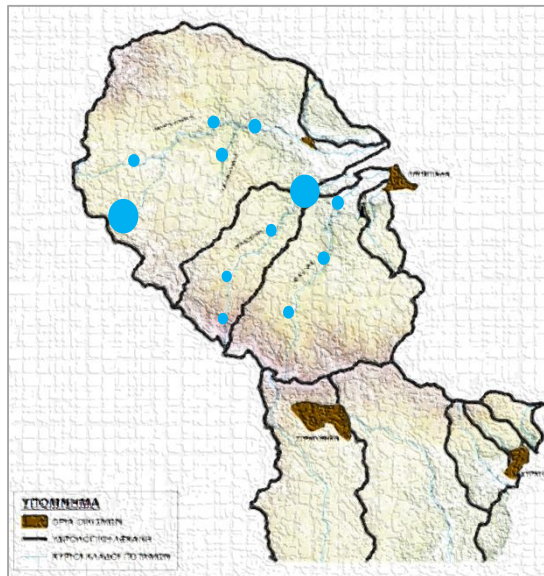




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

“Περιβαλλοντική μελέτη ιζημάτων και νερών ρεμάτων στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής”

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΣΑΚΑΡΙΚΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Επιβλέπων: Σταύρος Τριανταφυλλίδης, Λέκτορας ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

“Περιβαλλοντική μελέτη ιζημάτων και νερών ρεμάτων στην  
περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΑΚΑΡΙΚΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Επιβλέπων: Σταύρος Τριανταφυλλίδης, Λέκτορας ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2016

## **ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Επιβλέπων: Κος Σταύρος Τριανταφυλλίδης, Λέκτορας

Κος Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Κος Ηλίας Χατζηθεοδωρίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα κύριο Σταύρο Τριανταφυλλίδη, Λέκτορα ΕΜΠ, κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του για την επίλυση διάφορων θεμάτων κατά την συγγραφή της εργασίας αλλά κυρίως την υπομονη του.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στην κυρία Αριάδνη Αργυράκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ, και στο υπόλοιπο προσωπικό του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ για την παραχώρηση του εργαστηριακού χώρου και εξοπλισμού αλλά και την καθοδήγηση στην πραγματοποίηση του εργαστηριακού μέρους της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.» για την ευγενική παραχώρηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων των νερών αλλά και χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν στην συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον κύριο Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ και στον κύριο Ηλία Χατζηθεοδωρίδη, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε με κάθε τρόπο σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την περιβαλλοντική μελέτη ιζημάτων και νερών ρεμάτων στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων σε ιζήματα και νερά ρεμάτων, πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική αναγνώριση των ιζημάτων ρεμάτων και η μελετήθηκε η διασπορά των ρύπων στα ρέματα της περιοχής. Χρησιμοποιήθηκαν 12 δείγματα ιζημάτων τα οποία αναλύθηκαν για τα στοιχεία Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn με χρήση ICP-MS. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κατιόν που επικρατεί σε όλα τα δείγματα είναι το Mn ενώ τα στοιχεία που ακολουθούν σε χαμηλότερες περιεκτικότητες είναι ο Zn και Pb, ενώ σε ακόμα μικρότερες συγκεντρώσεις ακολουθούν τα στοιχεία: As, Ni, Cu, Co, Sb, Sn, Bi, Cd, Mo και Ag. Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων έλαβε χώρα με χρήση XRD και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ορυκτά που απαντώνται στα δείγματα ιζημάτων ανήκουν στην κατηγορία των πυριτικών ορυκτών και προέρχονται από τη διάβρωση, την αποσάθρωση και μεταφορά υλικού από τα πετρώματα της περιοχής (γνεύσιοι, αμφιβολίτες και σχιστόλιθοι). Όσον αφορά στα δείγματα νερών ρεμάτων προκύπτει ότι στο σύνολο των αναλύσεων οι συγκεντρώσεις των στοιχείων είναι χαμηλότερες των ανώτατων αποδεκτών ορίων, που ορίζονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, εκτός από συγκεκριμένες μετρήσεις στις οποίες τα δείγματα εμφάνιζαν αυξημένες περιεκτικότητες για το As, τον Fe και τον Pb. Βάσει των γεωχημικών χαρακτηριστικών των νερών και των μοντέλων PHREEQC που εφαρμόστηκαν, φαίνεται ότι ευνοείται ο σχηματισμός δευτερογενών οξειδίων και υδροξειδίων των μετάλλων και ιδιαίτερα του Fe, τα οποία στις συνθήκες αυτές προσροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό των εν διαλύσει μετάλλων.

**Λέξεις Κλειδιά:** ιζήματα ρεμάτων, βαρέα μέταλλα, μεταλλοφορία, ΒΑ Χαλκιδική

## ABSTRACT

The objectives of the study were to assess the degree of contamination in stream sediments and waters in the area of NE Chalkidiki. The scope of the study was to determine the concentration of heavy metals in sediment and stream water samples, to identify mineral phases of stream sediments and to study the dispersion of pollutants in stream waters of the region. A total of 12 stream sediment samples were analyzed for Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi, and Sn with the use of ICP-MS. Results showed that the cation existing in all samples with the highest concentration loads was Mn, followed by Zn and Pb, while the elements As, Ni, Cu, Co, Sb, Sn, Bi, Cd, Mo and Ag had lower concentrations. The mineralogical - XRD analysis of the samples, showed that the minerals found in sediment samples belong to the group of silicate minerals and are they originate from corrosion, erosion and transport of material from the rocks of the area (gneisses, amphibolites and schists). Regarding the stream water sample analysis, the concentrations of heavy metals are below the maximum acceptable limits in accordance with the European legislation, apart from specific measurements where the samples had elevated levels for As, the Fe and Pb. Based on the geochemical characteristics of the stream water samples and the PHREEQC models applied, it seems that the mineral phases that are more likely to be formed are secondary oxides and hydroxides of metals and particularly of Fe, which under these conditions absorb the majority of the dissolved metals.

**Keywords:** stream sediments, heavy metals, mineralization, NE Chalkidiki

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο & σκοπός της έρευνας.....σελ.	1
1.2 Χωροθέτηση περιοχής μελέτης.....σελ.	1
1.3 Γεωλογικά – γεωμορφολογικά – κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά.....σελ.	3
1.3.1 Γεωλογία – γεωμορφολογία περιοχής μελέτης.....σελ.	3
1.3.2 Κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά.....σελ.	5
1.3.2.1 Ολυμπιάδα.....σελ.	5
1.3.2.2 Έργο Στρατώνι.....σελ.	8
1.3.2.2.1 Μαύρες Πέτρες.....σελ.	9
1.3.2.2.2 Μάντεμ Λάκκος.....σελ.	9
1.3.3 Κλιματολογικά – μετεωρολογικά χαρακτηριστικά.....σελ.	10
1.3.4 Μεταλλευτική δραστηριότητα & περιβαλλοντική επιβάρυνση.....σελ.	13
1.3.5 Μελέτες για τον προσδιορισμό του γεωχημικού υποβάθρου της περιοχής.....σελ.	14

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δειγματοληψία.....σελ.	16
2.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD) στην έρευνα των ορυκτών.....σελ.	20
2.3 Υδρογεωχημικό μοντέλο PHREEQC – USGS.....σελ.	22
2.3.1 Γενικά.....σελ.	22
2.3.2 Δυνατότητες προγράμματος PHREEQC.....σελ.	22
2.3.3 Περιορισμοί προγράμματος PHREEQC.....σελ.	24
2.3.4 Παράμετροι προγράμματος PHREEQC.....σελ.	25
2.4 Φασματοσκοπία μαζών με επαγωγή ιονιζόμενου πλάσματος (ICP – MS).....σελ.	27
2.4.1 Γενικά.....σελ.	27
2.4.2 Αρχή λειτουργίας – οργανολογία.....σελ.	27



