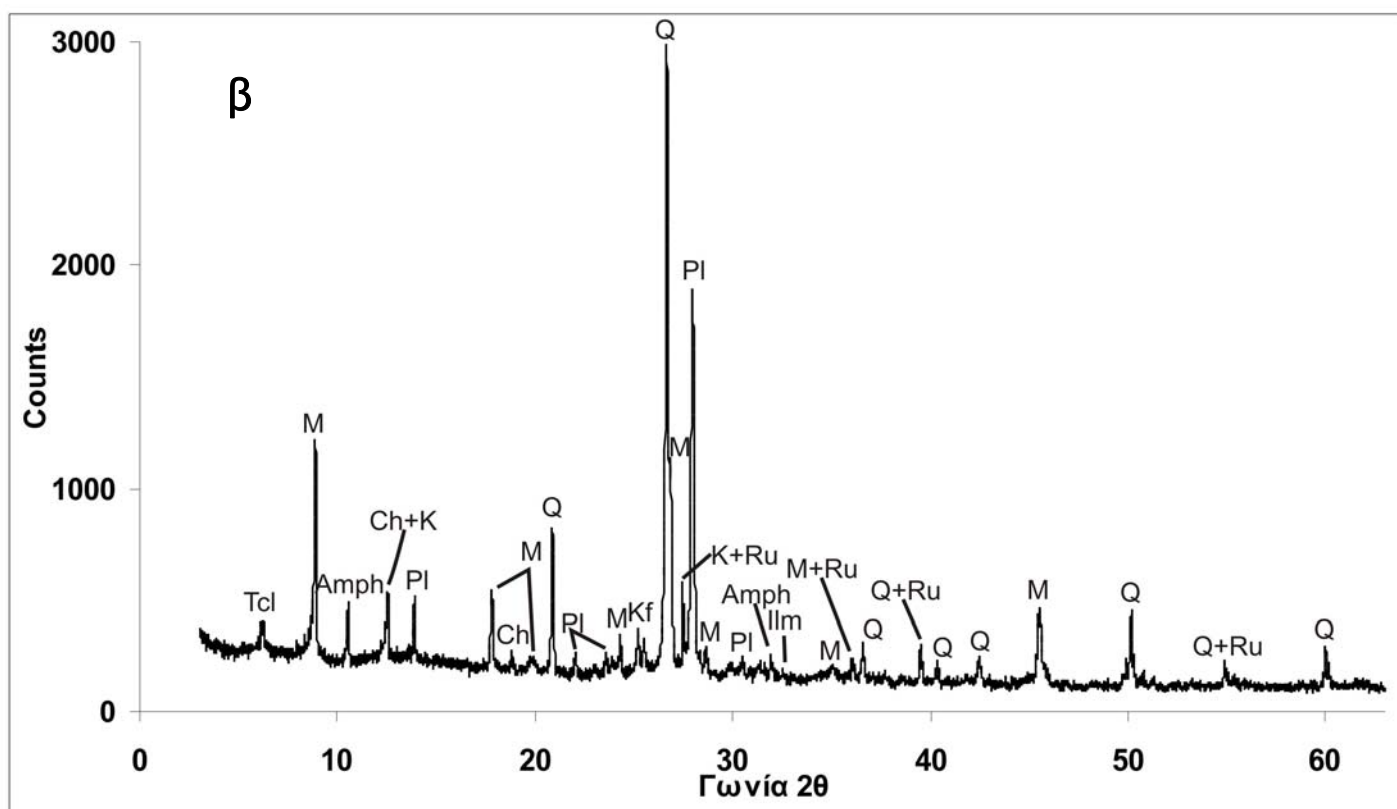
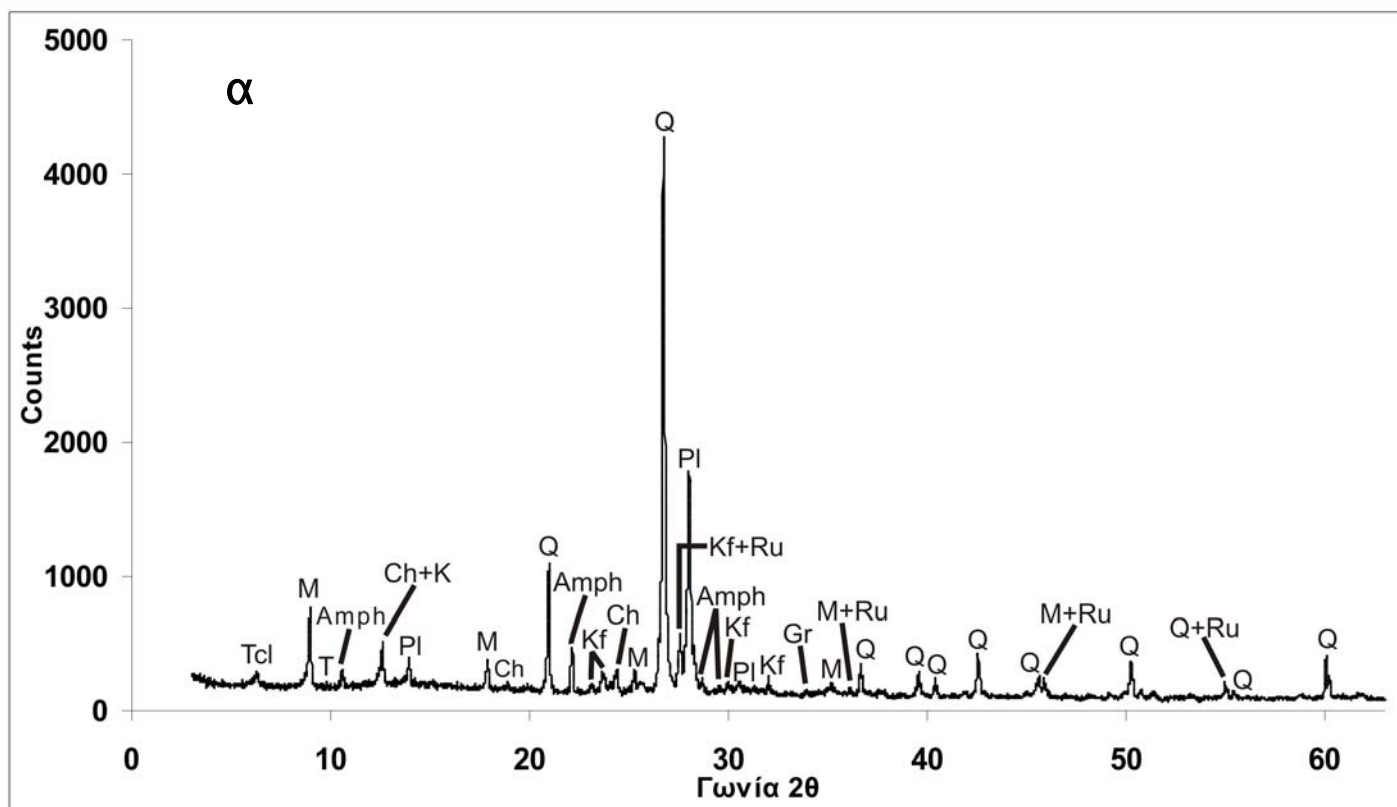


Σχήμα 7.1.5. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS5

α: Υλικό που έμεινε μετά το διαχωρισμό για την απόληψη γρανάτη και ιλμενίτη

β: Ολικό δείγμα

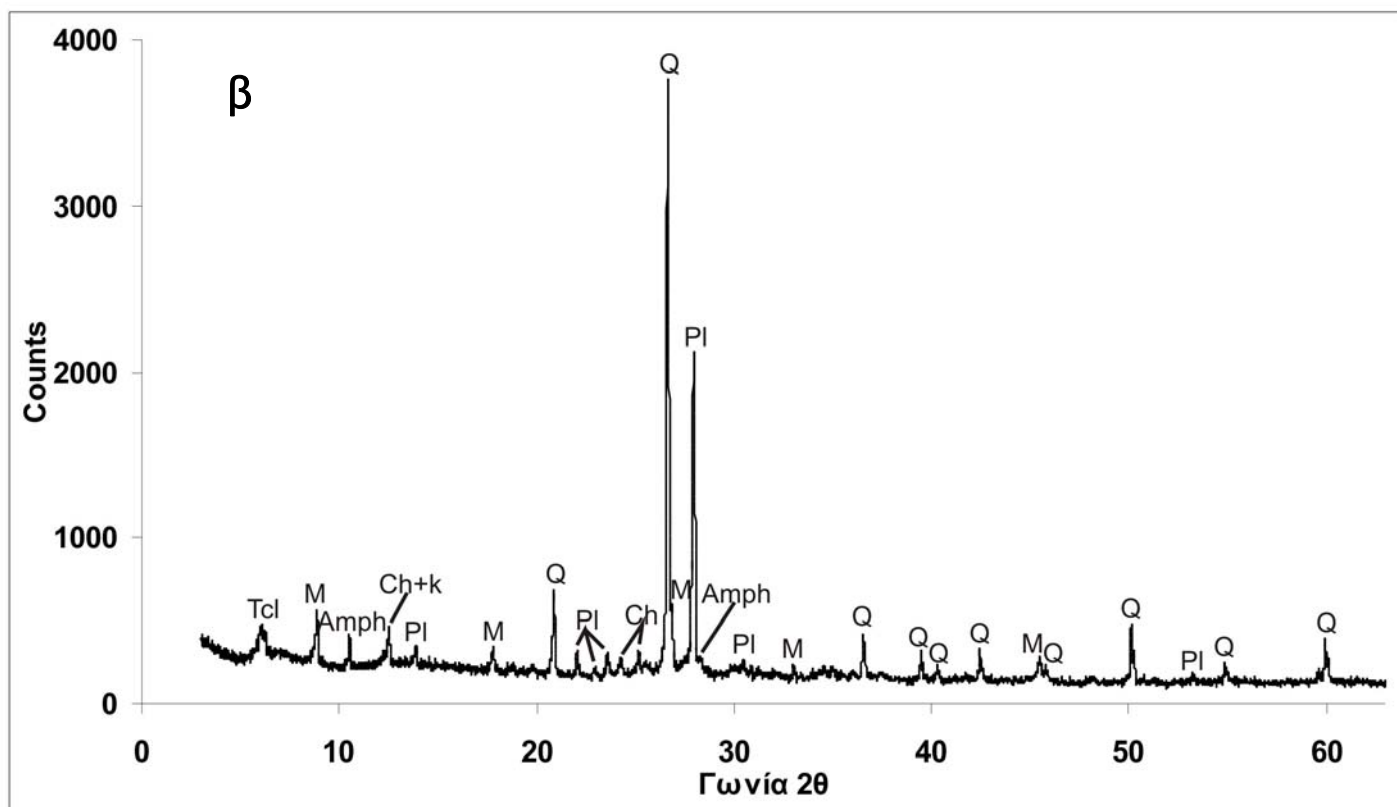
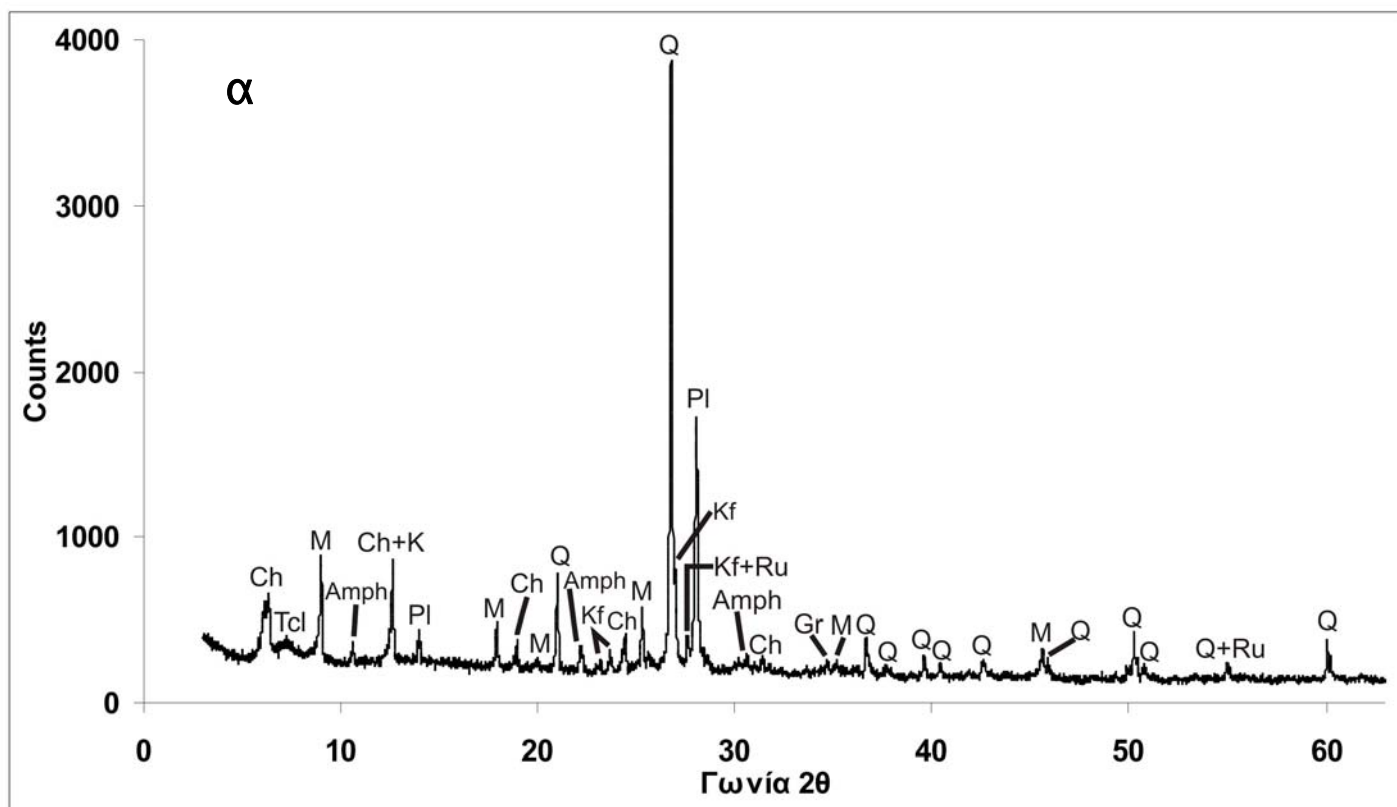
γ: Κλάσμα 0.125 - 0.18 mm



Σχήμα 7.1.6. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS6

α: Ολικό δείγμα

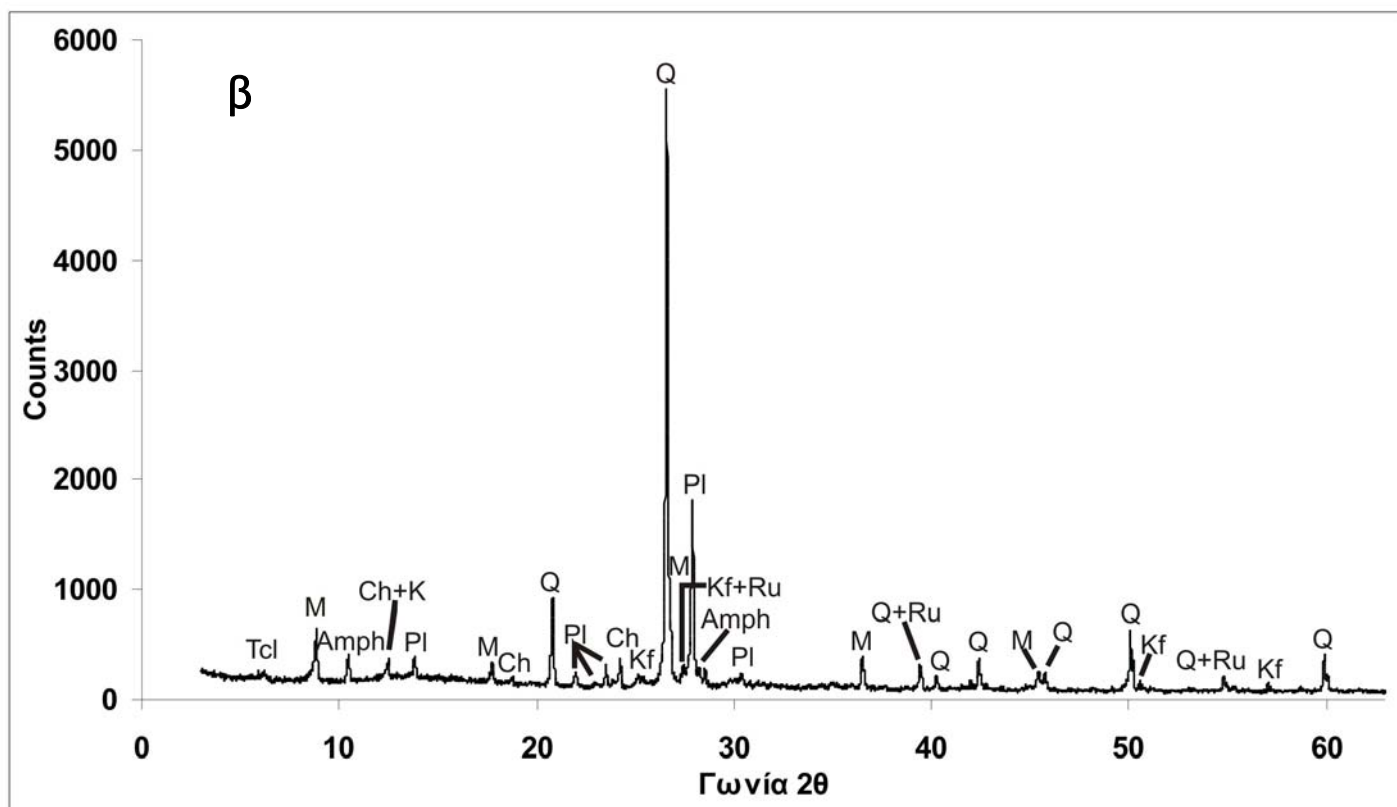
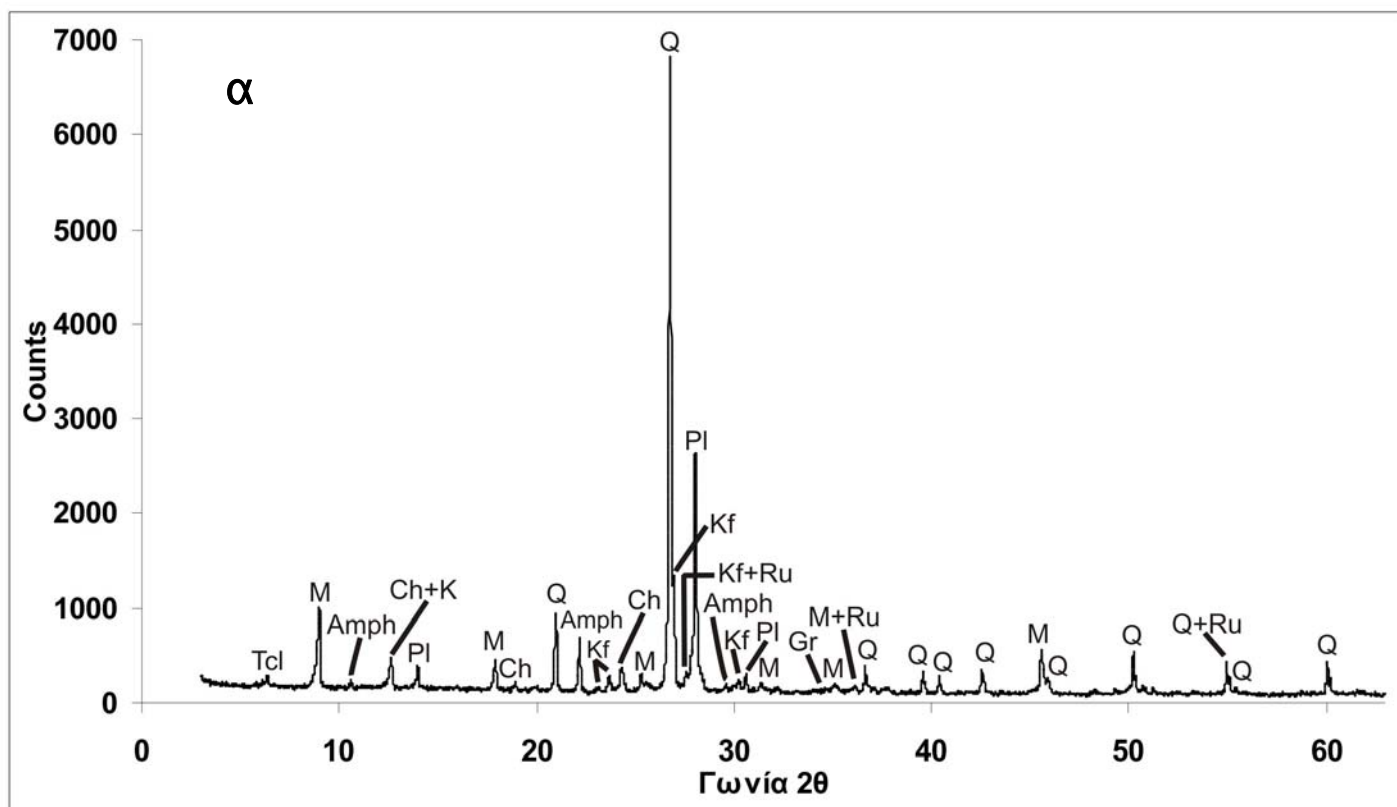
β: Κλάσμα 0.125 – 0.18 mm