2.4.3 Αναλυτικές δυνατότητες – προσδιορισμός συγκεντρώσεων.....	σελ. 29
2.4.4 Χρήση ICP – MS στην παρούσα εργασία.....	σελ. 29
2.5 Μεθοδολογία υπολογισμού κλάσεων.....	σελ. 30
2.6 Στατιστική ανάλυση.....	σελ. 31

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

3.1 Χημισμός ιζημάτων ρεμάτων – αποτελέσματα ICP – MS.....	σελ. 32
3.2 Ορυκτολογία ιζημάτων – αποτελέσματα XRD.....	σελ. 33
3.3 Συντελεστές συσχέτισης.....	σελ. 35
3.4 Αποτελέσματα γεωχημείας νερών.....	σελ. 36
3.4.1 Ανάλυση δεδομένων.....	σελ. 40
3.4.2 Χρήση προγράμματος PHREEQC.....	σελ. 41
3.4.2.1 Μοντέλο άμεσης απόθεσης – καθίζησης (Direct precipitation)..	σελ. 42
3.4.2.2 Μοντέλο Εξάτμισης (Evaporation).....	σελ. 44
3.4.2.3 Μοντέλο μίξης με νερό βροχής(Mixing with rainwater).....	σελ. 49

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

4.1 Χημισμός ιζημάτων ρεμάτων – αποτελέσματα ICP – MS.....	σελ. 54
4.1.1 Χάρτες διασπορών	
Χαλκός – Cu.....	σελ. 54
Μόλυβδος – Pb.....	σελ. 56
Ψευδάργυρος – Zn.....	σελ. 58
Άργυρος – Ag.....	σελ. 60
Νικέλιο – Ni.....	σελ. 62
Κοβάλτιο – Co.....	σελ. 64
Μαγγάνιο – Mn.....	σελ. 66

Σίδηρος – Fe.....σελ.	68
Αρσενικό – As.....σελ.	70
Κάδμιο – Cd.....σελ.	72
Μολυβδαίνιο – Mo.....σελ.	74
Αντιμόνιο – Sb.....σελ.	76
Βισμούθιο – Bi.....σελ.	78
Κασσίτερος – Sn.....σελ.	80
Συνολικό φορτίο.....σελ.	82
4.2 Ορυκτολογία ιζημάτων – αποτελέσματα XRD.....σελ.	93
4.3 Συντελεστές συσχέτισης.....σελ.	94
4.4 Αποτελέσματα γεωχημείας νερών.....σελ.	94
4.4.1 Ανάλυση δεδομένων.....σελ.	94
4.4.2 Αποτελέσματα PHREEQC.....σελ.	100
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	
5.1 Ιζήματα ρεμάτων.....σελ.	101
5.2 Νερά ρεμάτων.....σελ.	102
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.</b>	<b>105</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....σελ.</b>	<b>110</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΦΟΡΜΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....σελ.</b>	<b>114</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ XRD.....σελ.</b>	<b>139</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV.....σελ.</b>	<b>150</b>



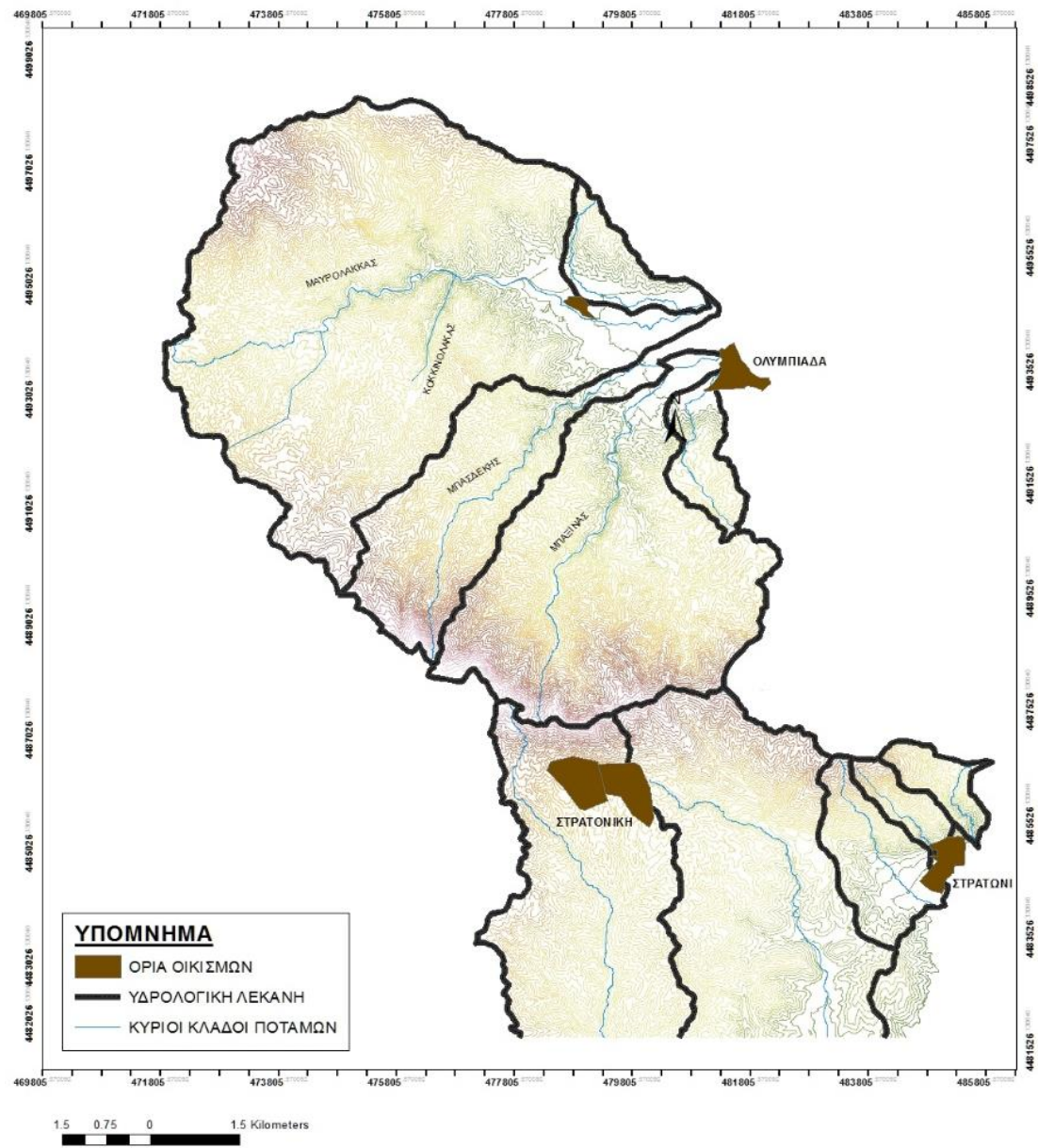
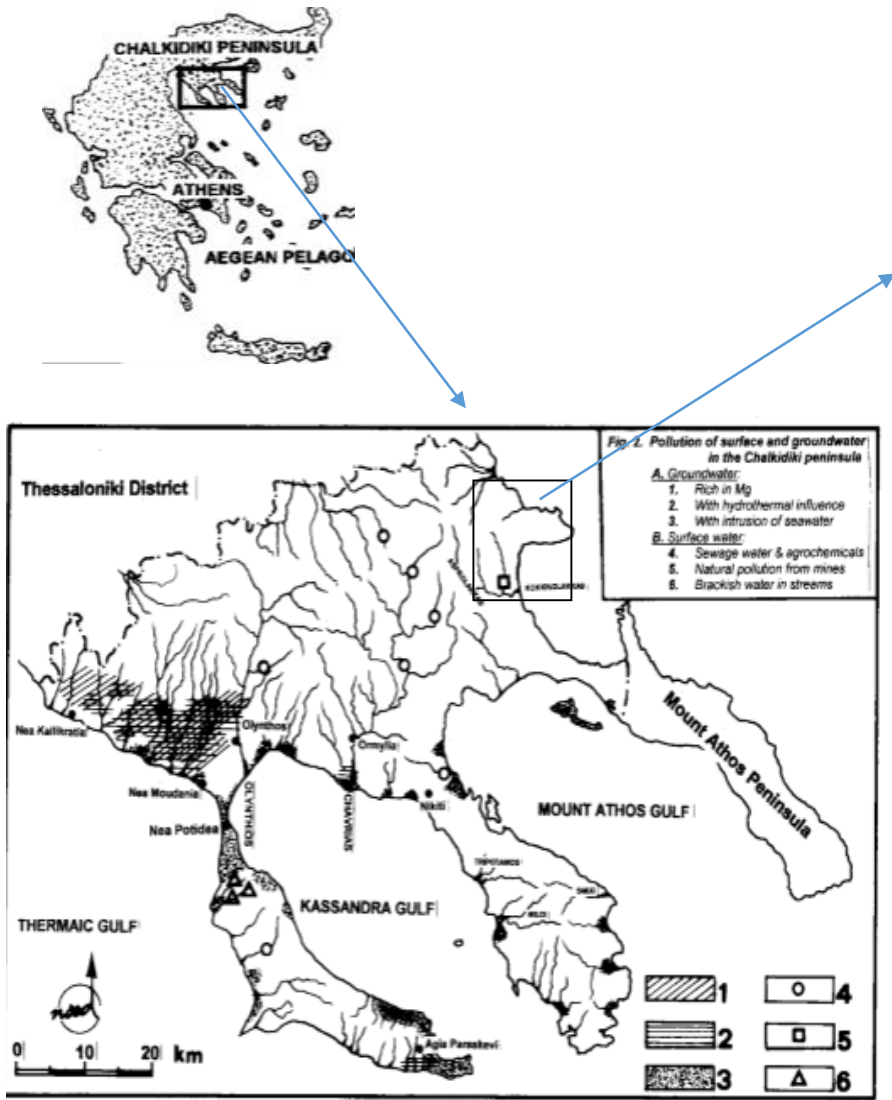
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Αντικείμενο και σκοπός της έρευνας

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την περιβαλλοντική μελέτη ιζημάτων και νερών ρεμάτων στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής. Πιο συγκεκριμένα, κύριοι στόχοι της έρευνας ήταν ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας βαρέων μετάλλων σε ιζήματα και νερά ρεμάτων, η ορυκτολογική αναγνώριση των ιζημάτων ρεμάτων και η μελέτη της διασποράς των ρύπων στα ρέματα της περιοχής. Τα δείγματα ιζημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα αποτελούν ένα υποσύνολο των δειγμάτων των οποίων ελήφθησαν για την διεξαγωγή του προγράμματος: «Εδαφογεωχημική διασκόπηση για τον προσδιορισμό του γεωχημικού υποβάθρου σε περιοχές ανάντη και εκτός των έργων της εταιρείας ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε.Μ.Β.Χ. στην Περιφερειακή Ενότητα Χαλκιδικής» το οποίο ανατέθηκε στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ) από την εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.Μ.Β.Χ. στο πλαίσιο του προγράμματος περιβαλλοντικής αποκατάστασης των περιοχών όπου δραστηριοποιείται. Το σύνολο όλων των σημείων δειγματοληψίας των ιζημάτων παρουσιάζεται στον χάρτη της Εικόνας 1.1. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των νερών παραχωρήθηκαν ευγενικά από την εταιρία «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.».

### 1.2 Χωροθέτηση περιοχής μελέτης

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται σε τρεις περιοχές οι οποίες σχετίζονται με τις μεταλλευτικές εγκαταστάσεις της Ολυμπιάδας, του Μαντέμ Λάκκου και του Στρατωνίου. Η περιοχή μελέτης είναι συνολικής έκτασης 92.7 km<sup>2</sup> και περικλείεται μεταξύ των οικισμών της Ολυμπιάδας, του Στρατωνίου και της Στρατονίκης. Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής μελέτης όπως και οι ακριβείς θέσεις δειγματοληψίας, τα όρια των οικισμών καθώς και το βασικό οδικό δίκτυο της περιοχής απεικονίζονται στον χάρτη της Εικόνας 1.1. Οι ακριβείς θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1 και το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε κατά τη δειγματοληψία αναλύεται στην ενότητα του Παραρτήματος Ι.