Σχήμα 7.1.7. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS7

α: Ολικό δείγμα

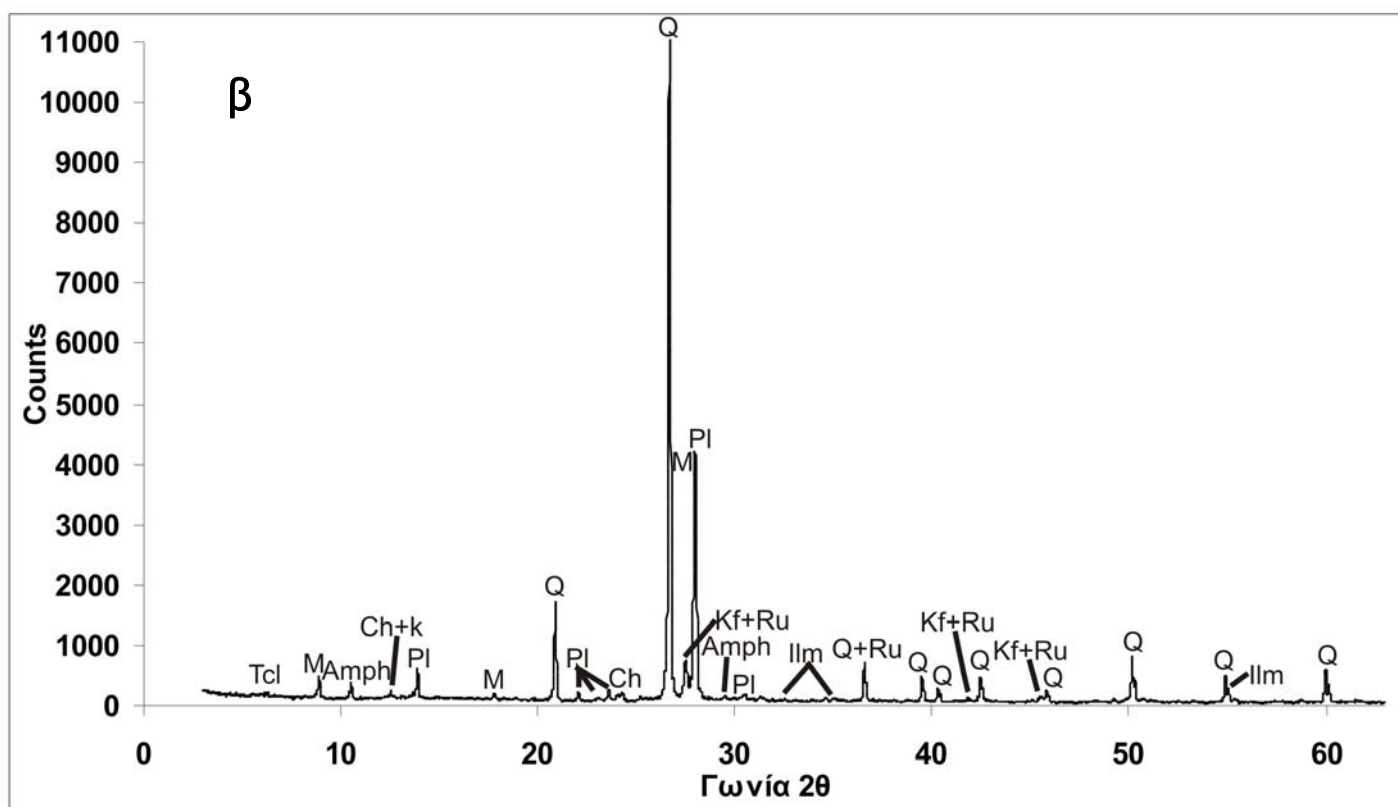
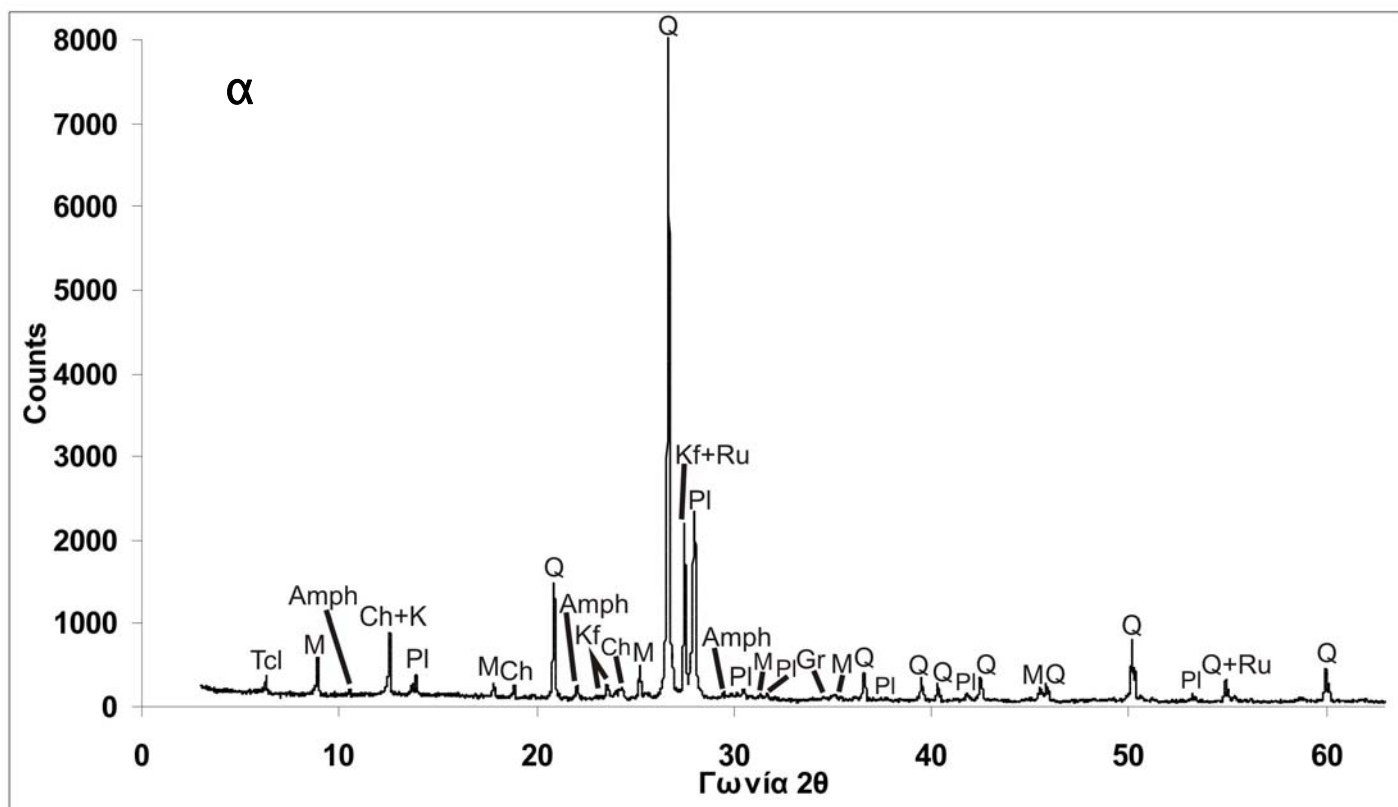
β: Κλάσμα 0.125 – 0.18 mm



Σχήμα 7.1.8. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS8

α: Ολικό δείγμα

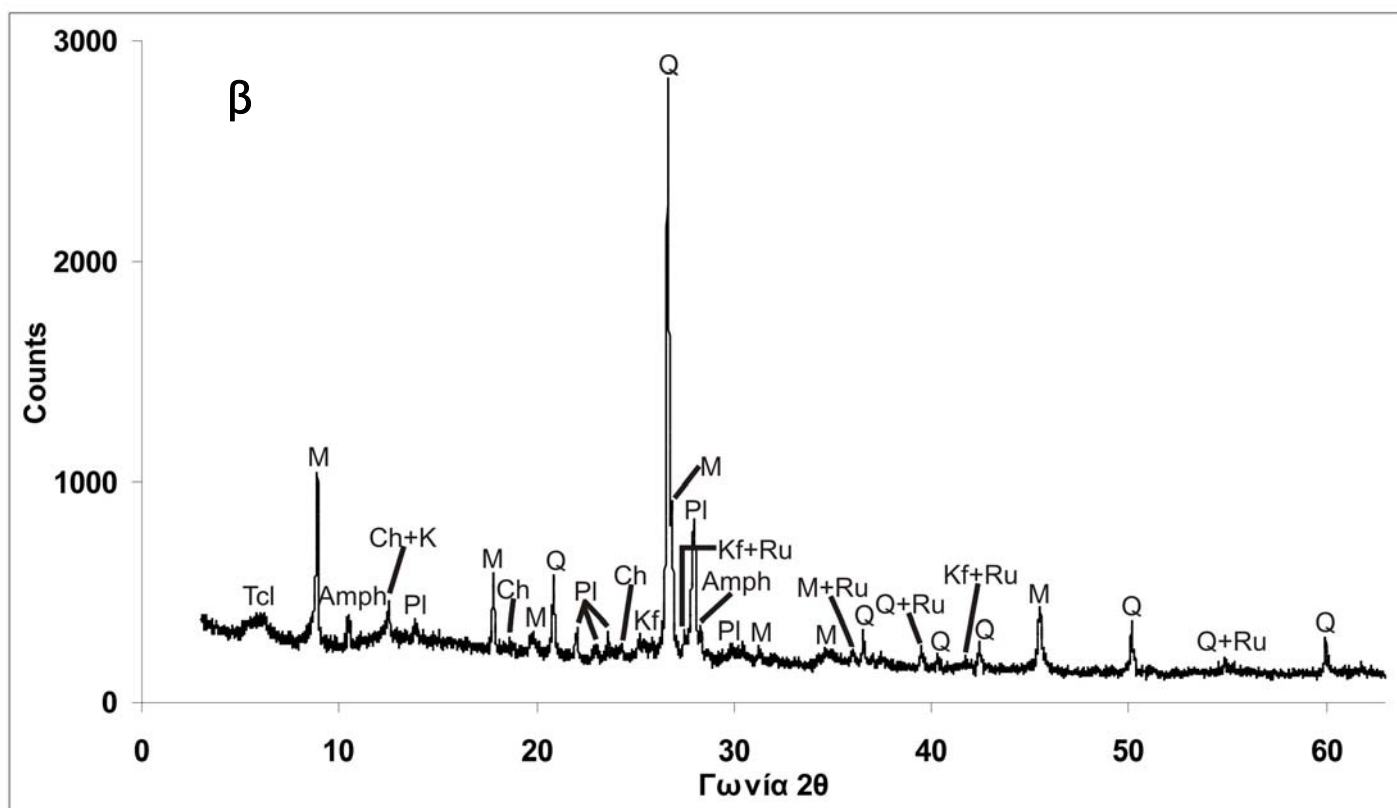
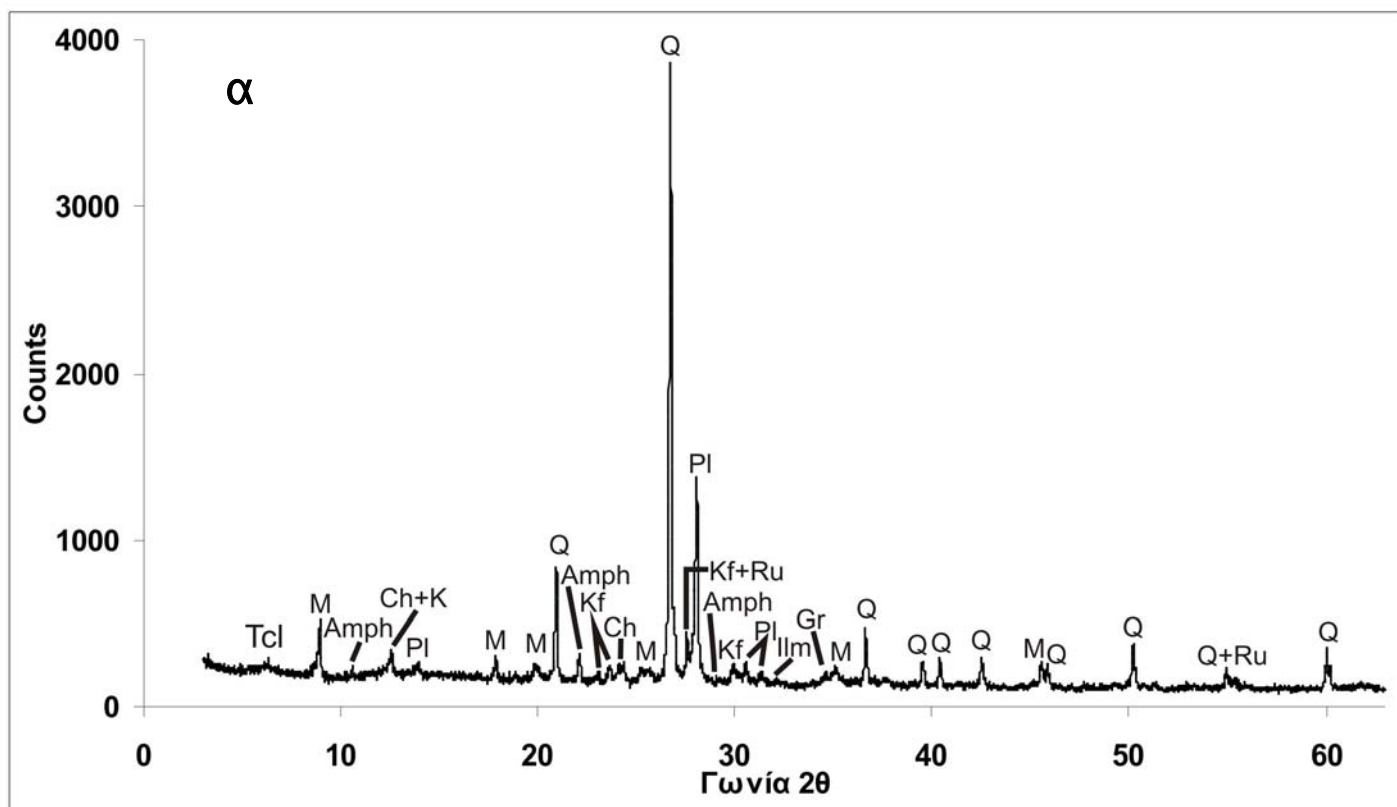
β: Κλάσμα 0.125 – 0.18 mm



Σχήμα 7.1.9. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS9

α: Ολικό δείγμα

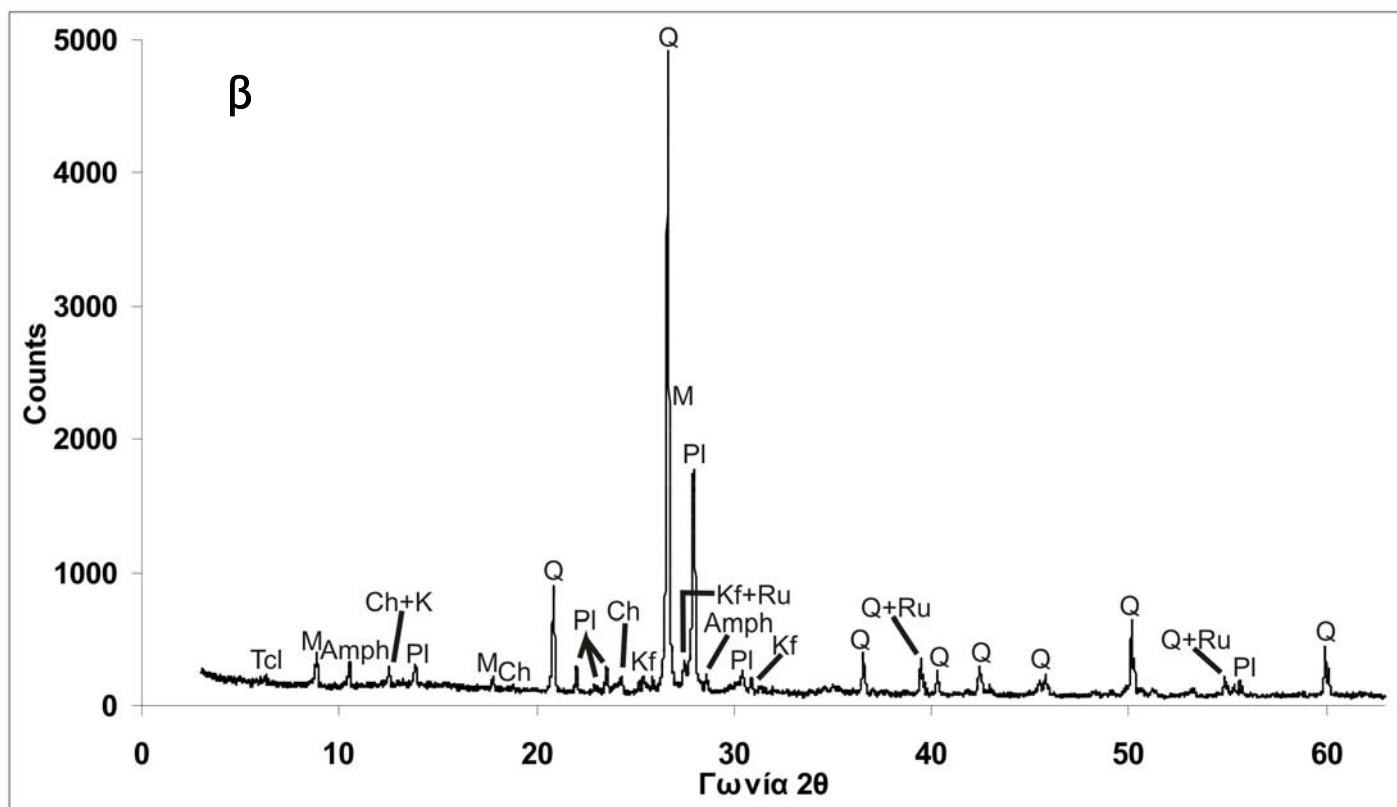
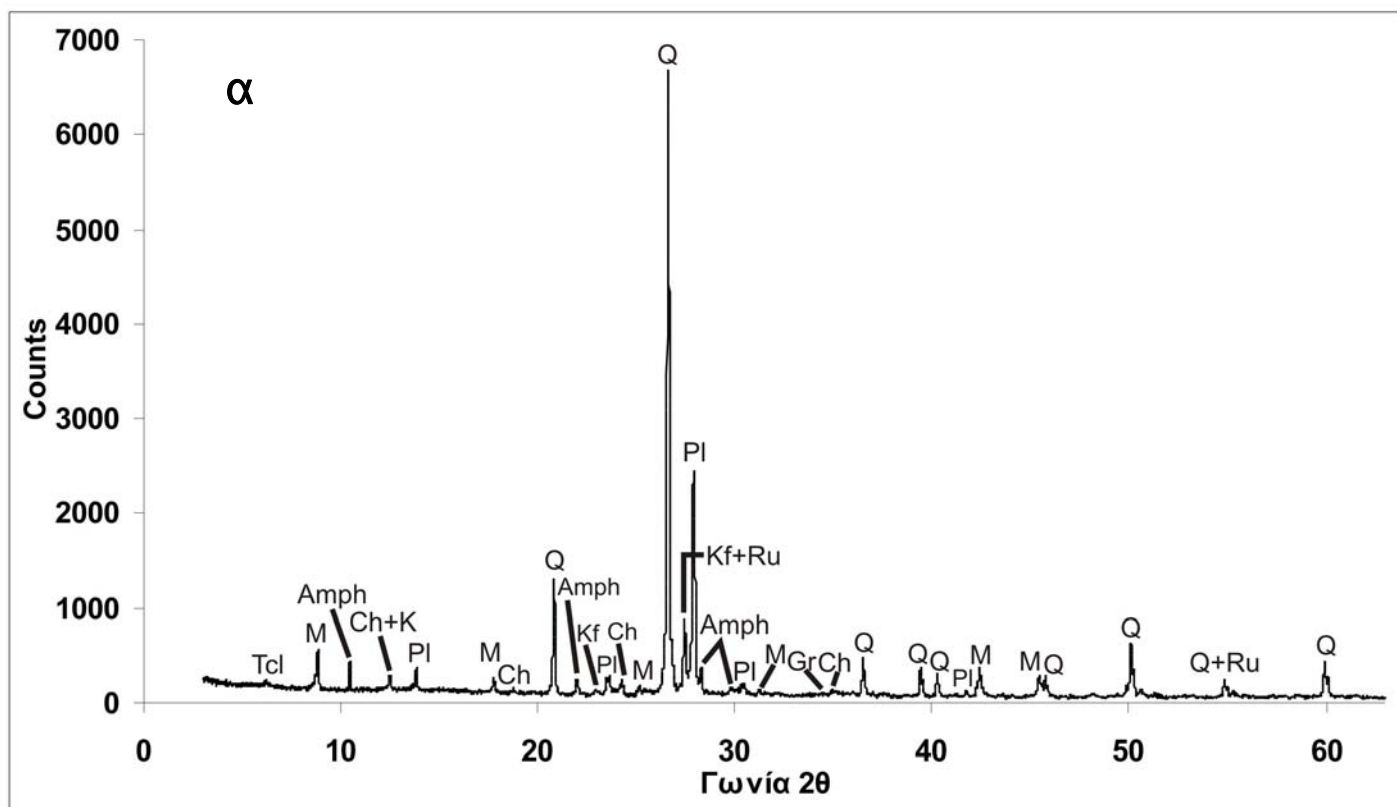
β: Κλάσμα 0.125 – 0.18 mm



Σχήμα 7.1.10. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS10

α: Ολικό δείγμα

β: Κλάσμα 0.125 - 0.18 mm



Σχήμα 7.1.11. Περιθλασιογράμματα δείγματος AS11

α: Ολικό δείγμα

β: Κλάσμα 0.125 – 0.18 mm

7.2. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στις λεπτές και στιλπνές τομές που παρασκευάστηκαν από τα ιζήματα της περιοχής έρευνας, μελετήθηκαν και προσδιορίστηκαν τα μεταλλικά και διαφανή ορυκτά. Τα μεταλλικά ορυκτά είναι: ιλμενίτης, ρουτίλιο, μαγνητίτης, αιματίτης, σιδηροπυρίτης και λειμωνίτης. Τα μη μεταλλικά: ορυκτά είναι χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, καλιούχοι άστριοι, αμφίβολοι, μαρμαρυγίες, χλωρίτης, γρανάτης, ζοϊσίτης-κλινοζοισίτης, τάλκης, επίδοτο, ζιρκόνιο, τιτανίτης, απατίτης και σταυρόλιθος.