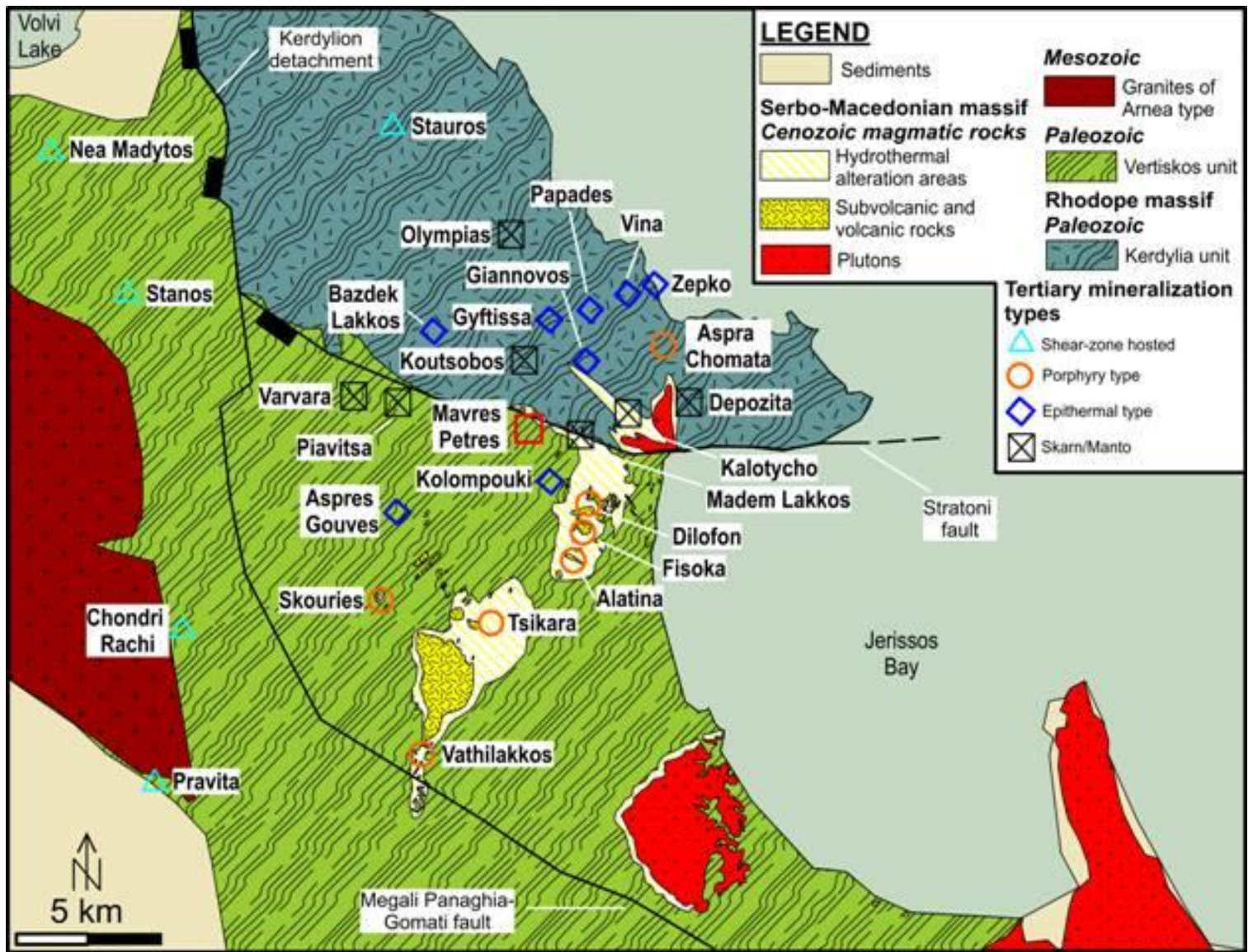
Εικόνα 1.1: Χωροθέτηση περιοχής μελέτης

### 1.3 Γεωλογικά – γεωμορφολογικά – κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά

#### 1.3.1 Γεωλογία – γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

Σύμφωνα με τους Kockel et al. (1977), η Ανατολική πλευρά της χερσονήσου της Χαλκιδικής αποτελεί το ελληνικό τμήμα της Σερβομακεδονικής Μάζας, η οποία εκτείνεται Β-ΒΔ προς Βουλγαρία και την πρώην Γιουγκοσλαβία. Το λιθοστρωματογραφικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από τη σειρά Κερδυλλίων (κατώτερη ενότητα) και τη σειρά Βερτίσκου (ανώτερη ενότητα), οι οποίες έρχονται σε επαφή μέσω του ρήγματος Στρατωνίου - Βαρβάρας. Και στις δύο ενότητες, παρατηρούνται, σε διαφορετικές αναλογίες, διμαρμαρυγικοί και βιοτιτικοί γνεύσιοι και αμφιβολίτες, ενώ μεταμορφωμένα οφιολιθικά πετρώματα συναντώνται μόνο στη σειρά Βερτίσκου και μάρμαρα και πηγματοειδή μόνο στη σειρά των Κερδυλλίων. Πιο συγκεκριμένα, η σειρά Κερδυλλίων αποτελείται από βιοτιτικούς γνεύσιους, βιοτιτικούς-κεροσιλβικούς γνεύσιους με μικροκλινή και πλαγιόκλαστα, μάρμαρα και αμφιβολίτες ενώ η ενότητα Βερτίσκου αποτελείται κυρίως από βιοτιτικούς-μοσχοβιτικούς γνεύσιους (Kalogeropoulos & Economou 1987).

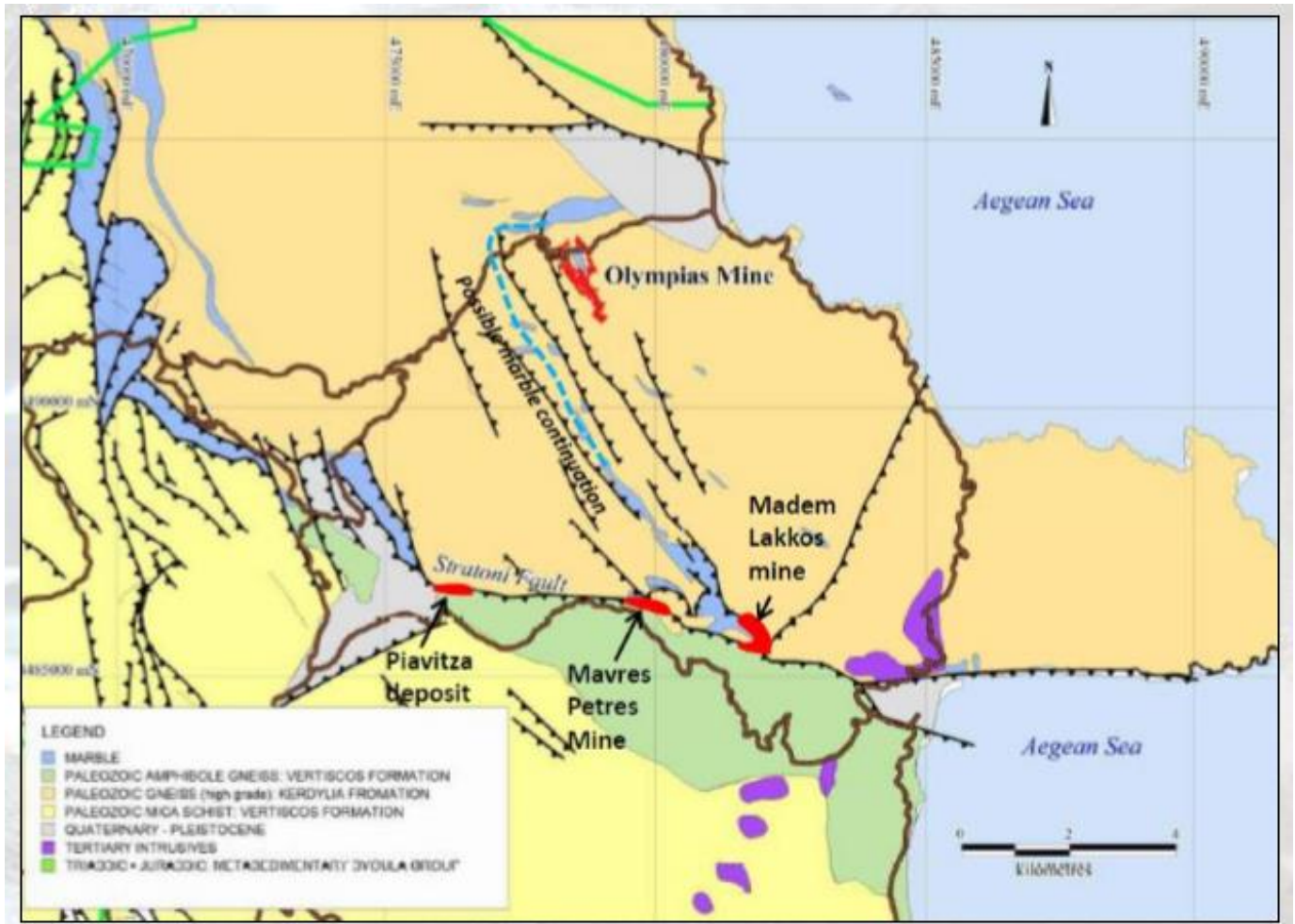
Η χερσόνησος της Χαλκιδικής δομείται στα Ανατολικά από μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας, στο ενδιάμεσο από πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης και στα Δυτικά απ'αυτά της υποζώνης Παιονίας, η οποία αποτελεί τμήμα της Ζώνης Αξιού (ή Αξιού – Βαρδάρη)” (Nimforoulou et al, 2002). Το Δυτικό τμήμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από μικρές κλίσεις και διασχίζεται από αβαθή υδρορέματα, ενώ το ενδιάμεσο και Ανατολικό τμήμα είναι ορεινά με απότομο ανάγλυφο και πυκνό δίκτυο βαθέων κοιλάδων. Το Δυτικό τμήμα της περιοχής, έχει πληρωθεί με χαλαρά ιζήματα του Νεογενούς-Τεταρτογενούς, με μέγιστο πάχος τα 3,5 km και αποτελείται κατά κύριο λόγο από μαργαίικούς ασβεστόλιθους, μάρμες, ερυθρές αργίλους, κροκαλοπαγή, κορήματα και άμμους (Nimforoulou et al, 2002). Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στον χάρτη της Εικόνας 1.2.



Εικόνα 1.1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης (Stergiou, 2016)

### 1.3.2 Κοιτασματολογία περιοχής

Οι σημαντικότερες μεταλλοφορίες της περιοχής, αναπαριστώνται στον χάρτη της Εικόνας 1.3.



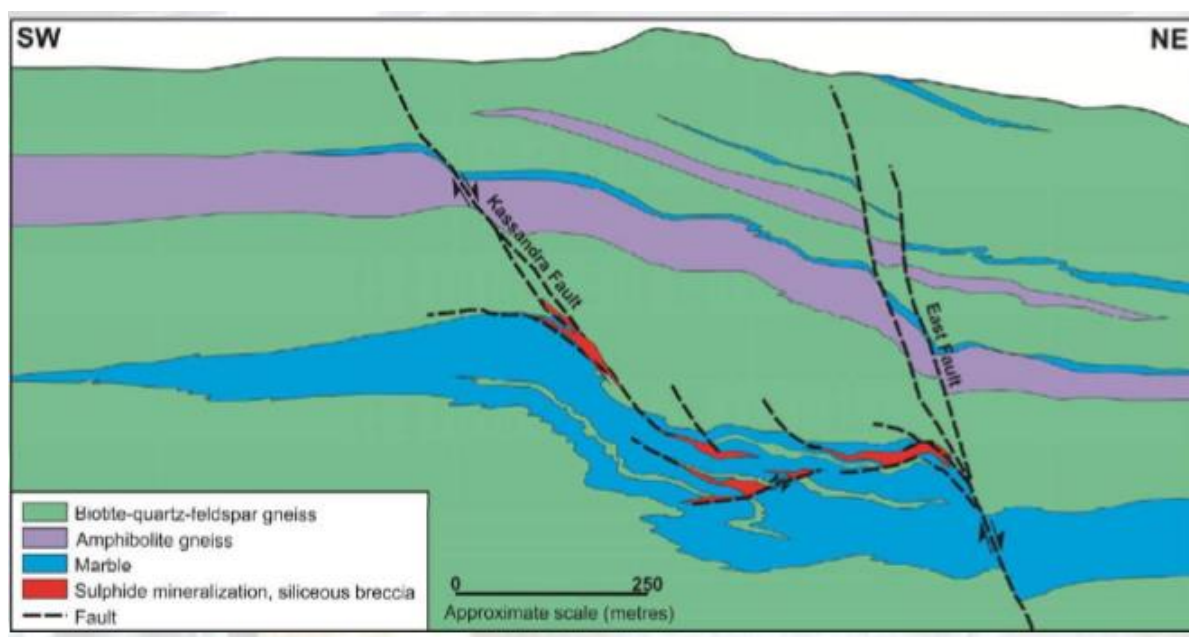
Εικόνα 1.2: Χάρτης σημαντικότερων μεταλλοφοριών και εγκαταστάσεων (πηγή: Hellas Gold)

#### 1.3.2.1 Ολυμπιάδα

Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας, ανήκει στην κατηγορία «Μεταλλευμάτων υψηλών θερμοκρασιών από αντικατάσταση σε ανθρακικά πετρώματα» (θερμοκρασία μεγαλύτερη των 200°C) ή Leadville – Type Mineralization (LTM) (Russell & Skouli, 1991; Hutchnson, 1996). Πρόκειται για πολυμεταλλική μεταλλοφορία μολύβδου-ψευδαργύρου (Pb-Zn) και βρίσκεται (όπως παρουσιάζεται στον χάρτη της Εικόνας 1.3) Δυτικά του οικισμού της Ολυμπιάδας.



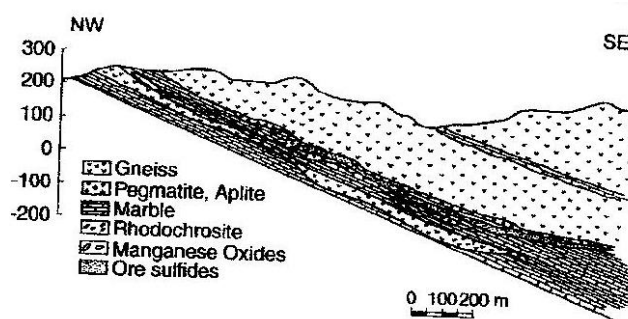
Οι συμπαγείς θειούχες μεταλλοφορίες απο αντικατάσταση σε ανθρακικά προκύπτουν απο τη διείδυση ενδιάμεσων έως όξινων μαγματικών σωμάτων σε ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια και νησιωτικά τόξα υπεράνω ζωνών υποβύθισης. Τα μάγματα που οδηγούν στο σχηματισμό των μεταλλοφοριών αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται απο υψηλές σκεντρώσεις πτητικών συστατικών, σε αντίθεση με βασικά και υπερβασικά μάγματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως άνυδρα – ξηρά. Τα υδροθερμικά ρευστά που συγκεντρώνονται λόγω απόμειξης με πτώση της πίεσης (άνοδος μάγματος σε περιοχές μικρότερης πίεσης στο φλοιό), κινούνται κατά κανόνα κατά μήκος ασυνεχειών και διαρρήξεων και προκαλούν αρχικά διαλυτοποίηση των προϋπάρχοντων ανθρακικών ορυκτών και στη συνέχεια απόθεση μεταλλικών φάσεων και σύνδρομων ορυκτών. Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας (Εικόνα 1.4) αναπτύσσεται μεταξύ του Ανατολικού ρήγματος και του ρήγματος της Κασσάνδρας και χωρίζεται χονδρικά σε δύο σώματα, το ανατολικό και το δυτικό.



Εικόνα 1.3: Σχηματική παρουσίαση κοιτάσματος Ολυμπιάδας, (Era – Marpek, 1998)

Το εν λόγω κοίτασμα, ανακαλύφθηκε το 1969 αν και όπως προκύπτει απο ιστορικές πηγές, υπήρχε εκτεταμένη μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή ήδη από την αρχαιότητα. Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας όπως και του Μάντεμ-Λάκκου θεωρούνται απο τα σημαντικότερα κοιτάσματα Pb-Zn της Ελλάδας έως και σήμερα. Και τα δύο κοιτάσματα εμφανίζονται ως φακοειδή σώματα εντός των οριζόντων μαρμάρου και γνεύσιου του ανώτερου σχηματισμού των Κερδυλλίων και έχουν αντίστοιχη λιθολογία. Η μεταλλοφορία δεν εμφανίζεται στην επιφάνεια και αναπτύσσεται γενικά σε στρωματέγκλειστη μορφή (manto), εκτείνεται με διεύθυνση ΒΒΔ για πάνω από 1,5 χλμ, παρουσιάζει βύθιση 30 - 35 °

ΝΔ, και έχει μέσο πάχος 12 μέτρα (Kilias et al, 1996; Kalogeropoulos et al, 1989). Το κοίτασμα αναπτύσσεται εντός του κατώτερου στρώματος του μαρμάρου κατά την επαφή του με τον βιοτιτικό γνεύσιο (Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5: Γεωλογική τομή του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας, (Nicolau & Kokonis, 1980)

Το μέταλλευμα της Ολυμπιάδας αποτελείται κυρίως από “γαληνίτη, σφαλερίτη, σιδηροπυρίτη και αρσеноπυρίτη (στο πλέγμα του φιλοξενείται Au ως υποκαταστάτης) ενώ σε μικρότερα ποσά εμφανίζονται χαλκοπυρίτης, τετραεδρίτης, βουλανζερίτης, μαρκασίτης, μαγνητοπυρίτης, αυτοφυής χρυσός κ.α. (Kilias S.P. et al, 1996). Τα κύρια σύνδρομα ορυκτά είναι ασβεσίτης, χαλαζίας, άστριοι, σιδηρίτης, καολινίτης και τα δευτερογενή κερουσίτης, ανγκλεσίτης, χαλκοσίνης και κοβελλίνης” (Kilias S.P. et al, 1996; Kalogeropoulos et al, 1989).

Τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα, όπως και αυτό της Ολυμπιάδας, αποτελούν σημαντική πηγή χαλκού (Cu), μολύβδου (Pb), ψευδαργύρου (Zn) καθώς και χρυσού (Au), αργύρου (Ag). Πιο συγκεκριμένα στο κοίτασμα της Ολυμπιάδας εμφανίζεται χρυσός (Au) ο οποίος φιλοξενείται στο πλέγμα του αρσеноπυρίτη και των αρσενούχων πυριτών ενώ ελάχιστος μπορεί να βρεθεί και σε ελεύθερη μορφή (αυτοφυής). Επιπλέον, εντοπίζεται άργυρος (Ag) στην κρυσταλλική δομή του γαληνίτη και ψευδάργυρος (Zn) ο οποίος σχετίζεται με την παρουσία σφαλερίτη.