Η παρουσία των ορυκτών αυτών επιβεβαιώθηκε και με μικροαναλύσεις που έγιναν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, όπως φαίνεται και στους Πίνακες 7.2.1.1. έως 7.2.1.6. και 7.2.2.1.-7.2.2.8..

7.2.1. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

Ο ιλμενίτης εντοπίζεται σε υπιδιόμορφους κυρίως κρυστάλλους είτε μόνος του, είτε σε σύμφυση με ρουτίλιο (Φωτ. 7.2.1.1.). Σε πολλές περιπτώσεις περιφερειακά των κρυστάλλων αναπτύσσεται τιτανίτης (Φωτ. 7.2.1.2.). Η χημική σύσταση του ιλμενίτη αποτελείται από 50,51% έως 52, 58% TiO_2 και από 43,50% έως 47,90% FeO . Μερικές φορές συμμετέχουν στη σύστασή του σε μικρά ποσοστά MnO έως 5,21%, SiO_2 έως και 0,91% και MgO έως 0,45% (Πίν. 7.2.1.1.).

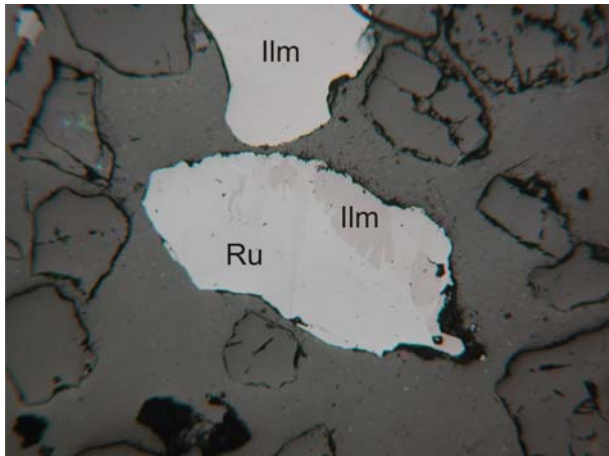
Το ρουτίλιο εμφανίζεται σε υπιδιόμορφους και αλλοτριόμορφους κόκκους, μόνο του αλλά και σε σύμφυση με τον ιλμενίτη (Φωτ. 7.2.1.1.). Είναι ανισότροπο και στη σύστασή του συμμετέχει TiO_2 από 90,84% έως 97,92% (Πίν. 7.2.1.2.). Σε μικρά ποσοστά συμμετέχουν επίσης SiO_2 έως 4,46%, V_2O_5 έως 2,27%, Al_2O_3 έως 1,42% και FeO έως 1,74%. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι σε λίγα δείγματα εντοπίστηκε ρουτίλιο με βελονοειδή μορφή (σαγενίτης) μέσα σε βιοτίτη.

Ο μαγνητίτης βρίσκεται υπό μορφή ιδιόμορφων έως υπιδιόμορφων κρυστάλλων. Σε αρκετούς κόκκους εμφανίζεται μαρτιτίωση, δηλαδή αλλοίωση σε αιματίτη (Φωτ. 7.2.1.3.). Η παρουσία της μαρτιτίωσης αντικατοπτρίζει την έκθεσή του σε επιφανειακές συνθήκες. Το FeO στη σύσταση του μαγνητίτη κυμαίνεται από 89,87 έως 93,25% ενώ σε κάποιους κρυστάλλους προσδιορίστηκε έως και 3,36% SiO_2 (Πίν. 7.2.1.3.).

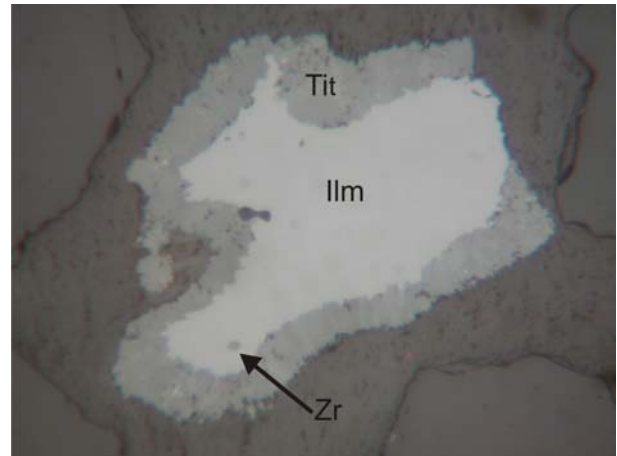
Στη σύσταση του αιματίτη, ο οποίος αποτελεί προϊόν αλλοίωσης του μαγνητίτη λόγω μαρτιτίωσης, το FeO κυμαίνεται από 84,99% έως 88,91%. Σε μικρά ποσοστά προσδιορίστηκαν σε ορισμένες περιπτώσεις TiO_2 έως 1,25%, SiO_2 έως 0,85%, Al_2O_3 έως 0,56% και MnO έως 0,47% (Πίν. 7.2.1.4.).

Ο σιδηροπυρίτης εντοπίζεται κυρίως υπό μορφή μικρών υπιδιόμορφων κρυστάλλων. Περιφερειακά έχει μετατραπεί σε λειμωνίτη (Φωτ. 7.2.1.4.), κάτι που και εδώ αντικατοπτρίζει την οξείδωση των κρυστάλλων του από την έκθεσή τους σε επιφανειακές συνθήκες. Στη σύστασή του συμμετέχουν Fe και S σε ποσοστά 48,15-46,50% και 51,57-52,65% αντίστοιχα (Πίν. 7.2.1.5.).

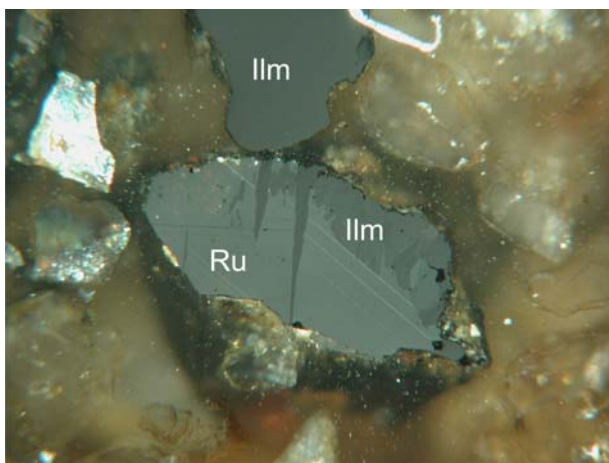
Ο λειμωνίτης αποτελείται κυρίως από FeO (69,76 έως 77,48%). Στη σύστασή του ακόμη συμμετέχουν σε μικρές περιεκτικότητες SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , MnO και CaO (Πίν. 7.2.1.6.).



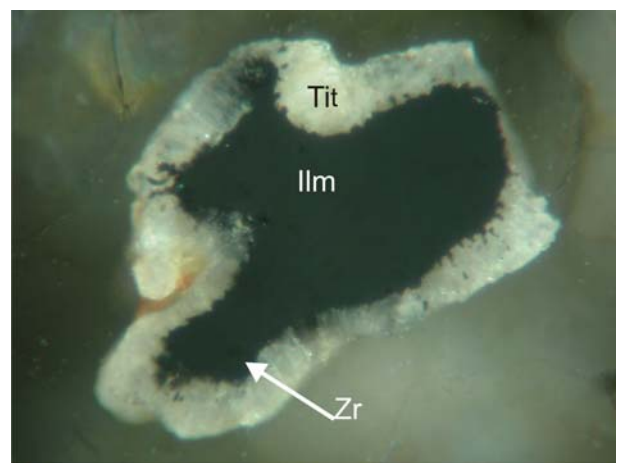
α



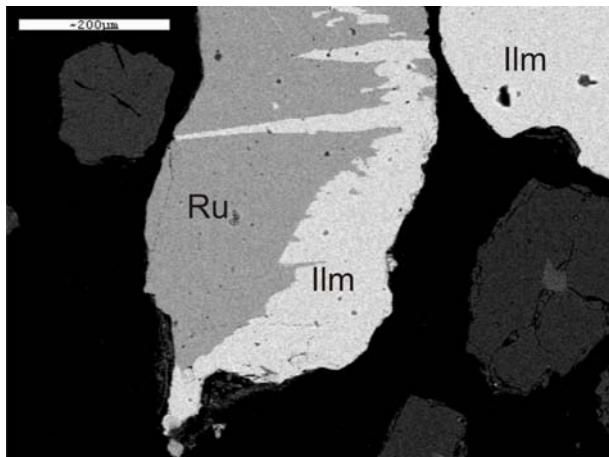
α



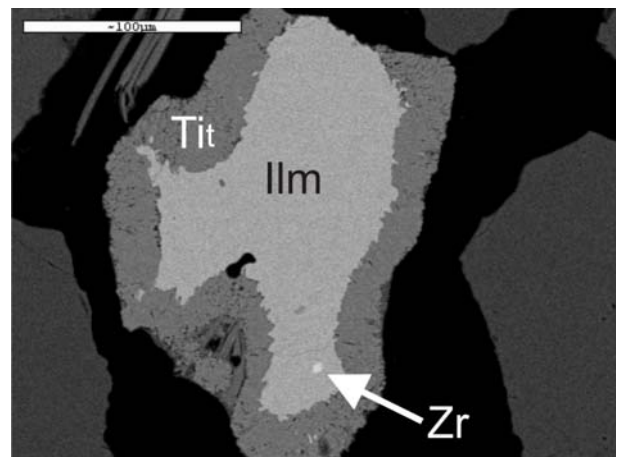
β



β



γ



γ

Φωτ. 7.2.1.1. Ιλμενίτης (Ilm) σε σύμφυση και με Ρουτίλιο (Ru). Στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.

α: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N //

β: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N +

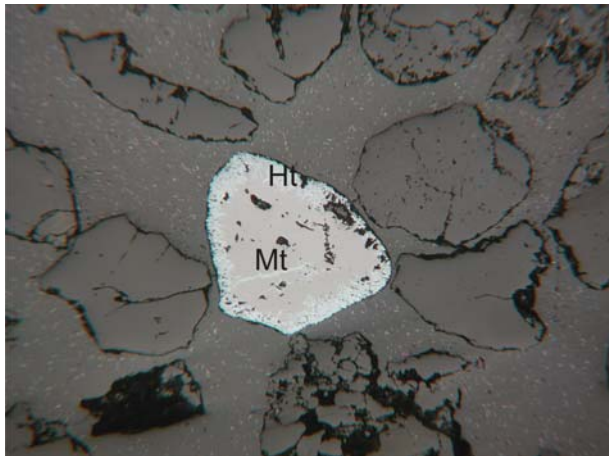
γ: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Φωτ. 7.2.1.2. Ιλμενίτης (Ilm) που αντικαθίσταται περιφερειακά από τιτανίτη (Tit) και έγκλεισμα ζιρκόνιου (Zr). Στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο το μήκος της φωτογραφίας είναι 0.4 mm.

α: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N //

β: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N +

γ: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο



α



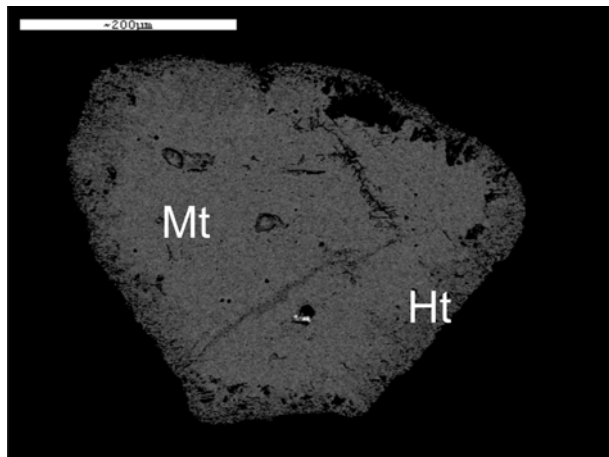
α



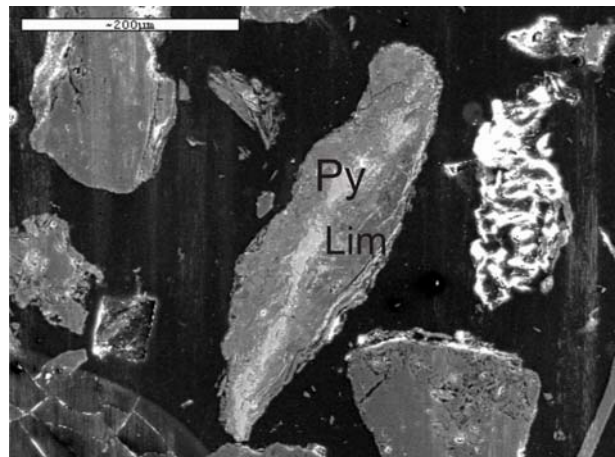
β



β



γ



γ

Φωτ.7.2.1.3. Μαγνητίτης (Mt) που εξωτερικά έχει μετατραπεί σε αιματίτη (Ht) (μαρτιτίωση). Στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.

α: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N //
β: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N +
γ: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Φωτ. 7.2.1.4. Σιδηροπυρίτης που εξωτερικά έχει μετατραπεί σε λειμωνίτη. Στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.

α: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N //
β: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, N +
γ: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

7. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των ιζημάτων της περιοχής έρευνας μελετήθηκαν 12 λεπτές, 8 λεπτές στιλπνές και 18 στιλπνές τομές σε μικροσκόπιο διερχόμενου και ανακλώμενου φωτός. Επίσης πραγματοποιήθηκε ακτινογραφική εξέταση των δειγμάτων (XRD).

Για την συμπλήρωση της ορυκτολογικής μελέτης έγινε χρήση της μεθόδου αναγνώρισης και ανάλυσης των ορυκτών με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM).

Όπως προαναφέρθηκε τα ιζήματα της περιοχής έρευνας αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας και σε μικρότερο βαθμό της Περιροδοπικής ζώνης. Πρόκειται λοιπόν για υλικό που προήλθε κυρίως από την αποσάθρωση διμαρμαρυγιακών γνευσίων, διμαρμαρυγιακών και βιοτιτικών σχιστολίθων, αμφιβολιτών, χαλαζιτών, διμαρμαρυγιακού-βιοτιτικού γρανίτη και περιορισμένου αριθμού υπερβασικών πετρωμάτων.

7.1. ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ

Από τη ακτινογραφική εξέταση των ιζημάτων προέκυψε πως τα ορυκτά που συμμετέχουν στην ορυκτολογική τους σύσταση είναι χαλαζίας, πλαγιόκλαστο, καλιούχοι άστριοι, μαρμαρυγίες, αμφίβολοι, χλωρίτης, καολινίτης, γρανάτης, ρουτίλιο, ιλμενίτης και σε μερικά δείγματα τάλκης

Τα περιθλασιογράμματα όλων των δειγμάτων από τα ιζήματα της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στα Σχήματα 7.1.1. έως 7.1.11.. Πρώτα παρατίθενται τα περιθλασιογράμματα των ολικών δειγμάτων και κατόπιν εκείνα του κλάσματος των 0.125 – 0.18 mm.

Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται για τα ορυκτά στα περιθλασιογράμματα έχουν ως εξής:

Q = Χαλαζίας
Pl = Πλαγιόκλαστο
Kf = Καλιούχοι Άστριοι
M = Μαρμαρυγίες
Amph = Αμφίβολοι
Tcl = Total Clay

Ch = Χλωρίτης
K = Καολινίτης
T = Τάλκης
Gr = Γρανάτης
Ru = Ρουτίλιο
Ilm = Ιλμενίτης

Πίνακας 7.2.1.1. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις ιλμενίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ	ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ
SiO ₂	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	52,07	50,47	50,51	51,68	52,37	52,49	51,44	52,58
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	45,01	43,56	45,73	47,90	47,39	43,50	45,70	43,76
MnO	2,44	5,21	3,47	0,00	0,00	3,78	2,57	2,78
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45
ΣΥΝΟΛΟ	99,52	100,14	99,71	99,58	99,76	99,77	99,71	99,57
Χημικός τύπος με βάση 3 O								
Si	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,995	0,960	0,973	1,320	1,663	1,998	2,299	2,665
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,957	0,922	0,979	1,360	1,674	1,842	2,272	2,466
Mn	0,053	0,112	0,075	0,000	0,000	0,162	0,129	0,159
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045

Πίνακας 7.2.1.2. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις ρουτίλιου σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΡΟΥΤΙΛΙΟ	ΡΟΥΤΙΛΙΟ	ΡΟΥΤΙΛΙΟ	ΡΟΥΤΙΛΙΟ	ΡΟΥΤΙΛΙΟ
SiO ₂	3,09	0,00	0,00	0,00	4,46
TiO ₂	94,09	97,20	97,92	96,49	90,84
Al ₂ O ₃	1,42	0,00	0,00	0,00	0,96
FeO	1,36	0,63	0,00	0,60	1,74
V ₂ O ₅	0,00	1,76	1,51	2,27	1,10
ΣΥΝΟΛΟ	99,97	99,59	99,43	99,35	99,10
Χημικός τύπος με βάση 2 O					
Si	0,041	0,000	0,000	0,000	0,058
Ti	0,935	0,948	0,958	0,935	0,891
Al	0,022	0,000	0,000	0,000	0,015
Fe	0,015	0,007	0,000	0,006	0,019
V	0,000	0,039	0,033	0,049	0,024
sum	1,013	0,994	0,992	0,991	1,007

Πίνακας 7.2.1.3. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις μαγνητίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΜΑΓΝΗΤΙΤΗΣ	ΜΑΓΝΗΤΙΤΗΣ	ΜΑΓΝΗΤΙΤΗΣ	ΜΑΓΝΗΤΙΤΗΣ
SiO ₂	3,36	0,63	0,00	0,00
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	89,87	92,38	93,25	92,15
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	93,23	93,01	93,25	92,15
Χημικός τύπος με βάση 3 κατιόντα				
Si	0,129	0,024	0,000	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	1,743	1,952	2,000	2,000
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000
A	1,871	1,976	2,000	2,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	1,129	1,024	1,000	1,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000
B	1,129	1,024	1,000	1,000

Πίνακας 7.2.1.4. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις αιματίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ
SiO ₂	0,85	0,00	0,00
TiO ₂	0,00	0,00	1,25
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,56
FeO	88,87	88,91	84,99
MnO	0,00	0,00	0,47
ΣΥΝΟΛΟ	89,72	88,91	87,27

Πίνακας 7.2.1.5. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις σιδηροπυρίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ
S	51,57	52,65
Fe	48,15	46,50
ΣΥΝΟΛΟ	99,72	99,15
Χημικός τύπος		
S	2,00	2,00
Fe	1,00	1,00
sum	3,00	3,00

Πίνακας 7.2.1.6. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις λειμωνίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΛΕΙΜΩΝΙΤΗΣ	ΛΕΙΜΩΝΙΤΗΣ
MgO	0,00	1,70
Al ₂ O ₃	0,00	2,29
SiO ₂	3,32	6,79
CaO	0,52	0,56
MnO	0,00	1,07
FeO	77,48	69,76
ΣΥΝΟΛΟ	81,32	82,17

7.2.2. ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

Ο χαλαζίας παρουσιάζεται σε όλα τα δείγματα ως το κύριο πετρογενετικό ορυκτό. Βρίσκεται υπό μορφή υπιδιόμορφων έως αλλοτριόμορφων κρυστάλλων και σε αρκετούς από αυτούς εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση (Φωτ. 7.2.2.1.).