Τα σημερινά επιβεβαιωμένα μεταλλευτικά αποθέματα του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας υπολογίζονται σε 11,5 Mt, ενώ τα βέβαια αποθέματα είναι 7,5 Mt, με περιεκτικότητα σε Au 9 g/tn, Pb και Zn 8% και σε Ag 130 g/tn. Στον Πίνακα 1.2, παρουσιάζονται στοιχεία για τα αποθέματα σε χρυσό (Au), άργυρο (Ag), μόλυβδο (Pb) και ψευδάργυρο (Zn) καθώς και τη διάρκεια ζωής του μεταλλείου και την παραγωγή χρυσού, που αποτελεί το κύριο προϊόν, κατά τα έτη 2014 και 2015. Σημειώνεται ότι σε συγκεκριμένες θέσεις η περιεκτικότητα σε Au είναι μεγαλύτερη των 60 g/tn.

Ολυμπιάδα					
Au		Ag		Pb	Zn
Διάρκεια Ζωής	Παραγωγή χρυσού 2015 (x1000 gr)	Παραγωγή χρυσού 2014 (x1000 gr)	Αποθέματα (x1000 gr)	Αποθέματα (x1000 gr)	Αποθέματα (x1000 gr)
25 χρόνια	464,83	502,84	1.880	19.647	26.110

Πίνακας 1.2: Αποθέματα και παραγωγή χρυσού για το κοιτάσμα της Ολυμπιάδας (Eldorado Gold Corporation, 2015)

### 1.3.2.2 Έργο Στρατώνι

Το «Έργο Στρατώνι» περιλαμβάνει δύο μεταλλοφορίες: το Μάντεμ Λάκκο και τις Μαύρες Πέτρες και βρίσκεται περίπου εκατό χιλιόμετρα από τη Θεσσαλονίκη και περίπου 3,5 χιλιόμετρα Δυτικά-Βορειοδυτικά του λιμανιού του Στρατωνίου – γεγονός που συνετέλεσε στην ανάπτυξη της μεταλλευτικής δραστηριότητας καθώς η φόρτωση και μετακίνηση των προϊόντων ήταν απλούστερη. Τα κοιτάσματα του Μαντέμ Λάκκου και των Μαύρων Πετρών χαρακτηρίζονται ως πολυμεταλλικές μεταλλοφορίες από αντικατάσταση και ελέγχονται από την ζώνη ρηγμάτων Βαρβάρας – Στρατωνίου (Nebel et al. 1991). Σε γενικές γραμμές, τα ορυκτά που συνιστούν κατά κύριο λόγο και τα δύο κοιτάσματα είναι σιδηροπυρίτης, ο σφαλερίτης, ο γαληνίτης (με κυμαινόμενη περιεκτικότητα σε άργυρο), ο αρσеноπυρίτης και ο χαλκοπυρίτης. Τα ορυκτά τα οποία, διαχρονικά, εξορύσσονταν ως επί το πλείστον είναι ο σφαλερίτης, σιδηροπυρίτης και γαληνίτης. Στον Πίνακα 1.3 που ακολουθεί, παρουσιάζεται ενδεικτικά η παραγωγή Ag, Pb και Zn για τα έτη 2014 και 2016.

Έργο Στρατώνι				
Έτος	Επεξεργασμένο μετάλλευμα (tn)	Ag (g/tn)	Pb (%)	Zn (%)
2014	219.861	178	5,9	10,5
2016 (Πρόβλεψη)	220.000	163	6,2	10

Πίνακας 1.3: Παραγωγή Ag, Pb και Zn για το έργο Στρατώνι για τα έτη 2014 και 2016 (Eldorado Gold Corporation, 2015)

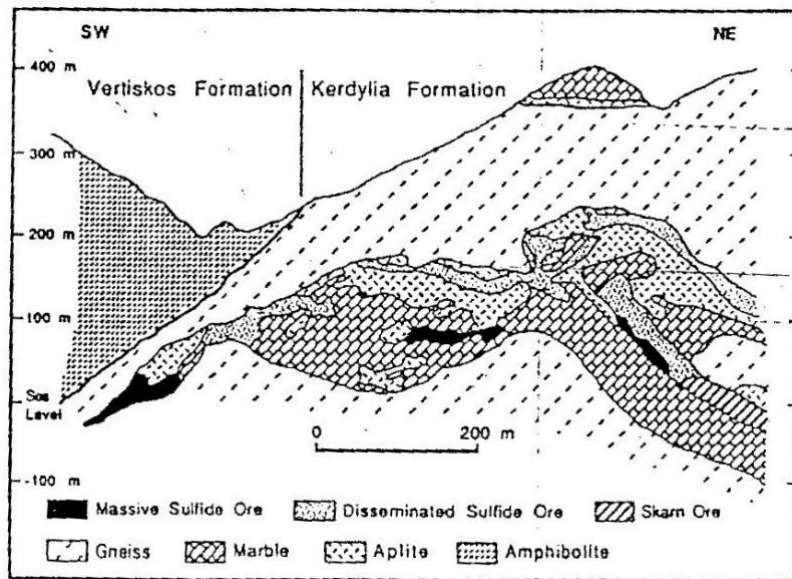
#### 1.3.2.2.1 Μαύρες Πέτρες

Το κοίτασμα των Μαύρων Πετρών εκτείνεται στην ευρύτερη περιοχή της Στρατονίκης έχει σημερινά βεβαιωμένα μεταλλευτικά αποθέματα 1,64 Mt και με περιεκτικότητα 10,2% σε ψευδάργυρο, 6,2% σε μόλυβδο και 164 g/tn σε άργυρο. Το κοίτασμα είναι στρωματέγκλειστης μορφής και εμφανίζεται εντός του μαρμάρου και του αμφιβολίτη και συνίσταται κυρίως από σιδηροπυρίτη, γαληνίτη σφαλερίτη, χαλκοπυρίτη και αρσеноπυρίτη.

Το 2003 σταματά η λειτουργία του μεταλλείου των Μαύρων Πετρών ενώ από το 2005 ξεκινά εκ νέου η λειτουργία του μεταλλείου η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Κατά την περίοδο 2006 - 2013, έχει υπολογιστεί ότι δαπανήθηκαν συνολικά περίπου 50 εκατομμύρια ευρώ σε μια προσπάθεια αναβάθμισης του μεταλλείου. Σύμφωνα με τον Σύνδεσμο Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, η παραγωγή μικτών θειούχων πραγματοποιείται από το μεταλλείο των Μαύρων Πετρών. Η εξόρυξη μεταλλεύματος, το 2013 ανήλθε σε 230.000 tn περίπου. Και με τη διαδικασία του εμπλουτισμού, παρήχθησαν 42.000 tn συμπυκνώματος ψευδάργυρου και 18.000 tn συμπυκνώματος μολύβδου με περιεκτικότητα  $28,35 \times 10^6$  gr σε άργυρο. Ο κύκλος εργασιών από τα συμπυκνώματα σφαλερίτη και γαληνίτη, υπερβαίνει τα 57 εκ. ευρώ για το 2013. Η παραγωγή μικτών θειούχων το 2014 ανήλθε σε: 45.000 tn συμπύκνωμα ψευδαργύρου και 17.000 tn συμπύκνωμα μολύβδου, (με συνολικό περιεχόμενο σε Ag  $22,68 \times 10^6$  gr) με πρώτη ύλη από το εργοτάξιο των Μαύρων Πετρών". Η εξόρυξη μεταλλεύματος το 2015, ανήλθε σε 161.048 tn μικτών θειούχων. Από αυτήν την πρώτη ύλη παράχθηκαν περίπου 35000 tn συμπυκνώματος ψευδαργύρου, 14.500 tn συμπυκνώματος αργυρούχου μολύβδου και 45.400 τον. πυρίτη. (Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, Γαληνίτης).

#### 1.3.2.2.2 Μαντέμ Λάκκος

Το κοίτασμα του Μαντέμ Λάκκου βρίσκεται 5 χιλιόμετρα Δυτικά του οικισμού του Στρατωνίου. Το μετάλλευμα αναπτύσσεται μεταξύ μιας ένστρωσης μαρμάρου και των γνευσίων-σχιστολίθων της σειράς Κερδυλλίων σε αντικλινική μορφή, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση ΒΑ όπως παρουσιάζεται στον γεωλογικό χάρτη της Εικόνας 1.6.



Εικόνα 1.4: Γεωλογική τομή του κοιτάσματος Μαντέμ Λάκκου (Nebel et al, 1991)

Το μέταλλευμα εμφανίζεται με τρεις διαφορετικούς τύπους: συμπαγής θειούχος μεταλλοφορία (massive sulfide ore), διάσπαρτη θειούχος μεταλλοφορία (disseminated sulfide ore) και μεταλλοφορία τύπου skarn (Εικόνα 1.6). Ο πιο συνηθής τύπος είναι ο δεύτερος και αποτελείται κυρίως από σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, τενναντίνη, χαλκοπυρίτη, αρσеноπυρίτη, γαληνίτη, σελλιγμανίτη, βουλανζερίτη και σε μικρότερες συγκεντρώσεις διάφορα θειούχα ορυκτά και θειοάλατα. Σύνδρομες φάσεις είναι ο χαλαζίας, ο σερικήτης και ανθρακικά Mn. Ο χρυσός εντοπίζεται κυρίως στον σιδηροπυρίτη ενώ έχει παρατηρηθεί αύξηση της περιεκτικότητάς του με αύξηση συμμετοχής του αρσеноπυρίτη στο μέταλλευμα (Nebel et al., 1991).

Η εκμετάλλευση στο μεταλλείο του Μαντέμ Λάκκου σταμάτησε το 2002, ενώ από το 2006 έως και σήμερα γίνονται εργασίες για την λιθογόμωση, δηλαδή την επαναπλήρωση όλων των παλαιών στοών και εκμεταλλεύσεων, με στόχο το πλήρες κλείσιμο του μεταλλείου και την επαναφορά του υδροφόρου ορίζοντα (Eldorado Gold Corporation, 2015).

### 1.3.3 Κλιματολογικά – Μετεωρολογικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ως μεταβατικό μεταξύ του ηπειρωτικού κλίματος της κεντρικής Ευρώπης και του μεσογειακού κλίματος. Για την

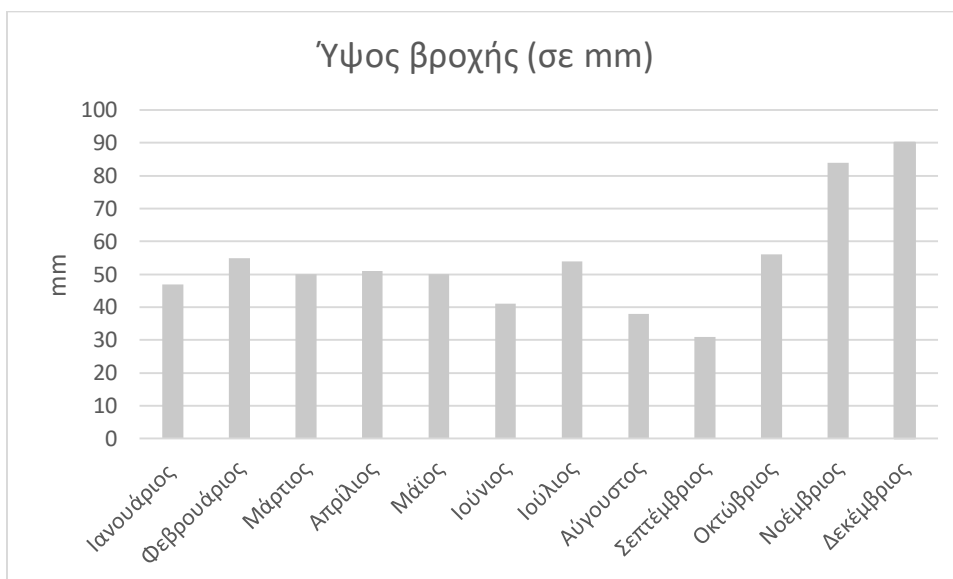
εκτίμηση των κλιματολογικών χαρακτηριστικών, χρησιμοποιούνται στοιχεία που έχουν αντληθεί από τον μετεωρολογικό σταθμό της Αρναίας (Καταφιώτη, 2008).

Περίοδος 1978-2001	Μέσες μηνιαίες τιμές βασικών κλιματολογικών χαρακτηριστικών			
Μήνας	Θερμοκρασία (°C)	Ύψος βροχής (mm)	Σχετική Υγρασία Αέρος (%)	Εξάτμιση (mm)
Ιανουάριος	2,6	47	85	21
Φεβρουάριος	3,4	55	83	21
Μάρτιος	6,5	50	80	34
Απρίλιος	11	51	73	51
Μάϊος	16,2	50	71	59
Ιούνιος	20,9	41	66	76
Ιούλιος	22,9	54	65	84
Αύγουστος	22,3	38	67	80
Σεπτέμβριος	18,6	31	72	61
Οκτώβριος	13,3	56	80	40
Νοέμβριος	7,6	84	85	20
Δεκέμβριος	4,7	90	86	23
<b>Μέση (Ολική)</b>	<b>12,5</b>	<b>649</b>	<b>76</b>	<b>568</b>

Πίνακας 1.3: Μετεωρολογικά δεδομένα σταθμού Αρναίας Περίοδος 1978-2001 (πηγή: Δασαρχείο Αρναίας 2006)

Η θερμοκρασία στην περιοχή της Χαλκιδικής κυμαίνεται από 2,6 μέχρι 22,3 °C με την χαμηλότερη να σημειώνεται κατά το μήνα Ιανουάριο και την υψηλότερη κατά τον Ιούλιο.

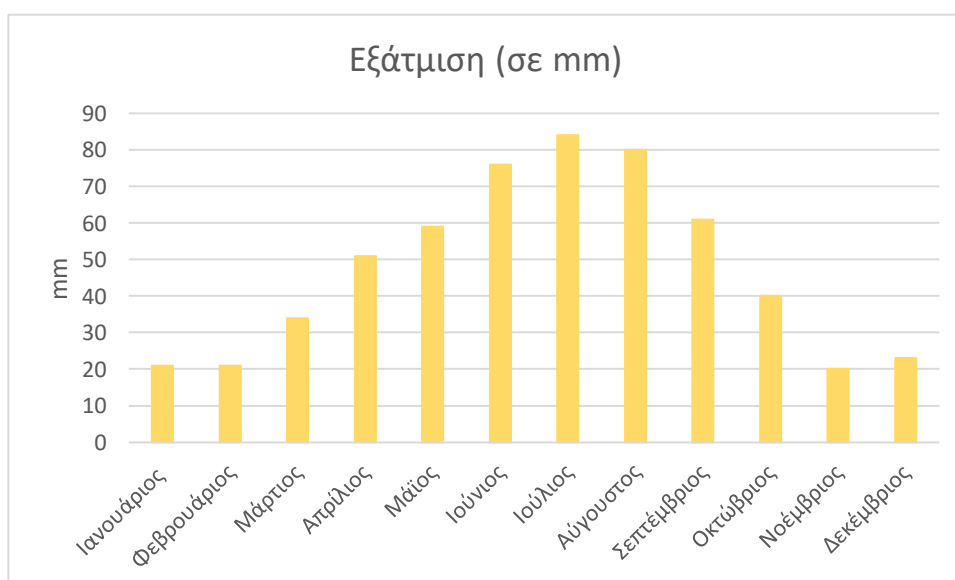
Στο διάγραμμα της Εικόνας 1.7, παρουσιάζεται το μέσο ύψος βροχής ανά μήνα. Κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο, όπου και παρατηρείται το υψηλότερο μέσο ύψος βροχής, οι τιμές είναι 84 και 90 mm αντίστοιχα. Αντίθετα τον μήνα Σεπτέμβριο, παρατηρείται διαχρονικά η χαμηλότερη τιμή ύψους βροχής (31 mm). Σε γενικές γραμμές στην περιοχή παρατηρούνται υψηλές βροχοπτώσεις σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ελλάδα.