Ένα ακόμα ορυκτό που εντοπίζεται σε όλα τα δείγματα είναι το πλαγιόκλαστο, το οποίο βρίσκεται σε αλλοτριόμορφους κρυστάλλους και παρουσιάζει την χαρακτηριστική διδυμία Carlsbad (Φωτ. 7.2.2.2. και 7.2.2.3.). Στα περισσότερα δείγματα τα πλαγιόκλαστα είναι σερικιτιωμένα.

Έντονη είναι σε όλα τα δείγματα η παρουσία καλιούχων αστρίων που έχουν μορφή υπιδιόμορφων και αλλοτριόμορφων κόκκων. Εμφανίζονται ως ορθόκλαστο αλλά και ως μικροκλινής με τη χαρακτηριστική του διδυμία (Φωτ. 7.2.2.4.), που αποτελεί συνδυασμό του αλβιτικού με τον περικλινικό νόμο. Σε μερικά δείγματα τα ορθόκλαστα είναι σερικιτιωμένα.

Την ομάδα των αμφιβόλων την εκπροσωπούν στα δείγματα της περιοχής έρευνας κυρίως ο ακτινόλιθος και ο τρεμολίτης (Φωτ. 7.2.2.5.). Η χημική σύσταση των αμφιβόλων αποτελείται από 41,22% έως 45,34% SiO₂, από 10,27% έως 14,40% Al₂O₃, από 15,50% έως 19,68% FeO, από 11,46% έως 12,62% CaO και από 7,75% έως 10,34% MgO. Μερικές φορές συμμετέχουν στη σύστασή τους σε μικρά ποσοστά

Na₂O έως 2,41%, TiO₂ έως 1,43%, K₂O έως 0,83% και MnO έως 0,75% (Πίν. 7.2.2.1.).

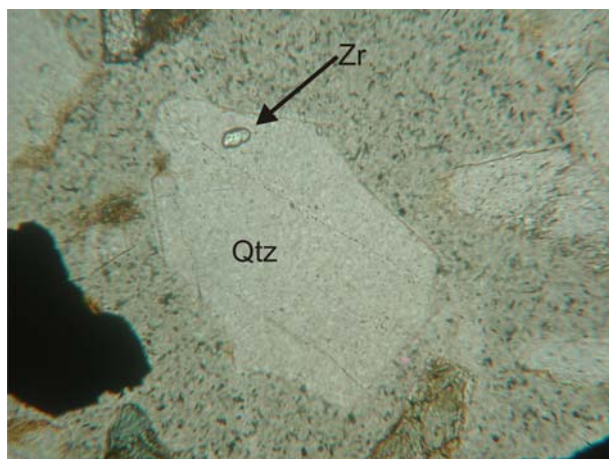
Από μαρμαρυγίες προσδιορίστηκαν σε όλα τα δείγματα μοσχοβίτης (Φωτ. 7.2.2.6.) και βιοτίτης (Φωτ. 7.2.2.7.) σε υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Στη χημική σύσταση του βιοτίτη συμμετέχουν SiO₂ από 36,65% έως 37,87%, FeO από 18,65% έως 18,35% και Al₂O₃ από 18,04% έως 18,35%. Ακόμη συμμετέχουν σε μικρότερες περιεκτικότητες MgO από 9,55% έως 9,89%, K₂O από 8,42% έως 8,97% και TiO₂ από 3,08% έως 3,53% (Πίν. 7.2.2.2.). Ο χλωρίτης που έχει εντοπιστεί σε αρκετά δείγματα, αποτελεί προϊόν αλλοίωσης του βιοτίτη (Φωτ. 7.2.2.8.).

Πολύ σημαντική είναι η παρουσία γρανατών σε όλα τα δείγματα (Φωτ. 7.2.2.9. και 7.2.2.10.). Η χημική σύσταση των γρανατών αποτελείται από 36,24% έως 38,75% SiO₂, από 22,45% έως 42,02% FeO, από 15,69% έως 21,58% Al₂O₃ και από 0,68% έως 13,87% CaO. Σε μικρότερες ποσότητες συμμετέχουν MgO έως 7,25%, MnO έως 9,56% και TiO₂ έως 1,70%. Εμφανίζονται σε ιδιόμορφους κρυστάλλους και όπως προκύπτει και από τις μικροαναλύσεις που παραθέτονται στον Πίνακα 7.2.2.3., πρόκειται κυρίως για αλμανδίνη. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα που έχουν δημοσιευτεί και από άλλους ερευνητές (Σιδηρόπουλος 1991, Κούρου 1991) για τη χημική σύσταση των γρανατών της ευρύτερης περιοχής έρευνας.

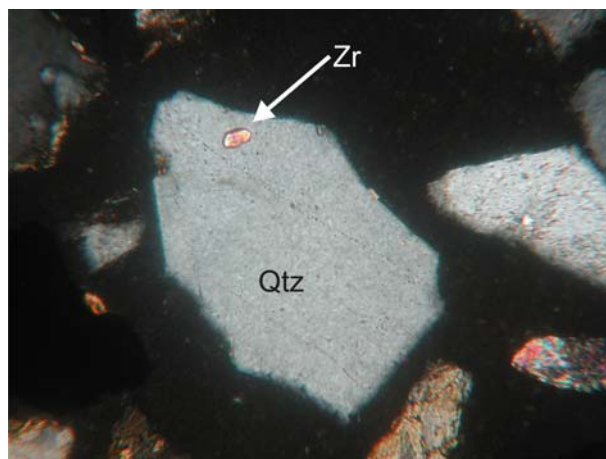
Σε ορισμένα δείγματα προσδιορίστηκαν επίσης ζοισίτης-κλινοζοισίτης (Φωτ. 7.2.2.11.) και τάλκης (Φωτ. 7.2.2.12.). Σε μικρές ποσότητες εντοπίζεται επίδοτο (Φωτ. 7.2.2.2. και 7.2.2.11.) στου οποίου τη χημική σύσταση συμμετέχει το SiO₂ από 36,88% έως 39,23%, το Al₂O₃ από 23,33% έως 30,33%, το FeO από 5,58% έως 14,56% και το CaO από 24,36% έως 25,02%. Σε ορισμένες περιπτώσεις προσδιορίστηκε Na₂O έως 0,43% (Πίν. 7.2.2.4.).

Επίσης σε μικρές ποσότητες προσδιορίστηκε ζιρκόνιο (Φωτ. 7.2.2.1.) του οποίου η χημική σύσταση αποτελείται από 46,53% έως 67,55% ZrO₂ και από 22,34% έως 32,01% SiO₂, ενώ σε κάποιους κρυστάλλους προσδιορίστηκε έως και 3,01% HfO₂ (Πίν. 7.2.2.5.).

Τέλος, σε ίχνη εντοπίζονται τιτανίτης (Φωτ. 7.2.2.3.), απατίτης και σταυρόλιθος. Στη χημική σύσταση του τιτανίτη συμμετέχει το TiO₂ από 35,30% έως 51,13%, το SiO₂ από 25,58% έως 30,55% και το CaO από 15% έως 28,42%. Σε μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν επίσης και Al₂O₃ έως 7,96%, FeO έως 7,75% και MgO έως 1,52% (Πίν. 7.2.2.6.). Ο απατίτης αποτελείται από 56,05% έως 57,84% CaO και από 40,38% έως 43,39% P₂O₅ (Πίν. 7.2.2.7.), ενώ η χημική σύσταση του σταυρόλιθου αποτελείται από 54,92% Al₂O₃, 26,48% SiO₂, 14,44% FeO και από 2,12% MgO (Πίν. 7.2.2.8.).

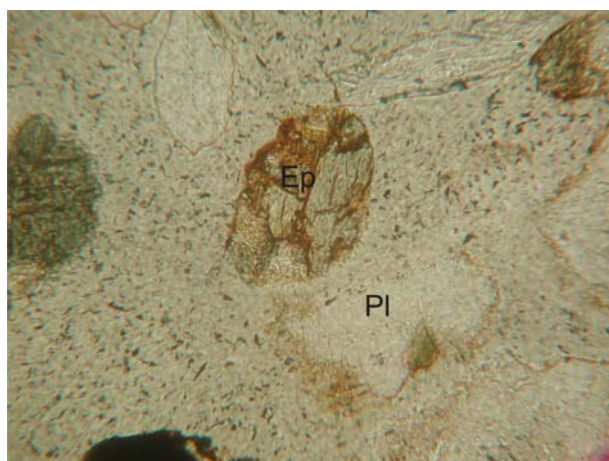


α

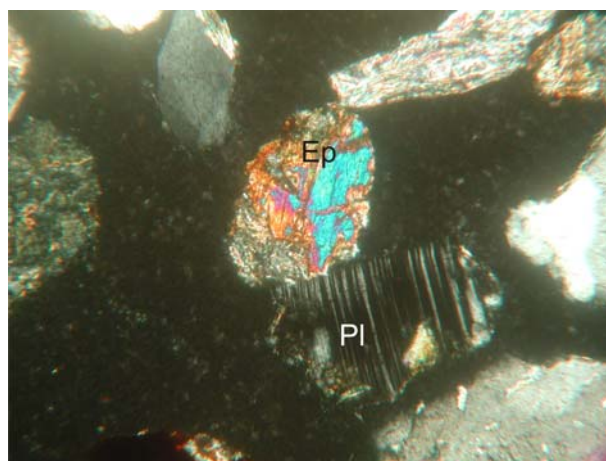


β

Φωτ.7.2.2.1. Ζιρκόνιο (Zr) μέσα σε χαλαζία (Qtz). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm. α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +

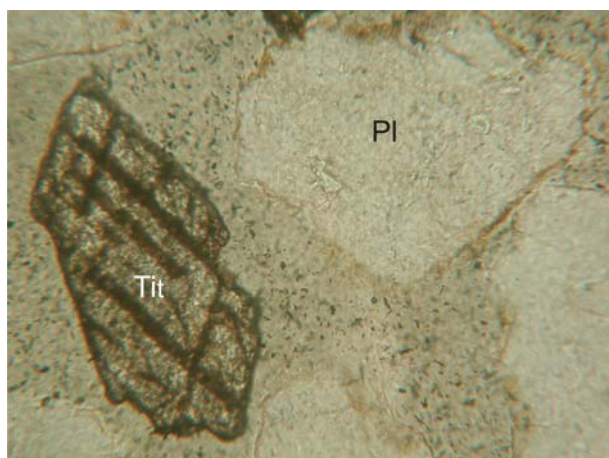


α

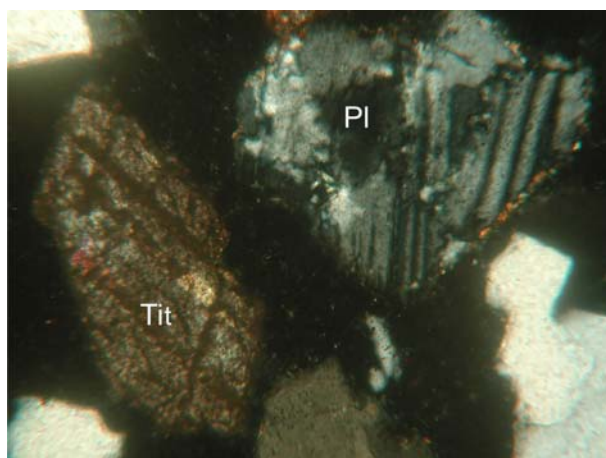


β

Φωτ. 7.2.2.2. Πλαγιόκλαστο (Pl) και επίδοτο (Ep). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm. α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +

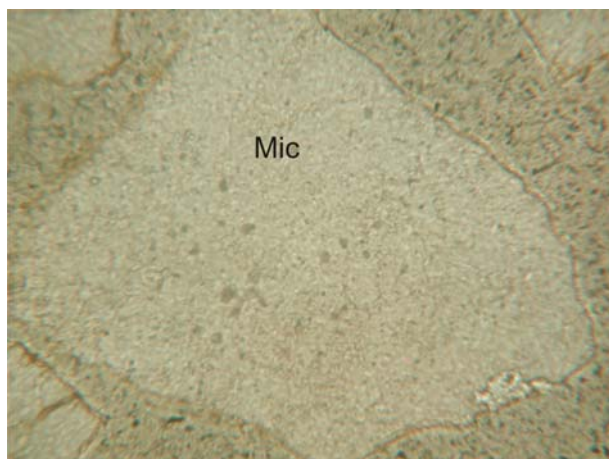


α

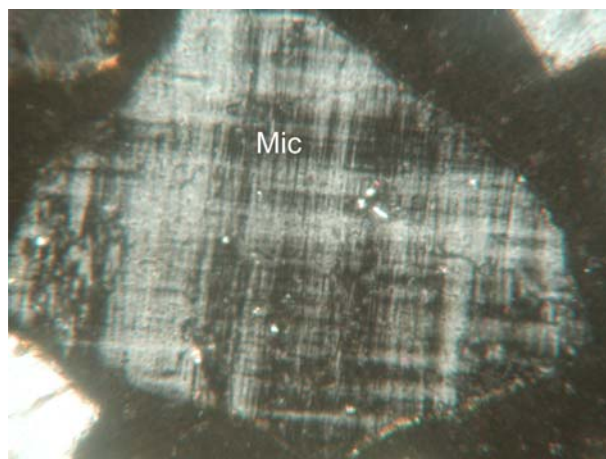


β

Φωτ. 7.2.2.3. Τιτανίτης (Tit) και πλαγιόκλαστο (Pl). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm. α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +



α



β

Φωτ. 7.2.2.4. Μικροκλινής (Mic), με τη χαρακτηριστική του πολυδυμία. Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm. α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +

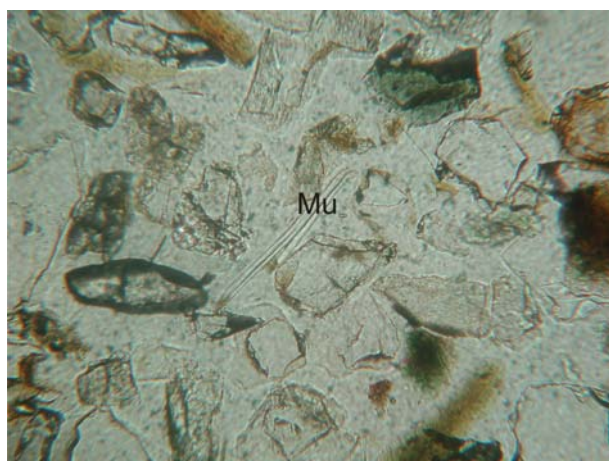


α

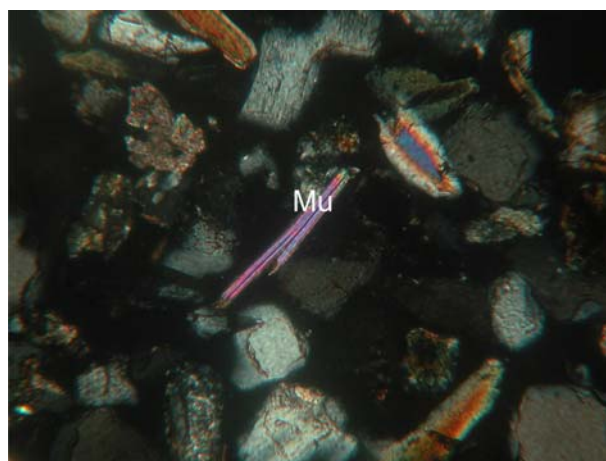


β

Φωτ. 7.2.2.5. Τρεμολίτης (Trem). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm. α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +

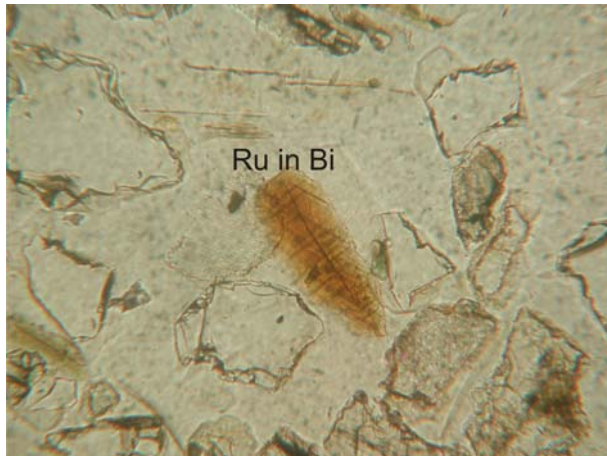


α



β

Φωτ. 7.2.2.6. Μοσχοβίτης (Mu). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm. α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +

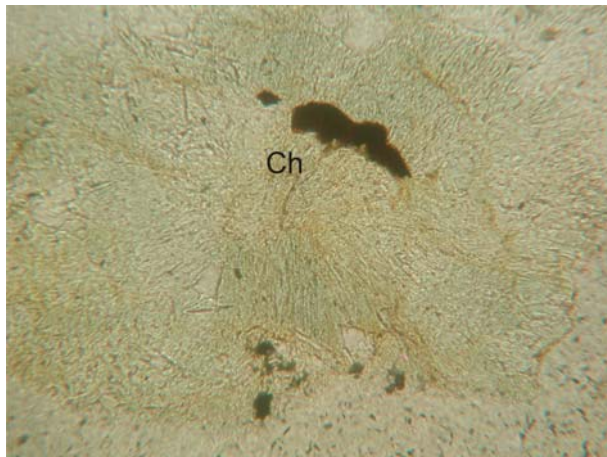


α

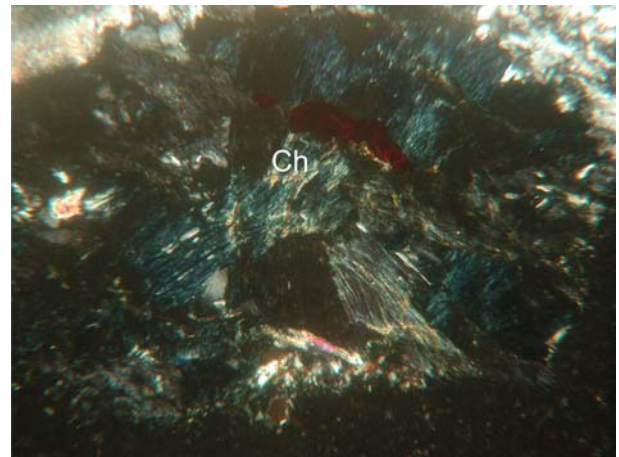


β

Φωτ. 7.2.2.7. Βιοτίτης (Bi). Στο εσωτερικό του εντοπίζεται ρουτιλίο (Ru) σε βελονοειδή μορφή (σαγενίτης). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.
α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N

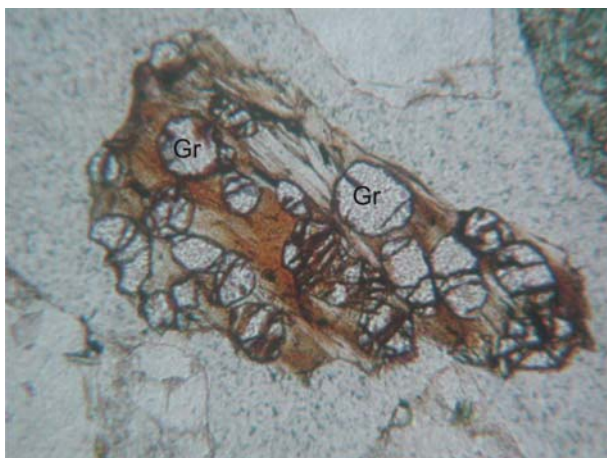


α

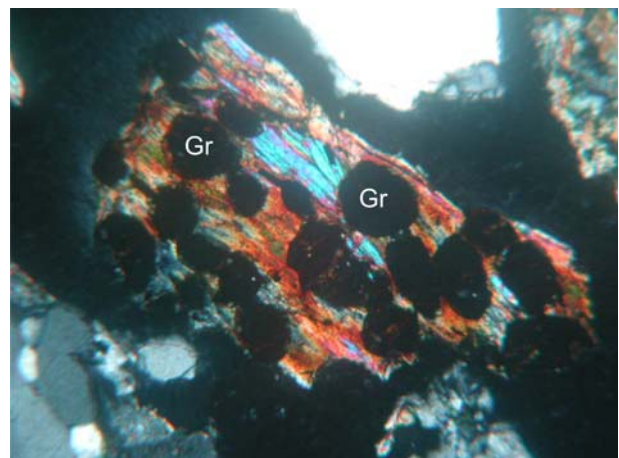


β

Φωτ. 7.2.2.8. Χλωρίτης (Ch). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.
α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +

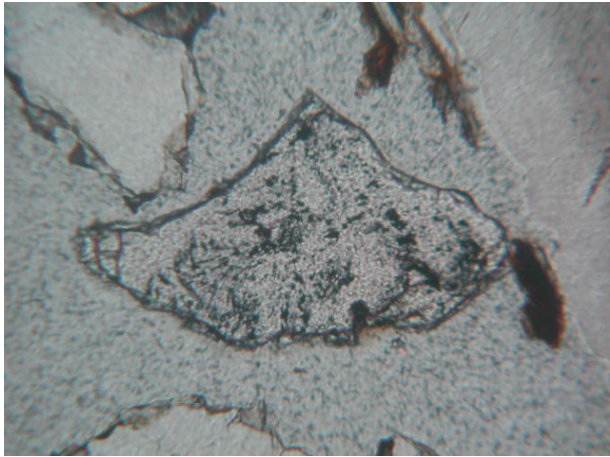


α

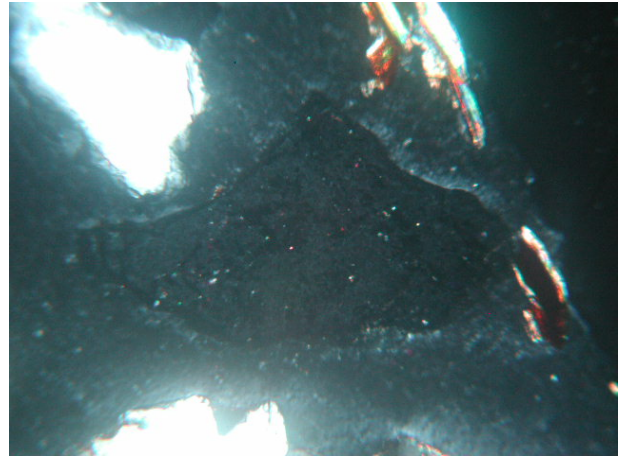


β

Φωτ. 7.2.2.9. Γρανάτες (Gr). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.
α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +



α



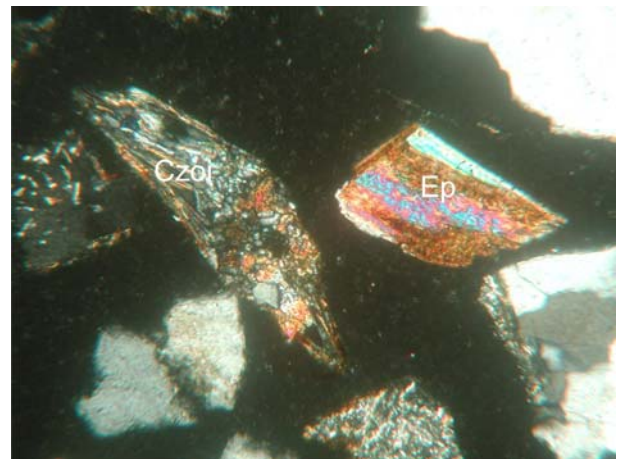
β

Φωτ. 7.2.2.10. Γρανάτες (Gr). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.

α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +



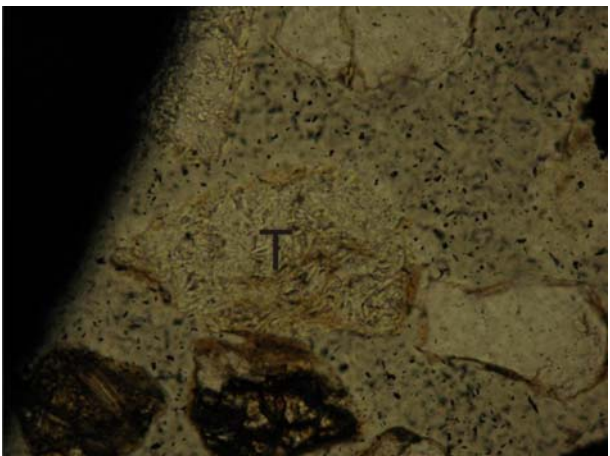
α



β

Φωτ. 7.2.2.11. Κλινοζοϊσίτης (Czoι) και επίδοτο (Ep). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.

α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +



α



β

Φωτ. 7.2.2.12. Τάλκης (T). Το μήκος της φωτογραφίας είναι 1.2 mm.

α: Πολωτικό μικροσκόπιο, N // β: Πολωτικό μικροσκόπιο, N +

Πίνακας 7.2.2.1. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις αμφιβόλων σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ	ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ	ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ	ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ	ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ	ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ	ΑΜΦΙΒΟΛΟΣ
SiO ₂	41,69	41,22	41,36	42,01	42,87	45,34	44,41
TiO ₂	1,27	0,67	0,90	1,43	1,16	0,00	0,61
Al ₂ O ₃	11,93	14,40	13,41	13,02	10,27	13,04	13,65
FeO	19,25	18,36	19,68	19,22	19,45	15,50	16,18
MnO	0,75	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	8,72	9,03	8,29	7,75	10,34	10,02	9,51
CaO	11,74	12,62	11,67	12,28	12,54	12,21	11,46
Na ₂ O	1,88	1,31	1,67	1,36	1,80	1,49	2,41
K ₂ O	0,61	0,59	0,65	0,83	0,00	0,73	0,43
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	97,83	98,62	97,63	97,91	98,43	98,33	98,67
Χημικός τύπος με βάση 23 O							
Si	6,294	6,098	6,230	6,349	6,368	6,655	6,520
Al ^{IV}	1,706	1,902	1,770	1,651	1,632	1,345	1,480
T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,416	0,608	0,611	0,668	0,166	0,911	0,881
Ti	0,144	0,075	0,102	0,163	0,129	0,000	0,067
Fe ₃	0,443	0,658	0,466	0,111	0,693	0,021	0,058
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	1,963	1,992	1,862	1,746	2,290	2,192	2,081
Fe ₂	1,987	1,613	1,959	2,312	1,722	1,876	1,912
Mn	0,048	0,054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂	0,000	0,000	0,055	0,006	0,002	0,006	0,016
Mn	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	1,899	2,000	1,883	1,988	1,997	1,920	1,803
Na	0,054	0,000	0,062	0,006	0,002	0,075	0,180
B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,497	0,375	0,424	0,393	0,516	0,351	0,507
K	0,117	0,111	0,126	0,161	0,000	0,137	0,080
A	0,615	0,486	0,550	0,553	0,516	0,488	0,587

Πίνακας 7.2.2.2. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις βιοτίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΒΙΟΤΙΤΗΣ	ΒΙΟΤΙΤΗΣ
SiO ₂	36,65	37,87
TiO ₂	3,53	3,08
Al ₂ O ₃	18,35	18,04
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00
FeO	19,08	18,65
MnO	0,00	0,00
MgO	9,55	9,89
CaO	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00
K ₂ O	8,42	8,97
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00
F	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	95,58	96,50
Χημικός τύπος με βάση 22 O		
Si	5,499	5,617
Al ^{IV}	2,501	2,383
Z	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,744	0,771
Ti	0,399	0,343
Fe ³	0,000	0,000
Fe ²	2,394	2,313
Mn	0,000	0,000
Mg	2,137	2,187
Cr	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000
Y	5,674	5,614
Ca	0,000	0,000
Na	0,000	0,000
K	1,612	1,698
X	1,612	1,698

Πίνακας 7.2.2.3. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις γρανατών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ
SiO ₂	36,24	37,28	36,88	36,45	36,74	37,14
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	19,78	21,28	19,90	20,91	21,58	20,63
FeO	42,02	33,53	35,89	29,21	30,53	30,78
MnO	0,00	1,56	0,00	9,56	7,69	8,30
MgO	0,00	3,77	4,03	2,45	2,86	2,65
CaO	1,99	2,89	2,46	0,72	0,68	0,91
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	100,02	100,31	99,16	99,31	100,09	100,41
Χημικός τύπος με βάση 12 O						
Si	2,994	2,969	2,980	2,974	2,962	2,996
Al	0,006	0,031	0,020	0,026	0,038	0,004
Z	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Al	1,920	1,967	1,876	1,984	2,013	1,958
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³	0,086	0,064	0,144	0,042	0,025	0,046
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	2,006	2,031	2,020	2,026	2,038	2,004
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,448	0,486	0,298	0,344	0,319
Fe ²	2,818	2,170	2,282	1,952	2,034	2,031
Mn	0,000	0,105	0,000	0,661	0,525	0,568
Ca	0,176	0,247	0,213	0,063	0,059	0,079
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
X	2,994	2,969	2,980	2,974	2,962	2,996
PYR	0,000	15,076	16,290	10,023	11,615	10,648
ALMAN	94,117	73,074	76,563	65,628	68,654	67,788
GROSS	1,613	5,173	0,032	0,081	0,772	0,337
ANDAL	4,269	3,133	7,114	2,049	1,223	2,287
UVAR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SPESS	0,000	3,544	0,000	22,218	17,736	18,940

Πίνακας 7.2.2.3. (συνέχεια)

% wt	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ	ΓΡΑΝΑΤΗΣ
SiO ₂	38,05	38,75	36,95	37,58	37,08
TiO ₂	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	15,69	18,27	21,09	21,14	21,01
FeO	23,36	22,45	36,52	36,44	35,84
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	6,85	7,25	3,97	4,26	3,97
CaO	13,87	13,47	1,42	1,13	1,29
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	99,53	100,19	99,95	100,56	99,19
Χημικός τύπος με βάση 12 Ο					
Si	2,972	2,972	2,962	2,991	2,993
Al	0,028	0,028	0,038	0,009	0,007
Z	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Al	1,416	1,624	1,955	1,973	1,991
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³	0,412	0,404	0,083	0,036	0,017
Ti	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	1,928	2,028	2,038	2,009	2,007
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,797	0,829	0,474	0,505	0,478
Fe ²	1,113	1,036	2,366	2,389	2,403
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	1,161	1,107	0,122	0,096	0,112
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
X	3,072	2,972	2,962	2,991	2,993
PYR	25,960	27,880	16,015	16,888	15,962
ALMAN	36,245	34,867	79,872	79,893	80,296
GROSS	11,212	17,334	0,062	1,432	2,914
ANDAL	26,582	19,919	4,051	1,787	0,828
UVAR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SPESS	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Πίνακας 7.2.2.4. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις επιδότου σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΕΠΙΔΟΤΟ	ΕΠΙΔΟΤΟ	ΕΠΙΔΟΤΟ	ΕΠΙΔΟΤΟ
SiO ₂	39,16	39,23	36,88	37,25
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	29,90	30,33	23,33	23,55
FeO	5,83	5,58	14,56	13,81
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	24,36	24,68	25,01	24,83
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,43
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	99,25	99,82	99,78	99,87
Χημικός τύπος με βάση 25 O				
Si	6,037	6,010	5,988	6,020
Al ^{IV}	0,000	0,000	0,012	0,000
Z	6,037	6,010	6,000	6,020
Al ^{VI}	5,433	5,476	4,452	4,484
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	5,433	5,476	4,452	4,484
Fe ²	0,751	0,715	1,978	1,866
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	4,024	4,052	4,350	4,299
Na	0,000	0,000	0,000	0,136
K	0,000	0,000	0,000	0,000
X	4,024	4,052	4,350	4,435

Πίνακας 7.2.2.5. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις ζirkονίου σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΖΙΡΚΟΝΙΟ	ΖΙΡΚΟΝΙΟ	ΖΙΡΚΟΝΙΟ	ΖΙΡΚΟΝΙΟ
SiO ₂	32,01	31,27	31,46	22,34
ZrO ₂	67,55	65,49	65,53	46,53
HfO ₂	0,00	2,52	3,01	2,14
ΣΥΝΟΛΟ	99,56	99,28	100,01	71,01
Χημικός τύπος με βάση 16 O				
Si	3,943	3,913	3,916	3,920
Zr	4,057	3,996	3,977	3,960
Hf	0,000	0,090	0,107	0,120
	4,057	4,087	4,084	4,080

Πίνακας 7.2.2.6. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις τιτανίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΤΙΤΑΝΙΤΗΣ	ΤΙΤΑΝΙΤΗΣ	ΤΙΤΑΝΙΤΗΣ	ΤΙΤΑΝΙΤΗΣ
SiO ₂	30,45	27,90	25,58	30,55
TiO ₂	38,09	35,30	51,13	39,52
Al ₂ O ₃	1,52	0,87	7,96	0,57
FeO	0,73	7,75	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	1,52	0,00	0,00
CaO	27,82	25,93	15,00	28,42
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	98,62	99,27	99,67	99,06
Χημικός τύπος με βάση 20 O				
Si	4,000	4,000	4,000	4,000
Ti	3,762	3,806	6,012	3,891
Al	0,235	0,147	1,466	0,087
Y	3,997	3,953	7,478	3,979
Fe	0,081	0,930	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,324	0,000	0,000
Ca	3,916	3,983	2,514	3,987
Na	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000
X	3,996	5,237	2,514	3,987

Πίνακας 7.2.2.7. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις απατίτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΑΠΑΤΙΤΗΣ	ΑΠΑΤΙΤΗΣ
FeO	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00
CaO	57,84	56,05
P ₂ O ₅	40,38	43,39
Cl	0,00	0,00
F	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	98,22	99,44
Χημικός τύπος με βάση 26 O		
P	6,029	6,350
Fe ²	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000
Ca	10,929	10,150
Y	10,929	10,150
Cl	0,000	0,000
F	0,000	0,000
X	0,000	0,000

Πίνακας 7.2.2.8. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις σταυρόλιθου σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, των ιζημάτων της περιοχής έρευνας.

% wt	ΣΤΑΥΡΟΛΙΘΟΣ
SiO₂	26,48
TiO₂	0,00
Al₂O₃	54,92
Fe₂O₃	0,00
FeO	14,44
MnO	0,00
MgO	2,12
CaO	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	97,96
Χημικός τύπος με βάση 22 O	
Si	7,369
Al^{IV}	0,631
Z	8,000
Al^{VI}	17,383
Ti	0,000
Fe₃	0,000
Mg	0,617
Y	18,000
Fe₂	3,361
Mn	0,000
Mg	0,263
Ca	0,000
X	3,624

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της ορυκτολογικής σύστασης των ιζημάτων της περιοχής έρευνας, απεικονίζονται συνολικά στον Πίνακα 7.2.2.9..

Συμπερασματικά μπορούμε πούμε ότι η ορυκτολογική σύσταση των ιζημάτων της περιοχής έρευνας είναι ομοιόμορφη και πως τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι χαρακτηριστικά των πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής.

Πίνακας 7.2.2.9. Ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων ιζημάτος της περιοχής έρευνας.

	Q	Pl	Kf	M	Ch	K	Amph	Gr	T	Ep	Zoi	Tit	Zr	Ap	Staur	Ru	Ilm	Py	Lim	Mt	Ht
AS1	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■		■			■					
AS2	■	■	■	■	■	■	■	■					■	■		■	■	■	■	■	■
AS3	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■				■	■				
AS4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		
AS5	■	■	■	■	■	■	■	■			■					■	■				
AS6	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■					■	■				
AS7	■	■	■	■	■	■	■	■			■										
AS8	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■			■	■
AS9	■	■	■	■	■	■	■	■	■							■	■				
AS10	■	■	■	■	■	■	■	■	■							■	■				
AS11	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Q = Χαλαζίας,
 Pl = Πλαγιόκλαστο,
 Kf = Καλιούχοι Άστριοι,
 M = Μαρμαρυγίες,
 Ch= Χλωρίτης,
 K = Καολινίτης,
 Amph = Αμφίβολοι,
 Gr = Γρανάτης,
 T = Τάλκης,
 Ep= Επίδοτο,
 Zoi= Ζοϊσίτης-Κλινοζοϊσίτης,

Tit= Τιτανίτης,
 Zr= Ζιρκόνιο,
 Ap= Απατίτης,
 Staur= Σταυρόλιθος,
 Ru = Ρουτίλιο,
 Ilm = Ιλμενίτης,
 Py= Σιδηροπυρίτης,
 Lim= Λειμωνίτης,
 Mt= Μαγνητίτης,
 Ht= Αιματίτης,
 .

8. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

8.1. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων αλλά και των ιχνοστοιχείων ως προς τα οποία αναλύθηκαν τα δείγματα των ιζημάτων της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1.1..

Πίνακας 8.1.1. Χημικές αναλύσεις των ιζημάτων του ποταμού Μπογδάνα σε κύρια στοιχεία (wt%) και ιχνοστοιχεία (ppm).

LOI: απώλεια πύρωσης επί ξηρού δείγματος

ΔΕΙΓΜΑ	wt %										ppm						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr
AS1	72,76	11,72	3,29	0,85	1,01	2,76	2,70	0,67	0,05	0,17	3,31	30	<20	100	<10	<10	<10
AS2	72,76	11,72	3,57	0,77	1,08	2,52	2,56	0,83	0,10	0,16	3,17	40	<20	70	<10	<10	<10
AS3	70,62	13,23	3,57	1,05	1,08	2,76	2,70	0,83	0,06	0,05	3,29	35	<20	75	<10	<10	<10
AS4	74,90	10,58	3,00	1,30	1,11	2,04	2,56	0,67	0,06	0,17	2,83	30	<20	70	<10	<10	<10
AS5	77,04	10,77	2,86	1,33	0,83	1,92	2,30	0,67	0,09	0,10	2,04	30	<20	50	<10	<10	<10
AS6	74,90	11,15	3,00	1,10	1,01	2,04	2,56	0,50	0,06	0,11	2,83	30	<20	40	<10	<10	<10
AS7	66,34	12,85	5,86	2,56	2,00	1,92	2,16	1,50	0,11	0,15	4,48	50	<20	100	<10	<10	<10
AS8	74,90	9,64	2,57	1,58	2,16	1,92	2,29	0,50	0,06	0,05	4,17	30	<20	75	<10	<10	<10
AS9	81,32	8,13	1,29	1,54	0,40	1,80	2,02	0,33	0,05	0,04	2,65	35	<20	40	<10	<10	<10
AS10	57,78	13,23	5,15	2,52	1,86	2,52	1,48	1,00	0,06	0,37	13,26	50	<20	100	<10	<10	<10
AS11	81,32	9,07	1,72	0,99	0,55	2,04	2,29	0,33	0,05	0,15	1,45	20	<20	40	<10	<10	<10
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	73,15	11,10	3,26	1,42	1,19	2,20	2,33	0,71	0,07	0,14	3,95	35	<20	69	<10	<10	<10

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής σε όλα τα δείγματα το παρουσιάζει το SiO₂, με περιεκτικότητες από 66,34 έως 81,32% και με μέσο όρο 75,15%. Τη δεύτερη από άποψη αφθονίας περιεκτικότητα την παρουσιάζει το Al₂O₃ με μέσο όρο 11,10% και περιεκτικότητες που κυμαίνονται από 8,13 έως 13,23%. Ακολουθούν ο Fe₂O₃ που κυμαίνεται από 1,29 έως 5,86%, με μέσο όρο 3,26% και το Na₂O που έχει μέσο όρο 2,33% και κυμαίνεται από 1,48 έως 2,70%. Όσον αφορά το K₂O, οι περιεκτικότητές του κυμαίνονται από 1,80 έως 2,76% και κατά μέσο όρο είναι 2,20%. Οι περιεκτικότητες του CaO φθάνουν έως 2,56%, με μέσο όρο 1,42% του MgO έως 2,16% με μέσο όρο 1,19%. Τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία συμμετέχουν με πολύ χαμηλά ποσοστά στη χημική σύσταση των ιζημάτων, τα οποία είναι κατά μέσο όρο μικρότερα του 1%. Συγκεκριμένα, οι περιεκτικότητες του TiO₂ κυμαίνονται από 0,33 έως 1,50% με μέσο όρο 0,71%, ενώ ο μέσος όρος του P₂O₅ είναι 0,14% με περιεκτικότητες που κυμαίνονται από 0,04 έως 0,37%. Τη μικρότερη συμμετοχή στη χημική σύσταση των ιζημάτων, την παρουσιάζει το MnO με μέσο όρο 0,07% και περιεκτικότητες από 0,05 έως 0,11%.

Η απώλεια πύρωσης των δειγμάτων ιζήματος κυμαίνεται από 1,45 έως και 13,26%, με τον μέσο όρο της να ανέρχεται στο 3,95%.

Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, οι περιεκτικότητες των Pb, Co, Ni και Cr προσδιορίστηκαν ως χαμηλότερες του ορίου ανιχνευσιμότητας σε όλα τα δείγματα. Από τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία, ο Zn εμφανίζει τις υψηλότερες περιεκτικότητες και κυμαίνεται από 40 έως 100 ppm με μέσο όρο 69 ppm. Τέλος, ο Cu φθάνει έως 50 ppm με μέσο όρο 35 ppm.

8.2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΔΑΤΩΝ

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων και των παραμέτρων που αποτελούν δείκτες για τη φόρτιση σε οργανικές ουσίες, στα δείγματα ύδατος της περιοχής έρευνας.

8.2.1. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Οι περιεκτικότητες των βαρέων μετάλλων στα ύδατα παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.1.1..

Πίνακας 8.2.1.1. Συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων σε $\mu\text{g/L}$ στα δείγματα ύδατος του Μπογδάνα, ανά περίοδο δειγματοληψίας.

bdl : κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας

ΔΕΙΓΜΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ppb (µg/L)						
		Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni	As
ASW1a	Νοε-06	10,0	6,9	60,0	5,1	7,0	bdl	19,3
ASW2a		10,0	7,2	110,0	bdl	4,0	bdl	18,7
ASW3a		bdl	8,2	50,0	2,2	9,0	bdl	19,9
ASW4a		10,0	132,3	800,0	0,9	32,0	bdl	0,5
ASW5a		bdl	7,2	150,0	bdl	6,0	bdl	15,1
ASW1b	Ιουν-07	bdl	1,2	20,0	bdl	4,0	bdl	1,4
ASW2b		bdl	1,1	10,0	bdl	4,0	bdl	10,0
ASW3b		10,0	8,9	90,0	11,2	9,0	10,0	15,0
ASW4b		10,0	1,1	10,0	2,4	bdl	bdl	3,8
ASW5b		bdl	1,3	70,0	0,9	4,0	bdl	50,0
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		<5	17,5	137,0	<2,3	4,0	<10	15,4

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, οι περιεκτικότητες του Cu σε κάποιες θέσεις παρουσιάζουν μεταβολές, ενώ σε κάποιες άλλες όχι. Οι περιεκτικότητες αυτές είναι χαμηλότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας και ανέρχονται μέχρι 10 $\mu\text{g/L}$, με μέσο όρο <5 $\mu\text{g/L}$. Ο Pb παρουσιάζει επίσης σε κάποιες θέσεις μεταβολές και κυμαίνεται από 1,1 $\mu\text{g/L}$ έως την εξαιρετικά υψηλή τιμή των 132,3 $\mu\text{g/L}$ για το δείγμα ASW4a. Η μέση περιεκτικότητά του είναι 17,5 $\mu\text{g/L}$. Θα πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι στην αμέσως προηγούμενη θέση (ASW3) τον Οκτώβριο 2006 προσδιορίστηκε επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε Pb (66,6 $\mu\text{g/L}$). Όσον αφορά τον Zn, οι περιεκτικότητές του κυμαίνονται από 10 $\mu\text{g/L}$ έως και 800 $\mu\text{g/L}$ (δείγμα ASW4a) και κατά μέσο όρο είναι 137 $\mu\text{g/L}$. Οι περιεκτικότητες του Cr φθάνουν έως 11,2 $\mu\text{g/L}$ με μέσο όρο <2,3 $\mu\text{g/L}$. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στη θέση ASW3 προσδιορίστηκε και εδώ τον

Οκτώβριο 2006 περιεκτικότητα Cr 99,0 µg/L. Το Cd φθάνει έως και 32 µg/L (δείγμα ASW4a) με μέσο όρο 4 µg/L. Το Ni παρουσιάζει περιεκτικότητες χαμηλότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας εκτός από το δείγμα ASW3b (10 µg/L). Τέλος, το As παρουσιάζει κάποιες μεταβολές στις συγκεντρώσεις του που κυμαίνονται από 0,5 έως 50 µg/L, με μέση περιεκτικότητα 15,4 µg/L.

8.2.2. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων ως προς τις παραμέτρους BOD₅ και COD παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.2.1..

Πίνακας 8.2.2.1. Συγκεντρώσεις των παραμέτρων BOD₅ και COD για τον προσδιορισμό των οργανικών ουσιών στην περιοχή έρευνας, ανά περίοδο δειγματοληψίας.

ΔΕΙΓΜΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	mg/L	
		BOD ₅	COD
ASW1a	Νοε-06	6	25
ASW2a		5	26
ASW3a		9	34
ASW4a		18	51
ASW5a		25	84
ASW1b	Ιουν-07	1	2
ASW2b		2	3
ASW3b		1	3
ASW4b		10	22
ASW5b		6	16

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, το BOD₅ και το COD παρουσιάζουν μεταβολές μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων και συγκεκριμένα στη δειγματοληψία του Νοεμβρίου 2006 οι τιμές αυτές είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες του Ιουνίου 2007. Οι συγκεντρώσεις του BOD₅ κυμαίνονται από 1 mg/L έως και 25 mg/L και του COD από 2 mg/L έως 84 mg/L. Τέτοιες διαφορές ανά δειγματοληπτική περίοδο έχουν επιβεβαιωθεί και από άλλους ερευνητές όπως είναι οι Peverly 1982 και Harmelin-Vivien 2008 σύμφωνα με τους οποίους η οργανική ύλη είναι πιο αυξημένη κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, σε σχέση με το καλοκαίρι. Σύμφωνα με άλλους ερευνητές (Eatherall et al. 2000, Kotti et al. 2005) οι υψηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης σε λεκάνες απορροής μπορούν να σχετίζονται ακόμη και με σημειακές πηγές ρύπανσης κατά τη διάρκεια συνθηκών μικρής ροής, όπως αυτό συμβαίνει το φθινόπωρο.

9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΜΠΟΓΔΑΝΑ

Κατά τις περιόδους της δειγματοληψίας διαπιστώθηκαν ανθρώπινες δραστηριότητες που ενδεχομένως να παίζουν ρόλο στη ρύπανση του ποταμού Μπογδάνα, όπως διοχέτευση ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων στην περιοχή Ασσήρου και Λαγκαδά, ύπαρξη ανεξέλεγκτων χωματερών και βαφείων.

9.1. ΙΖΗΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 9.1.1. αναφέρονται τα ανώτερα επιτρεπτά όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που έχουν θεσπιστεί από την ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα επιφανειακά ιζήματα και τα ποιοτικά πρότυπα ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines-SQGs) που ορίζει η Environmental Protection Agency (EPA). Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι τιμές ποιότητας που καθορίζονται από την EPA είναι για όλα τα βαρέα μέταλλα χαμηλότερες από τις αντίστοιχες που καθορίζει η ευρωπαϊκή νομοθεσία. Επίσης δε δίνεται κάποιο πρότυπο από την EPA σχετικά με τη συγκέντρωση του Co στα επιφανειακά ιζήματα.

Πίνακας 9.1.1. Ποιοτικά πρότυπα ιζημάτων.

Ποιοτικά Πρότυπα Ιζημάτων	ppm (mg/Kg)					
	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr
Ευρώπη ¹	150	300	300	50	75	150
EPA ²						
Μη Μολυσμένα	< 25	< 40	< 90	–	< 20	< 25
Μέτρια Μολυσμένα	25 - 50	40 - 60	90 - 200	–	20 - 50	25 - 75
Πολύ Μολυσμένα	> 50	> 60	> 200	–	>50	>75

1: Ανώτερα επιτρεπτά όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων όπως έχουν θεσπιστεί από την ευρωπαϊκή νομοθεσία (Kabata Pendias and Pendias 2001)

2: Ποιοτικά πρότυπα ιζημάτων (SQGs), σύμφωνα με την Environmental Protection Agency (Perin et al. 1997).

Στο Σχήμα 9.1.1. δίνονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ως προς την κάθε θέση δειγματοληψίας, σε σχέση με τα πρότυπα ποιότητας ιζημάτων.

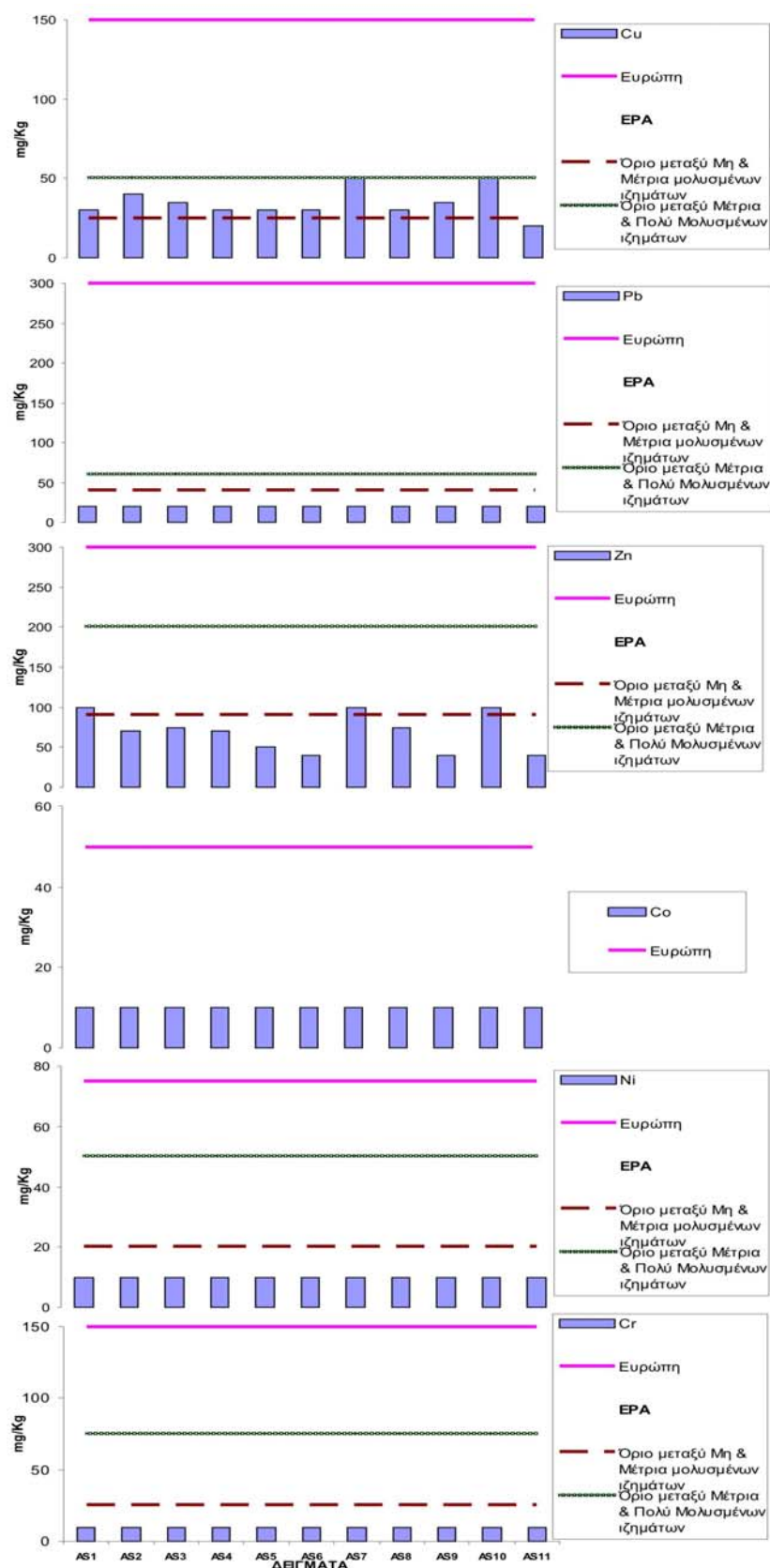
Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης σε σύγκριση με τα όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων (Πίν. 9.1.) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Οι περιεκτικότητες του Cu σε όλα τα δείγματα είναι χαμηλότερες από το όριο που καθορίζεται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία, ενώ σύμφωνα με τα πρότυπα της EPA, όλα τα δείγματα χαρακτηρίζονται μέτρια μολυσμένα με εξαίρεση το AS11 που χαρακτηρίζεται μη μολυσμένο (Σχ. 9.1.1.). Ο Pb παρουσιάζει περιεκτικότητες χαμηλότερες

από το όριο ανιχνευσιμότητας, δηλαδή μικρότερες των 20 mg/Kg. Αυτό σημαίνει ότι ούτως ή άλλως είναι χαμηλότερες του ευρωπαϊκού ορίου που είναι τα 300 mg/Kg αλλά και ότι σε σχέση με τα όρια της EPA τα ιζήματα χαρακτηρίζονται μη μολυσμένα. Όσον αφορά τον Zn, οι περιεκτικότητές του σε όλα τα δείγματα δεν ξεπερνούν το όριο της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, ενώ μόνο 3 από τα δείγματα χαρακτηρίζονται μέτρια μολυσμένα με βάση τα πρότυπα της EPA και τα υπόλοιπα 8 χαρακτηρίζονται μη μολυσμένα.

Για τη συγκέντρωση του Co δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο που να δίνεται από την EPA, όμως σε όλα τα δείγματα οι συγκεντρώσεις του έχουν προσδιοριστεί ως χαμηλότερες του ορίου ανιχνευσιμότητας (10 mg/Kg), γεγονός που σημαίνει πως ούτως ή άλλως το Co δεν ξεπερνά το όριο της ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Οι συγκεντρώσεις του Ni και του Cr βρίσκονται επίσης σε όλα τα δείγματα κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας, που είναι 10 mg/Kg και για τα δύο ιχνοστοιχεία. Επομένως, ακόμα και αν οι συγκεντρώσεις τους πλησίαζαν το όριο ανιχνευσιμότητας, θα ήταν και πάλι χαμηλότερες από το ανώτερο επιτρεπτό ευρωπαϊκό όριο αλλά και με βάση τα SQGs της EPA, τα ιζήματα θα χαρακτηρίζονταν μη μολυσμένα.

Οι περιεκτικότητες των ιζημάτων του ποταμού Μπογδάνα σε βαρέα μέταλλα σχετίζονται περισσότερο με τα πετρώματα της περιοχής, των οποίων και προϊόντα αποσάθρωσης αποτελούν, παρά με ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτό προκύπτει καθώς τα ιζήματα του ποταμού δεν εμφανίζονται επιβαρυμένα σε βαρέα μέταλλα τα οποία περιέχονται σε απόβλητα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που αναφέρθηκε ότι εκδηλώνονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας. Τα μόνα βαρέα μέταλλα των οποίων οι περιεκτικότητες είναι όχι ιδιαίτερα αλλά κάπως αυξημένες, είναι ο Cu και ο Zn. Αυτό αποδίδεται στην παρουσία των στοιχείων αυτών στα πετρώματα της περιοχής. Συγκεκριμένα οφείλεται προφανώς στη μεταλλοφορία χαλκού που εντοπίστηκε στην περιοχή και η οποία περιέχει ορυκτά όπως ο χαλκοπυρίτης και ο σφαλερίτης.



Σχήμα 9.1.1. Περιεκτικότητες των ιζημάτων σε Cu, Pb, Zn, Co, Ni και Cr, ανά θέση δειγματοληψίας, σε σύγκριση με τα ποιοτικά και περιβαλλοντικά πρότυπα της ευρωπαϊκής νομοθεσίας και της EPA.

9.2. ΥΔΑΤΑ

9.2.1. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Στον Πίνακα 9.2.1.1. αναφέρονται τα όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που έχουν θεσπιστεί από την ελληνική νομοθεσία για τα επιφανειακά ύδατα σύμφωνα με την ΚΥΑ 50388/2704/Ε 103 και τα ποιοτικά κριτήρια υδάτων που ορίζει η Environmental Protection Agency (EPA). Επειδή από την παραπάνω ΚΥΑ δε δίνεται όριο για το Cd, χρησιμοποιήθηκε η ΚΥΑ Η.Π. 35308/1838. Οι τιμές ποιότητας που καθορίζονται από την EPA είναι για όλα τα μέταλλα χαμηλότερες από τις αντίστοιχες που καθορίζει η ελληνική νομοθεσία, με εξαίρεση το As.

Πίνακας 9.2.1.1. Ποιοτικά πρότυπα υδάτων.

Ποιοτικά Πρότυπα Υδάτων	ppb (µg/l)						
	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni	As
Ελλάδα ¹	50	20	1000	50	5 *	100	30
EPA ²	9	2,5	120	11	0,25	52	150

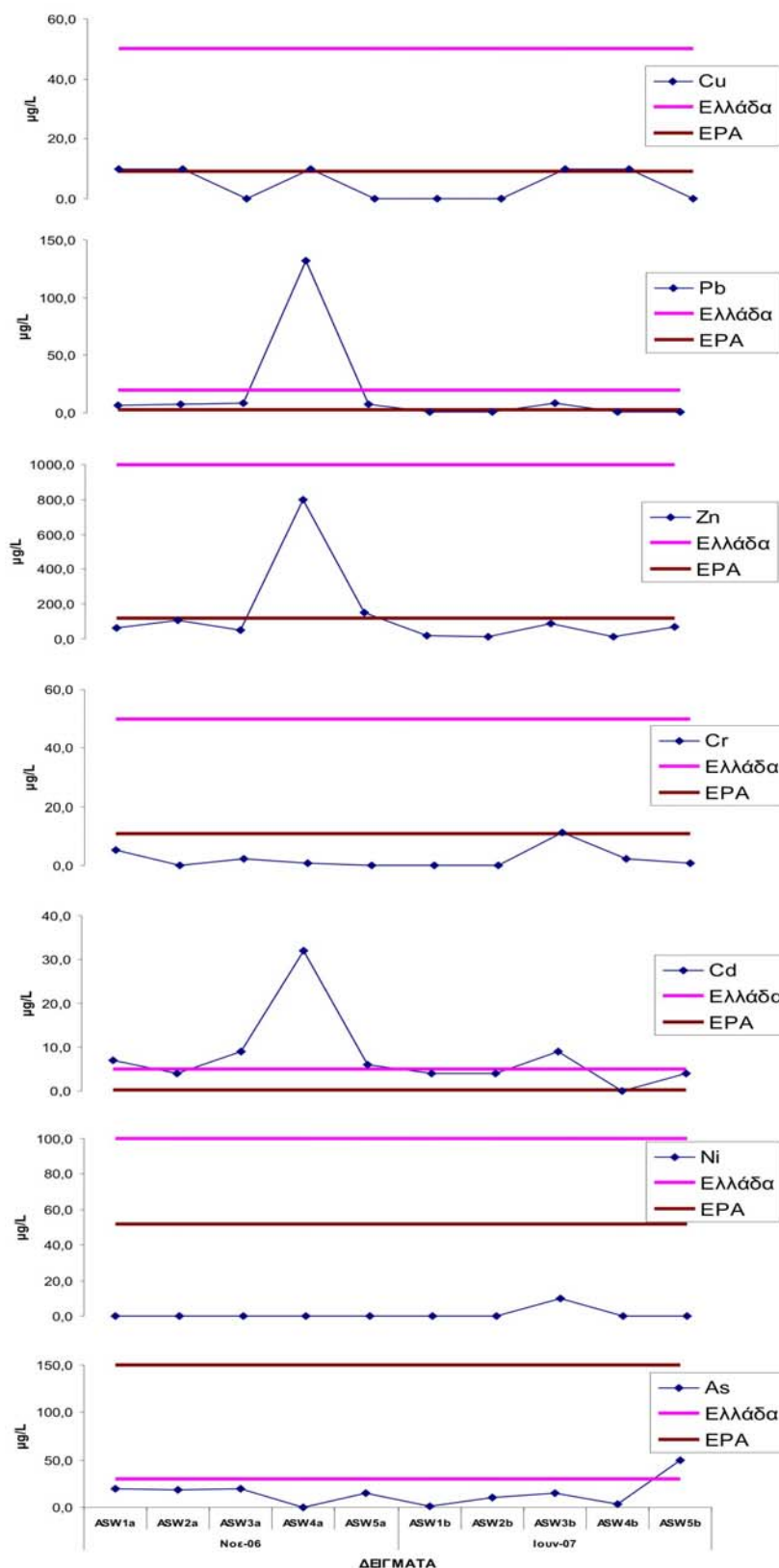
1: Ποιοτικοί στόχοι για επιφανειακά νερά της Ελλάδας, σύμφωνα με την ΚΥΑ 50388/2704/Ε 103 (ΦΕΚ 1866Β/12-12-2003)

2: Ποιοτικά κριτήρια υδάτων, σύμφωνα με την Environmental Protection Agency

*: Ποιοτικοί στόχοι για τα νερά της λίμνης Κορώνειας, σύμφωνα με την ΚΥΑ Η.Π. 35308/1838 (ΦΕΚ 1416Β/12-10-2005), λόγω του ότι δεν προσδιορίζεται ανώτατη συγκέντρωση του Cd μαζί με τα υπόλοιπα μέταλλα στην ΚΥΑ 50388/2704/Ε 103 (ΦΕΚ 1866Β/12-12-2003)

Στο Σχήμα 9.2.1.1. δίνονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ως προς την κάθε θέση δειγματοληψίας και σε εκάστοτε δειγματοληπτική περίοδο, σε σχέση με τα πρότυπα ποιότητας επιφανειακών υδάτων.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης σε σύγκριση με τα όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων (Πίν. 9.2.1.1.) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Οι περιεκτικότητες του Cu σε όλα τα δείγματα είναι χαμηλότερες από τα όρια που καθορίζονται από την ελληνική νομοθεσία, και μόνο σε 5 δείγματα αυτές φθάνουν το όριο της EPA (Σχ. 9.2.1.1.). Ο Pb παρουσιάζει περιεκτικότητες χαμηλότερες από τα όρια που θέτει η ελληνική νομοθεσία, εκτός από το δείγμα ASW4a (132,3 µg/L), το οποίο υπερβαίνει κατά πολύ και το όριο της EPA. Σε όλα τα υπόλοιπα δείγματα και από τις δύο περιόδους ο Pb βρίσκεται κοντά στο όριο της EPA. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο δείγμα ASW3 (Οκτώβριος 2006) ο Pb ήταν 66,6 µg/L, πολύ πάνω και από τα δύο όρια. Όσον αφορά τον Zn, οι περιεκτικότητές του σε όλα τα δείγματα δεν ξεπερνούν το όριο της ελληνικής νομοθεσίας, ενώ από τα 2 δείγματα που βρίσκονται πάνω από το όριο της EPA, το ASW4a ανέρχεται στην εξαιρετικά υψηλή τιμή των 800 µg/L.



Σχήμα 9.2.1.1. Περιεκτικότητες των δειγμάτων ύδατος σε Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ni και As, ανά θέση και περίοδο δειγματοληψίας, σε σύγκριση με τα ποιοτικά και περιβαλλοντικά πρότυπα της ελληνικής νομοθεσίας και της EPA.

Εκτός από το ASW3b η περιεκτικότητα του οποίου είναι οριακά πάνω από το όριο της EPA, σε όλα τα άλλα δείγματα η περιεκτικότητα του Cr είναι χαμηλότερη και από τα δύο όρια. Στην ίδια θέση (ASW3) από μεμονωμένη δειγματοληψία που έγινε τον Οκτώβριο 2006 προσδιορίστηκε περιεκτικότητα Cr 99,0 µg/L, που είναι πολύ υψηλότερη και από τα δύο όρια. Σύμφωνα με την EPA, οι περιεκτικότητες του Cd σε όλα τα δείγματα υπερβαίνουν το όριο και 5 υπερβαίνουν αυτό της ελληνικής νομοθεσίας. Το Ni και το As βρίσκονται κάτω από το όριο και της ελληνικής νομοθεσίας και της EPA, με εξαίρεση το δείγμα ASW5b (50 µg/L As) που υπερβαίνει το όριο της ελληνικής νομοθεσίας.

Με βάση τη μέχρι τώρα έρευνα, θεωρούμε ότι η προέλευση των βαρέων μετάλλων στα ύδατα του Μπογδάνα δεν προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής έρευνας, αλλά οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Συγκεκριμένα στην περιοχή υπάρχουν αρκετά βαφεία από τα οποία, σύμφωνα με τη Διεύθυνση Προστασίας Περιβάλλοντος της Νομαρχίας Θεσσαλονίκης, τουλάχιστον δύο διαθέτουν τα υγρά απόβλητά τους ανεπεξέργαστα, μέσω νόμιμου και ειδικά κατασκευασμένου αγωγού, απευθείας στην κοίτη του ποταμού σε απόσταση περίπου 150 m πριν από την πόλη του Λαγκαδά. Με τα απόβλητα αυτά μπορεί να συνδέονται οι σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε Cr στη θέση ASW3, όπου αυτές κατά τον Οκτώβριο και Νοέμβριο 2006 ήταν 99,0 µg/L και 11,2 µg/L αντίστοιχα.

Στο δείγμα ASW4a παρατηρείται μία ιδιαίτερα αυξημένη συγκέντρωση σε Pb, Zn και Cd, χωρίς να υπάρχει ανάλογη αύξηση και στα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα που υπάρχουν σε απόβλητα όπως αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα στοιχεία αυτά, ιδιαίτερα ο Pb και το Cd που είναι ιδιαίτερα τοξικά μέταλλα, παραπέμπουν στην ύπαρξη μπαταριών από τον χώρο ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (χωματερή) που εντοπίζεται στη θέση αυτή. Το ίδιο συμβαίνει και στη θέση ASW3, που γειτνιάζει με τη χωματερή της Ασσήρου, όπου ο Pb και το Cd υπερβαίνουν τα όρια της EPA.

Η ιδιαίτερα αυξημένη συγκέντρωση στο εξαιρετικά τοξικό στοιχείο As του δείγματος ASW5b (Ιούνιος 2006) οφείλεται προφανώς στη χρήση παρασιτοκτόνων και αγροχημικών προϊόντων, καθώς στην περιοχή αυτή βρίσκονται εκτεταμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

9.2.2. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

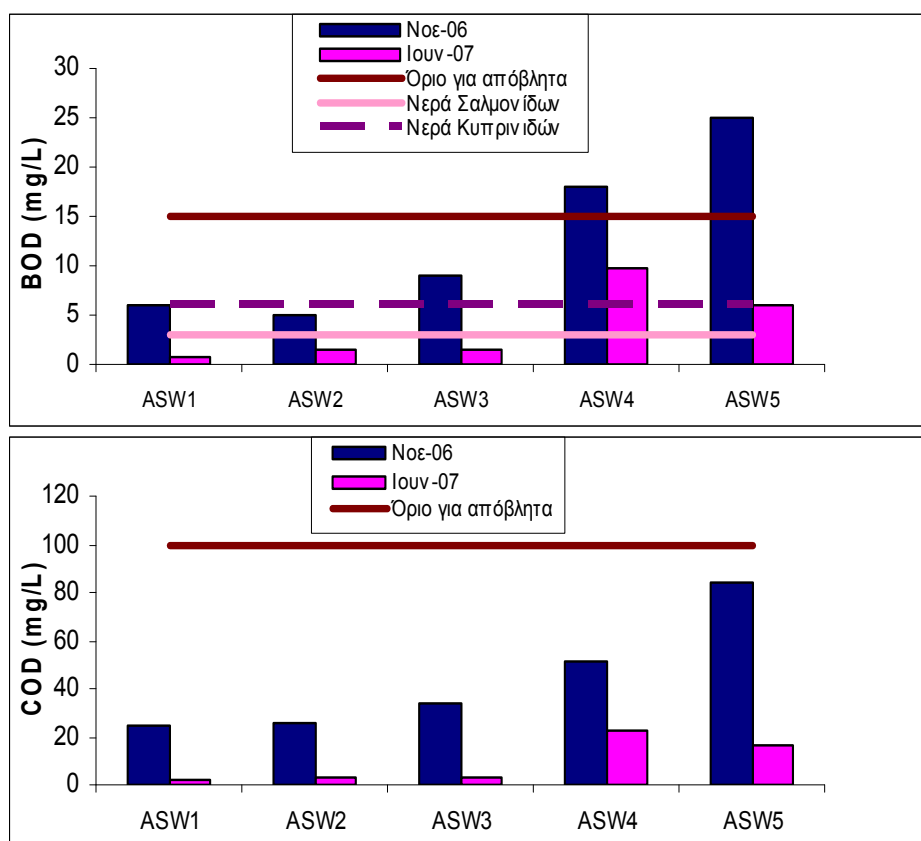
Επειδή από τη νομοθεσία δεν δίνονται συγκεκριμένα όρια για τις παραμέτρους BOD₅ και COD για τα επιφανειακά ύδατα, έγινε σύγκριση με τις τιμές που δίνονται από την Απόφαση του Νομάρχη Θεσσαλονίκης Αριθ. ΔΥ/22374/91/94 (ΦΕΚ 82B/10-2-94) και όπως αυτή τροποποιείται από την ΚΥΑ 30/1585 (ΦΕΚ 524B/29-4-2002) για τη διάθεση των λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες στο Νομό Θεσσαλονίκης. Σύγκριση έγινε επίσης και με τα πρότυπα ποιότητας γλυκών επιφανειακών νερών για τη διαβίωση ψαριών

που ορίζονται από την ΚΥΑ 46399/1352/86 (ΦΕΚ 438Β/3-7-86) μόνο για το BOD₅, αφού δεν προσδιορίζεται όριο για το COD (Πίν. 9.2.2.1.).

Πίνακας 9.2.2.1. Ποιοτικά πρότυπα υδάτων και όρια διάθεσης υγρών αποβλήτων σύμφωνα με την Απόφαση του Νομάρχη Θεσσαλονίκης και την ΚΥΑ 30/1585.

Ποιοτικά Πρότυπα Υδάτων	mg/L	
	BOD	COD
Υγρά απόβλητα	15	100
Νερά Σαλμονίδων	3	--
Νερά Κυπρινιδών	6	--

Στο Σχήμα 9.2.2.1. απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών ουσιών σε σχέση με τα πρότυπα ποιότητας επιφανειακών υδάτων.



Σχήμα 9.2.2.1. Συγκεντρώσεις BOD₅ και COD στην περιοχή έρευνας σε σύγκριση με το όριο της ελληνικής νομοθεσίας για απόβλητα.

Οι μετρήσεις που αφορούν τη δειγματοληψία του Νοεμβρίου 2006 έδειξαν πως ο ποταμός Μπογδάνας μετά την πόλη του Λαγκαδά στις θέσεις ASW3 και ASW4 είναι τόσο επιβαρυνμένος, που η συγκέντρωση του BOD₅ ξεπερνά το όριο που ορίζεται στο συγκεκριμένο αποδέκτη για

τα υγρά απόβλητα (Σχ. 9.2.2.1.). Αντίθετα, οι μετρήσεις που αφορούν τη δειγματοληψία του Ιουνίου 2007 έδειξαν πως το BOD₅ αν και σε κάποιες θέσεις πλησιάζει το όριο για υγρά απόβλητα, παρόλα αυτά δεν το ξεπερνά. Ακόμη, οι συγκεντρώσεις του BOD₅ σε όλα τα δείγματα του Νοεμβρίου υπερβαίνουν το όριο που έχει τεθεί για τη διαβίωση σαλμονίδων, ενώ από τα δείγματα του Ιουνίου το υπερβαίνουν μόνο τα δείγματα ASW4b και ASW5b. Οι μετρήσεις για το COD έδειξαν πως σε καμία θέση δειγματοληψίας δεν υπάρχει υπέρβαση του ορίου που δίνεται για υγρά απόβλητα, αν και τα δείγματα στις δύο θέσεις μετά την πόλη του Λαγκαδά, πλησιάζουν το όριο και κυρίως το φθινόπωρο που είναι πιο αυξημένη η οργανική ύλη.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των οργανικών ουσιών προκύπτει μία αναλογική αύξηση των παραμέτρων προς τα κατάντι του ποταμού, τόσο το φθινόπωρο όσο και το καλοκαίρι. Η επιβάρυνση σε οργανικά των δειγμάτων στις θέσεις ASW1 και ASW2 οφείλεται στα ανεξέλεγκτα αστικά λύματα της Ασσήρου που διοχετεύονται στον ποταμό Μπογδάνα και δημιουργούν σημειακές πηγές ρύπανσης. Τα δείγματα στις θέσεις ASW2 και ASW3 βρίσκονται πολύ κοντά στη χωματερή της Ασσήρου και για αυτό παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε οργανικά. Τέλος τα εξαιρετικά επιβαρυμένα δείγματα από τις θέσεις ASW4 και ASW5 οφείλονται στα αστικά λύματα του Λαγκαδά τα οποία απορρίπτονται χωρίς καμία απολύτως επεξεργασία, απευθείας στην κοίτη του Μπογδάνα.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

10.1. ΙΖΗΜΑΤΑ

10.1.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η κοκκομετρική μελέτη των ιζημάτων της περιοχής έρευνας έδειξε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Από τον υπολογισμό των στατιστικών παραμέτρων ταξινόμηση (Sorting-So), λοξότητα (Skewness-Sk) και σταθερή απόκλιση (Standard Deviation-SD) για το κάθε δείγμα, προκύπτει ότι:

- 1) Η λοξότητα (Sk) των ιζημάτων της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται από έντονα θετική έως και έντονα αρνητική, καθώς οι τιμές της καλύπτουν όλο το φάσμα των διαβαθμίσεων που προτείνει ο Ψιλοβίκος (1984).
- 2) Με βάση τις τιμές της σταθερής απόκλισης (SD), όλα τα δείγματα κατά Folk (1968) χαρακτηρίζονται φτωχά έως πολύ φτωχά ταξινομημένα.
- 3) Η ταξινόμησή τους (So) σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο (1984) κυμαίνεται από κακή έως πολύ κακή.

Με βάση το διάγραμμα του Friedman (1961), προκύπτει ότι όλα τα δείγματα της περιοχής μελέτης προβάλλονται στο πεδίο των ποτάμιων άμμων, κάτι που συμφωνεί με το περιβάλλον από το οποίο συλλέχθηκαν αυτά.

Με βάση το διάγραμμα του Weller (1960) συμπεραίνεται πως τα ιζήματα της περιοχής έρευνας είναι ιστολογικά υποώριμα έως ανώριμα.

Από την ταξινόμηση των ιζημάτων κατά Folk et al. (1970) το 46% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται αμμοκροκαλώδη, το 27% χαρακτηρίζονται πηλοαμμοκροκαλώδη, το 18% κροκαλοαμμώδη και το 9% πηλοκροκαλώδη.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση των ιζημάτων με βάση το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης εδαφών ASTM D-2487 το 82% χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα εδάφη ενώ το 18% χαρακτηρίζονται λεπτόκοκκα εδάφη. Από τα χονδρόκοκκα, το 79% είναι χάλικες και το 22% άμμοι.

10.1.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η ορυκτολογική μελέτη των ιζημάτων της περιοχής έρευνας έδειξε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Τα μεταλλικά ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι ιλμενίτης, μαγνητίτης, αιματίτης, σιδηροπυρίτης και λειμωνίτης.

Τα μη μεταλλικά ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, καλιούχοι άστριοι (ορθόκλαστο και μικροκλινής), μαρμαρυγίες (μοσχοβίτης και βιοτίτης), χλωρίτης, καολινίτης, αμφίβολοι (ακτινόλιθος και τρεμολίτης), γρανάτης, ζοϊσίτης-κλινοζοισίτης, τάλκης, επίδοτο, ζιρκόνιο, τιτανίτης και σε μία περίπτωση απατίτης και σταυρόλιθος.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι τα ιζήματα της περιοχής έρευνας έχουν ομοιόμορφη ορυκτολογική σύσταση που αποτελείται από ορυκτά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής.

10.1.3. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η γεωχημική μελέτη των ιζημάτων της περιοχής έρευνας έδειξε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Σε όλα τα δείγματα, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων δεν υπερβαίνουν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια που έχουν θεσπιστεί από την ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα επιφανειακά ιζήματα.

Με βάση τα ποιοτικά πρότυπα ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines-SQGs) που ορίζει η Environmental Protection Agency (EPA), τα ιζήματα της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζονται:

- **Μη μολυσμένα** σε ποσοστό δειγμάτων 9% για τον Cu, 73% για τον Zn και 100% για τον Pb, το Ni και το Cr.
- **Μέτρια μολυσμένα** σε ποσοστό δειγμάτων 91% για τον Cu και 27% για τον Zn.
- **Πολύ μολυσμένο** δεν χαρακτηρίζεται κανένα ίζημα.

Οι όχι ιδιαίτερα αυξημένες περιεκτικότητες σε Cu και Zn σχετίζονται περισσότερο με τα πετρώματα της περιοχής και λιγότερο με ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η χωματερή που εντοπίζεται στην περιοχή έρευνας.

10.2. ΥΔΑΤΑ

Η γεωχημική μελέτη των υδάτων της περιοχής έδειξε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα περισσότερα δείγματα ύδατος που συλλέχτηκαν δεν ξεπερνούν τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την ελληνική νομοθεσία για τα επιφανειακά ύδατα. Εξαίρεση αποτελεί η συγκέντρωση του Pb σε 1 δείγμα, του As σε επίσης 1 δείγμα και του Cd, του οποίου η συγκεντρώσεις σε 5 δείγματα κυμαίνονται από 6.0 $\mu\text{g/L}$ έως την εξαιρετικά υψηλή τιμή των 32 $\mu\text{g/L}$, υπερβαίνοντας έτσι τα 5 $\mu\text{g/L}$ που είναι το όριο το οποίο έχει θεσπιστεί από την ελληνική νομοθεσία.

Με βάση τα ποιοτικά κριτήρια υδάτων που ορίζει η Environmental Protection Agency (EPA), οι περιεκτικότητες του Cd σε όλα τα δείγματα υπερβαίνουν το αντίστοιχο όριο. Σε 5 δείγματα οι συγκεντρώσεις του Cu υπερβαίνουν το όριο της EPA και σε 6 δείγματα το υπερβαίνουν οι συγκεντρώσεις του Pb. Σε 2 δείγματα οι συγκεντρώσεις του Zn και σε 1 αυτές του Cr και του As βρίσκονται πάνω από το όριο της EPA, ενώ οι συγκεντρώσεις του Ni δεν το υπερβαίνουν σε κανένα δείγμα.

Οι υψηλές περιεκτικότητες σε Cr οφείλονται πιθανώς σε επιβάρυνση από υγρά απόβλητα βαφείων. Η επιβάρυνση σε Pb, Cd και Zn οφείλεται σε ανεξέλεγκτες χωματερές ενώ η ιδιαίτερα αυξημένη συγκέντρωση σε As σε ένα δείγμα, δείχνει πιθανώς τη χρήση αγροχημικών προϊόντων.

Σε ότι αφορά τις οργανικές ουσίες, παρατηρείται μία αναλογική αύξηση των παραμέτρων BOD₅ και COD προς τα κατάντι του ποταμού και η επιβάρυνσή του οφείλεται στα ανεξέλεγκτα αστικά λύματα και στις χωματερές που δημιουργούν σημειακές πηγές ρύπανσης.

11. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διατριβή αναφέρεται στην κοκκομετρική, ορυκτολογική και χημική έρευνα των ιζημάτων καθώς και στη χημική μελέτη των υδάτων του ποταμού Μπογδάνα. Ο Μπογδάνας πηγάζει από το δυτικό τμήμα του όρους Βερτίσκορ, αποστραγγίζοντας την περιοχή νότια του Λαχανά και κατευθύνεται δυτικά – νοτιοδυτικά μέχρι το ύψος της Ασσήρου όπου στρέφεται προς τα νότια και αφού περάσει δυτικά της πόλης του Λαγκαδά καταλήγει στο βορειοδυτικό τμήμα της λίμνης Κορώνειας.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να προσδιοριστούν η ορυκτολογική και χημική σύσταση καθώς επίσης και τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά των ιζημάτων της περιοχής έρευνας. Σκοπός ακόμη της εργασίας αυτής είναι να προσδιορισθούν οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και οργανικών ουσιών στα ύδατα του ποταμού Μπογδάνα, ώστε να διερευνηθεί η πιθανότητα ρύπανσης σε αυτά και στη λίμνη Κορώνεια.

Για την παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ιζημάτων και υδάτων στον ποταμό Μπογδάνα, σε επιλεγμένα σημεία μεταξύ της περιοχής ανατολικά της Ασσήρου και των δελταϊκών του αποθέσεων στη λίμνη Κορώνεια. Συνολικά συλλέχθηκαν 11 δείγματα ιζήματος και 10 δείγματα ύδατος (5 τον Νοέμβριο του 2006 και 5 τον Ιούνιο του 2007). Τα ιζήματα αναλύθηκαν ως προς τις συγκεντρώσεις τους σε κύρια και ιχνοστοιχεία, ενώ τα ύδατα αναλύθηκαν ως προς τις συγκεντρώσεις τους σε βαρέα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Ni, As) και για τη φόρτισή τους σε οργανικές ουσίες (BOD₅, COD).

Για την κοκκομετρική μελέτη υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι ταξινόμηση (Sorting-So), λοξότητα (Skewness-Sk) και σταθερή απόκλιση (Standard Deviation-SD) των ιζημάτων. Από τη μελέτη αυτή προέκυψε πως η ταξινόμηση των ιζημάτων κυμαίνεται από κακή έως πολύ κακή, η λοξότητα τους χαρακτηρίζεται από έντονα θετική έως και έντονα αρνητική, ενώ με βάση τις τιμές της σταθερής απόκλισης (SD), όλα τα δείγματα χαρακτηρίζονται φτωχά έως πολύ φτωχά ταξινομημένα. Από τον προσδιορισμό της ιστολογικής ωριμότητας με βάση τα παραπάνω, προέκυψε ότι τα ιζήματα της περιοχής έρευνας είναι ιστολογικά υποώριμα έως ανώριμα.

Από την ταξινόμηση των δειγμάτων κατά Folk et al. (1970) προέκυψε ότι το 46% χαρακτηρίζονται αμμοκροκαλώδη, το 27% πηλοαμμοκροκαλώδη, το 18% κροκαλοαμμώδη και μόλις το 9% πηλοκροκαλώδη. Η ταξινόμηση των δειγμάτων της περιοχής έρευνας που έγινε με βάση το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης εδαφών ASTM D-2487 (American Society for Testing Materials) έδειξε ότι το 82% είναι χονδρόκοκκα εδάφη ενώ το 18% λεπτόκοκκα. Από τα χονδρόκοκκα, το 78% είναι χάλικες και το 22% άμμοι.

Από την ορυκτολογική μελέτη προέκυψε ότι τα ιζήματα της περιοχής έρευνας έχουν ομοιόμορφη ορυκτολογική σύσταση που

αποτελείται από ορυκτά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής. Συγκεκριμένα από τη μικροσκοπική και ακτινογραφική μελέτη προσδιορίστηκαν τα μεταλλικά ορυκτά ιλμενίτης, μαγνητίτης, αιματίτης, σιδηροπυρίτης και λειμωνίτης και τα μη μεταλλικά ορυκτά χαλαζίας, πλαγιόκλαστα, καλιούχοι άστριοι, αμφίβολοι, μαρμαρυγίες, χλωρίτης, καολινίτης, γρανάτης, ζοϊσίτης-κλινοζοισίτης, τάλκης, επίδοτο, ζirkόνιο, τιτανίτης, απατίτης και σταυρόλιθος.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων έδειξαν διαφορετικές συγκεντρώσεις στις θέσεις δειγματοληψίας κατά μήκος του ποταμού. Η χημική ανάλυση των ιζημάτων έδειξε αυξημένες συγκεντρώσεις ως προς τον Cu και τον Zn σε σύγκριση με τα ποιοτικά πρότυπα ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines-SQGs) που ορίζει η Environmental Protection Agency (EPA). Οι συγκεντρώσεις αυτές σχετίζονται περισσότερο με τα πετρώματα της περιοχής και λιγότερο με ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η χωματερή που εντοπίζεται στην περιοχή έρευνας. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Pb, Co, Ni και Cr είναι χαμηλότερες από τα όρια που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και η EPA.

Όσον αφορά τη χημική ανάλυση των υδάτων, οι περιεκτικότητές τους είναι μόνο σε ορισμένες θέσεις αυξημένες ως προς τον Pb (132,3 $\mu\text{g/L}$), τον Zn (800 $\mu\text{g/L}$), το Cd (32 $\mu\text{g/L}$) και το As (50 $\mu\text{g/L}$), γεγονός που δείχνει σημειακή ρύπανση. Η μέχρι τώρα ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα δείχνει ότι οι αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις δεν προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής έρευνας, αλλά είναι πιθανό να οφείλονται σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως ανεξέλεγκτες χωματερές, απόρριψη αποβλήτων, αστικών και βιομηχανικών λυμάτων και στην πιθανή χρήση αγροχημικών προϊόντων.

Σε ότι αφορά τη φόρτιση των υδάτων του ποταμού σε οργανικές ουσίες, οι τιμές των παραμέτρων που μετρήθηκαν αυξάνονται προς τα κατάντη και είναι ιδιαίτερα υψηλές στις εκβολές του ποταμού στη λίμνη Κορώνεια. Συγκεκριμένα η παράμετρος BOD₅ ανέρχεται στα 25 mg/L και η COD στα 84 mg/L . Η επιβάρυνση αυτή οφείλεται στα ανεξέλεγκτα αστικά λύματα και στις χωματερές που δημιουργούν σημειακές πηγές ρύπανσης.

Οι αυξημένες τιμές σε βαρέα μέταλλα και οργανικές ουσίες, οι οποίες σε ορισμένες θέσεις βρίσκονται πάνω από τα όρια που προβλέπονται από την ελληνική, ευρωπαϊκή και αμερικανική νομοθεσία, έχουν σαν αποτέλεσμα την επιπλέον επιβάρυνση της λίμνης Κορώνειας, από τον ποταμό Μπογδάνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνόπουλος, Β., Γιαννιού, Σ. (1999): Ισοζύγιο νερού και αλάτων στη λίμνη Κορώνεια της βόρειας Ελλάδος. Διαχείριση υδατικών πόρων στις ευαίσθητες περιοχές του ελλαδικού χώρου. Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ, Βόλος, σελ. 67-75.
- Αντωνόπουλος, Β., Γιαννιού, Σ. (2006): Διερεύνηση του ελλειμματικού ισοζυγίου του νερού και της αύξησης της αλατότητας στη λίμνη Κορώνεια. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου Συμβουλίου Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. «Τα περιβαλλοντικά προβλήματα της Θεσσαλονίκης & της ευρύτερης περιοχής: Οι απόψεις του Α.Π.Θ.», 1-4 Ιουνίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 258-264.
- Απόφαση Νομάρχη Θεσσαλονίκης Αριθ. ΔΥ/22374/91/94 (ΦΕΚ 82Β/10-2-94)
- Ασβεστά, Α. (1992): Ο μαγματισμός και η συνοδός του ιζηματογένεση κατά τα πρώτα στάδια ανοίγματος της ωκεάνιας λεκάνης του Αξιού στο Τριαδικό. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 439 σελ.
- Βουδούρης, Κ. (2004): Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 175 σελ.
- Γ.Υ.Σ. (1970): Τοπογραφικός χάρτης 1:50.000, φύλλο Λαχανάς.
- Γ.Υ.Σ. (1974): Τοπογραφικός χάρτης 1:50.000, φύλλο Θέρμη.
- Γιαννοπούλου, Ι., Παπαμιχαήλ, Δ. (2006): Διερεύνηση της ποιοτικής κατάστασης του νερού της λίμνης Βόλβης. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου Συμβουλίου Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. «Τα περιβαλλοντικά προβλήματα της Θεσσαλονίκης & της ευρύτερης περιοχής: Οι απόψεις του Α.Π.Θ.», 1-4 Ιουνίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 289-295.
- Γραμματικοπούλου, Ν., Κεχαγιάς, Δ., Οικονομίδης, Γ. (1996): Σχέδιο Διάσωσης Λίμνης Κορώνειας. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωροταξίας Κεντρικής Μακεδονίας/Τμήμα Περιβάλλοντος-Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης/Επαρχείο Λαγκαδά-Τμήμα Αλιείας, Θεσσαλονίκη.
- Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού (2003): Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Ελλάδας, Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα.
- Καββαδάς, Μ. (2001): Διαχείριση στερεών αποβλήτων και ιλύος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Κιλικίδης, Σ., Καμαριανός, Α., Φώτης, Γ., Κουσούρης, Θ., Καραμανλής, Ξ., Ουζούνης, Κ. (1984): Οικολογική έρευνα στις λίμνες της Β. Ελλάδας Αγ. Βασιλείου, Δοϊράνη και Βιστωνίδα. Προϋποθέσεις για την

εγκατάσταση σταθμού αναπαραγωγής ιχθυδίων., Επιστημονική Επετηρίδα της Κτηνιατρικής Σχολής, Α.Π.Θ., 22: 281-309.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 30/1585 (ΦΕΚ 524Β/29-4-2002)

Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/1352/86 (ΦΕΚ 438Β/3-7-86)

Κοινή Υπουργική Απόφαση 50388/2704/Ε103 (ΦΕΚ 1866Β/12-12-2003)

Κοινή Υπουργική Απόφαση Η.Π. 35308/1838 (ΦΕΚ 1416Β/12-10-2005)

Κοκκινάκης, Α.Κ., Οικονομίδης, Γ.Β., Σίνης, Α.Ι. (2006): Επιπτώσεις των διαταραχών του περιβάλλοντος στην αλιεία των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης της Ν.Α. Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου Συμβουλίου Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. «Τα περιβαλλοντικά προβλήματα της Θεσσαλονίκης & της ευρύτερης περιοχής: Οι απόψεις του Α.Π.Θ.», 1-4 Ιουνίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 281-287.

Κοκκινάκης, Α.Κ., Σίνης, Α.Ι., Κριάρης Ν. (2000): Μελέτη ιχθυοπανίδας και καθορισμού κλειστών περιοχών/οριοθέτησης αλιευτικών ζωνών και αντιμετώπισης της παρεμπόδισης της αμφίδρομης κίνησης των ψαριών στις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη και των χειμάρρων αυτών. Τελική έκθεση προγράμματος ΑΝ.Ε.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 227.

Κουιμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά - Κωνσταντίνου Κ. (1998): Χημεία Περιβάλλοντος, University Studio Press.

Κουιμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά - Κωνσταντίνου Κ., Βουτσά Δ. (2004): Έλεγχος ρύπανσης περιβάλλοντος, University Studio Press.

Κούρου, Α. (1991): Λιθολογία. τεκτονική, γεωχημεία και μεταμόρφωση μέρους του δυτικού τμήματος της ομάδας Βερτίσκου. Η περιοχή Β.Α. από τη λίμνη Αγίου Βασιλείου (Κορώνεια). Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 461 σελ.

Μουζούρη, Γ. (2002): Η πρόσφατη περιβαλλοντική υποβάθμιση της λίμνης Κορώνειας και τα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των αποκαλυφθέντων τμημάτων του πυθμένα της. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 115 σελ.

Μουντράκης, Δ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 207 σελ.

Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης - Ν.Ε.Θ. (2004): Αναθεωρημένο σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας του νομού Θεσσαλονίκης.

Παπακωνσταντίνου, Α., Κατιρτζόγλου, Κ., Γρηγοριάδης, Γ., Κατσανόπουλος, Γρ. (1995): Επιπτώσεις τοξικών ουσιών στο οικοσύστημα μιας υδροδυναμικά φθίνουσας λίμνης: Περίπτωση λίμνης Κορώνειας Νομού Θεσσαλονίκης. 9^ο Σεμινάριο Προστασίας

Περιβάλλοντος, Εργ. Ρύπανσης Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 167-174.

Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου υπ' αριθμ. 2/1.2.2001 (ΦΕΚ 15Α/1.2.2001)

Σιδηρόπουλος, Ν. (1991): Λιθολογία, γεωχημεία, τεκτονική και μεταμόρφωση του βορειοδυτικού τμήματος της ομάδας Βερτίσκου. Η περιοχή του όρους Δύσωρο (Κρούσια), βόρεια από το Κιλκίς. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 586 σελ.

Σωματαρίδου, Β., Βυρίδης, Π. (2002): Υδρογεωλογική συμπεριφορά των ιζημάτων στη λίμνη Κορώνεια και επιπτώσεις στην πορεία ζωής της λίμνης. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 91 σελ.

Τζιμόπουλος, Χ., Γκινίδη, Π., Γιαννόπουλος, Σ., Ευαγγελίδης, Χ., Χαλκίδης, Η., Γιαννακοπούλου, Ε., (2006): Το πρόβλημα της διαχείρισης της υδρολογικής λεκάνης Κορώνειας. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου Συμβουλίου Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. «Τα περιβαλλοντικά προβλήματα της Θεσσαλονίκης & της ευρύτερης περιοχής: Οι απόψεις του Α.Π.Θ.», 1-4 Ιουνίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 265-272.

Τζιμόπουλος, Χ., Πλιάτσικα, Δ. (2005): Έρευνα διαχείρισης υδρολογικής λεκάνης Κορώνειας. Heleco 2005, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου.

Τσατσάρελης, Θ., Καραγιαννίδης, Α., Περκουλίδης, Γ. (2006): Χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων στο Νομό Θεσσαλονίκης: Απογραφή, ταξινόμηση και στρατηγικές παρέμβασης. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου Συμβουλίου Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. «Τα περιβαλλοντικά προβλήματα της Θεσσαλονίκης & της ευρύτερης περιοχής: Οι απόψεις του Α.Π.Θ.», 1-4 Ιουνίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 242-248.

Τσιούρης, Σ., Μαμώλος, Α. (2006): Σημειακή και μη σημειακή ρύπανση της λίμνης Κορώνειας. Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου Συμβουλίου Περιβάλλοντος Α.Π.Θ. «Τα περιβαλλοντικά προβλήματα της Θεσσαλονίκης & της ευρύτερης περιοχής: Οι απόψεις του Α.Π.Θ.», 1-4 Ιουνίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 251-257.

Τσιραμπίδης, Α.Ε. (2004): Πετρολογία ιζηματογενών πετρωμάτων, 2η Έκδοση. Υπηρεσία δημοσιευμάτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, 261 σ.

Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης (1997): Στοιχεία ποιότητας και στάθμης του νερού της λίμνης Κορώνειας.

Φλόκας, Α. (1997): Μαθήματα μετεωρολογίας και κλιματολογίας. Α.Π.Θ.

Ψιλοβίκος, Α. (1977): Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά – Βόλβης). Διδακτορική Διατριβή, Φ.Μ.Σ., Α.Π.Θ.

Ψιλοβίκος, Α. (1984): Μαθήματα ιζηματολογίας. Υπηρεσία δημοσιευμάτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, 131 σ.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- APHA, AWWA and WPCF (1995): Standard Methods for the examination of water and wastewater, 18th edition, Washington DC.
- Arsovski, M. (1978): Some elements of the arrangement of seismic foci in the Balkan region. Bull. Inst. Geol. Rep. Sot. Macedonia, 16: 261-282.
- Chatzidimitriadis, E., Kiliass, A., Staikopoulos, G. (1985): Nouvi aspetti petrologici e tettonici del massiccio Serbomacedonne e delle regioni adiacenti, della Grecia del Nord. Boll Soc Geol, It 104 :515-526.
- Chatzipetros, A., Pavlides, S. (1998): A Quantitative Morphotectonic Approach to the study of active faults, Mygdonia basin. Northern Greece. 8^ο Διεθνές Συμπόσιο της Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., Πάτρα.
- De Wet, A.P. (1989): Geology of part of the Chalkidiki Peninsula, northern Greece. Unpubl. Ph.D. Thesis, University of Cambridge, U.K., 117 pp.
- De Wet, A.P., Miller, J.A., Bickle, M.J., Chapman, H.J. (1989): Geology and geochronology of the Arnea, Sithonia and Ouranopolis intrusions, Chalkidiki peninsula, northern Greece. Tectonophysics, 161 :65-79.
- Dimitrijeviè, D., (1974): Sur l' age du métamorphisme et des plissements dans la masse Serbomacédonienne. Bull VI Congr Assoc Geol Carpatho-Balcanique, 1 :339-347.
- Eatherall, A., Warwick, M. S., and Tolchard, S. (2000): Identifying sources of dissolved organic carbon on the river Swale, Yorkshire, Sci. Total Environ. 251/252, 173-190.
- Folk, R.L. (1968): Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's, Austin, Texas, 177 p.
- Folk, R.L., Andrews, P.B., Lewis, D.W. (1970): Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in N. Zealand. N.Z.J. Geol. Geophys., 13, pp. 937-968.
- Friedman, G.M. (1961): Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. J. Sedim. Petrol., 31, 514 - 529.
- Fytianos, K., Laurantou, A. (2004): Speciation of elements in sediment samples collected at lakes Volvi and Koronia, N. Greece. Environment International, 30:11 - 17.
- Gantidis, N., Pervolarakis, M., Fytianos K. (2007): Assessment of the quality characteristics of two lakes (Koronia and Volvi) of N. Greece. Environ Monit Assess, 125:175-181.

Harmelin-Vivien, M., Loizeau, V., Mellon, C., Beker, B., Arlhac, D., Bodiguel, X., Ferraton, F., Hermand, R., Philippon, X., Salen-Picard, C. (2008): Comparison of C and N stable isotope ratios between surface particulate organic matter and microphytoplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). Continental Shelf Research, Elsevier Ltd. (in press).

<http://www.epa.gov/waterscience/criteria/wqcriteria.html>

<http://www.statistics.gr>

Ioannidou, I., Paraskevopoulos, S., Tzionas, P. (2003): Fuzzy modeling of interactions among environmental stressors in the ecosystem of Lake Koronia, Greece. Environmental Management, 32: 624–638.

Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001): Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, Poland, 411p.

Kaiserli, A., Voutsas, D., Samara, C. (2002): Phosphorus fractionation in lake sediments—Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. Chemosphere. 46:1147– 55.

Kauffman, 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.

Kilias, A., Falalakis, G., Mountrakis, D. (1999): Cretaceous–Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic hinterland (Macedonia, Greece). Int Journ Earth Sciences, 88 :513–531.

Knight Piesold Ltd, Karavokyris and Partners, Anelixa, Agrisystems (1998): Περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Τελική έκθεση (Master Plan). Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση XVI, Περιφερειακή πολιτική και συνοχή, Ταμείο συνοχής.

Kockel, F., Mollat, H. (1977): Erläuterungen zur geologischen Karte der Chalkidhiki und angrenzender Gebiete, 1:100,000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 119 pp.

Kockel, F., Mollat, H., Walther, H. (1971): Geologie des Serbomazedonischen Massivs und seines mesozoischen Rahmes (Nordgriechenland). Geol Jahrb, 89 :529–551.

Kockel, F., Mollat, H., Αντωνιάδης, Π. (1978): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Θέρμη, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Kockel, F., Mollat, H., Αντωνιάδης, Π., Ιωαννίδης, Κ. (1979): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Λαχανάς, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ, Αθήνα.

- Kostopoulos, D., Reischmann, T., Sklavounos, S. (2001): Paleozoic and Early Mesozoic magmatism and metamorphism in the Serbomacedonian massif, Central Macedonia, Northern Greece. Jour. Conf. Abstracts of EUG 11, April 8-12 2001, Strasbourg.
- Kotti, M., Vlessidis, A., Thanasoulas, N., Evmiridis, N. (2005): Assesment of river water quality in northwestern Greece. Water Resources Management, 19: 77–94 pp.
- Krumbein, W.C. (1934): Size frequency distributions of sediments. J. Sedim. Petrol., 4, pp. 65 – 77.
- Melfos, V., Vavelidis, M., Arikas, K. (2001): A new occurrence of argentopentlandite and gold from the Au-Ag-rich copper mineralization in the Paliomylos area, Serbomacedonian Massif, Central Macedonia, Greece. Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXIV(3), 1065-1072.
- Mercier, J. L. (1968): Etude géologique des zones internes des Héliénides en Macédoine centrale (Grèce). Contribution a l'étude du métamorphisme et de l'évolution magmatique des zone internes des Héliénides. Ann Géol Pays Héli, 20 : 1–792.
- Mercier, J., Mouyaris, C., Simeakis, T., Roundouyannis, T. and Angelidhis, C. (1979): Intra-plate deformation: a quantitative study of the faults activated by the 1978 Thessaloniki earthquakes. Nature 278, pp.45-48.
- Mitraki C., Crisman, T.L., Zalidis, G. (2004): Lake Koronia: Shift from autotrophy to heterotrophy with cultural eutrophication and progressive water-level reduction. Limnologica, 34:110–116.
- Mylopoulos, N., Mylopoulos, Y., Veranis, N., Tolikas, D. (2007): Groundwater modeling and management in a complex lake-aquifer system. Water. Resour. Manage., 21:469–494.
- Papazachos, B.C., Tsapanos, T.M., Panagiotopoulou, D.G. (1982): A premonitory pattern of earthquakes in northern Greece. Nature, 296: 232-235.
- Pavlidis, S.B., Kilias, A.A. (1987): Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece). Ann. Tectonicae, I (2): 97-104.
- Perin, G., Bonardi, M., Fabris, R., Simoncini, B., Manente, S., Tosi, L., Scotto, S. (1997): Heavy metal pollution in central Venice Lagoon bottom sediments: evaluation of the metal bioavailability by geochemical speciation procedure. Environmental Technology, 18: 593–604.
- Peverly, J. H. (1982): Stream transport of nutrients through a wetland, J. Environ. Qual. 11, 38–43.

- Powers, M.C. (1953): A new roundness scale for sedimentary particles. *J. Sedim. Petrol.*, 23, pp. 117-119.
- Psilovikos, A. (1984): Geomorphological and structural modification of the Serbomacedonian massif during the neotectonic stage. *Tectonophysics*, 110: 27-45.
- Sakellariou, D. (1989): The geology of the Serbomacedonian massif in the northeastern Chalkidiki peninsula, North Greece. Deformation and metamorphism. PhD thesis, Univ. Mainz. 177 pp.
- Tranos, M., Papadimitriou, E., Kiliass, A. (2003): Thessaloniki-Gerakarou Fault Zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. *Journal of Structural Geology*, 25:2109-2123.
- Tsiouris, S. E., Mamolos, A. P., Kalburtji, K. L., Barbayiannis, N. (2002): Fertilizer management in watersheds of two Ramsar wetlands and effects on quality of inflowing water. *Environmental Management*, 29:610-619.
- Tzionas, P., Ioannidou, I., Paraskevopoulos, S. (2004): A Hierarchical Fuzzy Decision Support System for the Environmental Rehabilitation of Lake Koronia, Greece. *Environmental Management*, 34:245-260.
- Vavelidis, M., Melfos, V., Kiliass, A. (1999): The gold-bearing quartz veins in the metamorphic rocks at the Drakontio area, central Macedonia, northern Greece. In: *Mineral Deposits: Processes to Processing* (ed: C.J. Stanley et al.), pp. 209-212.
- Voidomatis, PhS., Pavlides, S.B., Papadopoulos, G.A. (1990): Active deformation and seismic potential in the Serbomacedonian zone, northern Greece. In: E. Mantovani (Editor), *Seismicity and Crustal Deformation*. *Tectonophysics*, 179: 1-9.
- Weller, J.M. (1960): *Stratigraphic principles and practices*. Harper & Row, New York, 725 p.
- Wentworth, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30, pp. 377 - 392.