**Εικόνα 1.7: Μέσο ύψος βροχής κατά τη διάρκεια του έτους για την περίοδο 1978-2001, Δασαρχείο Αρναίας 2006**

Όσον αφορά στις τιμές της σχετικής υγρασίας αέρα, παρατηρούμε ότι οι ελάχιστες τιμές σημειώνονται κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο ενώ οι υψηλότερες τον Δεκέμβριο.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 1.8, αναπαριστάται η μέση τιμή της εξάτμισης (σε mm) κατά μήνα. Όπως είναι λογικό, οι μεγαλύτερες τιμές εξάτμισης συναντώνται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και πιο συγκεκριμένα τον μήνα Ιούλιο ενώ αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εξάτμισης παρατηρούνται του μήνες με υψηλή βροχοπτώση και πιο συγκεκριμένα τον Νοέμβριο.



**Εικόνα 1.8: Μέση τιμή εξάτμισης κατά τη διάρκεια του έτους για την περίοδο 1978-2001, Δασαρχείο Αρναίας 2006**

#### 1.3.4 Μεταλλευτική δραστηριότητα & περιβαλλοντική επιβάρυνση

Το ΒΑ τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής, αποτελεί το δεύτερο σε μέγεθος και σε έκταση μεταλλευτικό κέντρο στον ελλαδικό χώρο μετά το Λαύριο. Γεγονός είναι ότι λόγω της παρουσίας σημαντικού αριθμού μεταλλοφόρων εμφανίσεων στην έκταση της αλλά και της μεταλλευτικής δραστηριότητας η οποία λάμβανε χώρα στην περιοχή ήδη από την αρχαιότητα, είναι λογικό η περιοχή αυτή να θεωρείται πιο “επιβαρυσμένη” σε σχέση με άλλες περιοχές στις οποίες δεν υπήρχε η ίδια ανθρωπογενής παρέμβαση αλλά και οι μεταλλοφορίες. Τα μεταλλεύματα είναι πλούσια σε άργυρο, χρυσό, μόλυβδο και χαλκό. Ο χρυσός εντοπίζεται μέσα στα μικτά θειούχα μεταλλεύματα, σε μεταλλεύματα μαγγανίου και σε χαλαζιακές φλέβες με αρσеноπυρίτη και σε μεταλλεύματα χαλκού. Ο άργυρος εντοπίζεται μέσα στο μέταλλευμα μολύβδου και θειοαλάτων. Σημαντικό ρόλο θα πρέπει να έπαιξε στο παρελθόν και η εκμετάλλευση προσχωματικού χρυσού από χειμάρρους και ποταμούς της Χαλκιδικής όπως οι Χαβριάς, Κοκκινόλλακας και Ασπρόλακκας (Vavelidis et al., 1983, Wagner et al., 1986, Vavelidis, 1989).

Επιπλέον, στην περιοχή, απαντώνται υπολείμματα εκκαμινεύσεων (σωροί σκωριών), που προέρχονται από την αξιοποίηση και επεξεργασία των χρυσοφόρων μαγγανιούχων και μικτών θειούχων της περιοχής. Με βάση τις ιστορικές πηγές και τα αποτελέσματα άμεσων και έμμεσων αναλύσεων και προσδιορισμών, που έχουν γίνει στις παραπάνω σκωρίες, η έναρξη των δραστηριοτήτων εντοπίζεται στις αρχές της κλασικής αρχαιότητας (Καταφιώτη, 2008). Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, οι σωροί μεταλλουργικών σκωριών και τα υπολείμματα των εγκαταστάσεων στην ΒΑ Χαλκιδική, βρίσκονται όλοι πολύ κοντά σε κεντρικά ρέματα ή σε μικρότερα ρέματα με συνεχή ροή, για να υπάρχει άμεση πρόσβαση σε νερό καθώς και σε πρηνή με κλίση για καλό αερισμό της καμίνου (Βαβελίδης, & Μέλφος, 2012). Βάσει των μεταλλουργικών διεργασιών που λάμβαναν χώρα, ως χρήσιμο μέταλλο θεωρούσαν αυτό το οποίο παραγόταν στην κάμινο ενώ τις ανεπιθύμητες σκωρίες που παράγονταν από την εκκαμίνευση την εναπόθεταν έξω από τις καμίνους. Η πρακτική αυτή είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία σωρών από σκωρίες έξω από τις καμίνους. Μέχρι και σήμερα, ακόμα και μετά την επανεκμετάλλευση μεγάλου μέρους των σκωριών και την χρήση τους για κάλυψη αναγκών όπως την κατασκευή οδικού δικτύου, ένα πολύ μεγάλο μέρος μεταλλευτικών σκωριών βρίσκεται στην περιοχή. Υπολογίζεται δε, ότι πριν από την επανεκμετάλλευση μέρους των σκωριών, η ποσότητα τους θα αντιστοιχούσε σε 150.000 tn μολύβδου και 300 tn αργύρου.



Στερεά απόβλητα που περιλαμβάνουν απορρίμματα επίπλευσης, μεταλλουργικές σκωρίες, στείρα και σωρούς συμπυκνωμάτων, εναποτίθενται μέχρι και πρόσφατα σε μη ειδικά διαμορφωμένους χώρους της περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η απόρριψη των παραγόμενων στείρων είτε στην παρακείμενη παραθαλάσσια περιοχή, είτε στην περιοχή του ρήγματος Στρατωνίου-Βαρβάρας απ' όπου διέρχονται και πολλά ρέματα της περιοχής επί λειτουργίας Α.Ε.Ε.Χ.Π.&Λ. και TVX.

### 1.3.5 Μελέτες για τον προσδιορισμό του γεωχημικού υποβάθρου της περιοχής

Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι για την συγγραφή της εργασίας, συγκεντρώθηκε βιβλιογραφία με τα αποτελέσματα από μελετών που έχουν ολοκληρωθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος κυρίως σε ιζήματα αλλά και σε εδάφη. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν μετρήσεις συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων σε ιζήματα των υδρολογικών λεκανών Κερασιάς και Πιάβιτσας (E.Kelepertzis et al, 2006) , σε δείγματα επιφανειακών νερών και ιζημάτων στην υδρολογική λεκάνη του Ασπρόλακκα (E.Kelepertzis et al., 2012) και σε δείγματα εδάφους της αλλουβιακής λεκάνης του ρέματος της Καρβουνόσκαλας (Νικολάου, 2007) και της ευρύτερης περιοχής του Στρατωνίου (Kelepertzis et al., 2006).

Όσον αφορά στη μελέτη των ιζημάτων ρεμάτων, η ερευνητική ομάδα των E.Kelepertzis, A.Argyraki, E.I.Daftsis και D.Ballas πραγματοποίησε έρευνα (Γεωχημικό ανάγλυφο βαρέων μετάλλων σε ιζήματα ρεμάτων μεταλλοφόρων περιοχών της ΒΑ Χαλκιδικής) σχετικά με τον προσδιορισμό του γεωχημικού υποβάθρου των ιζημάτων ρεμάτων της ΒΑ Χαλκιδικής. Στόχος της έρευνας αυτής, ήταν ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας βαρέων μετάλλων σε ιζήματα ρεμάτων από τις υδρολογικές λεκάνες Κερασιάς και Πιάβιτσας πριν την έναρξη οποιονδήποτε νέων μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Ελέγχθηκαν 14 δείγματα ιζήματος ρέματος για τα στοιχεία Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr, Co, As, Sb, Cd και Fe. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πλειονότητα των ρεμάτων παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις για Zn, Mn, As και Sb ενώ ορισμένες θέσεις δειγματοληψίας έδειξαν επιπρόσθετα υψηλές περιεκτικότητες Pb και Cd. Οι περιεκτικότητες Cu, Co, Cr και Ni βρίσκονται κάτω των ορίων για την περιοχή του Στρατωνίου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων Pb, Zn, Mn, As, Cd και Sb οφείλονται στην εμφάνισή τους σε μεγάλες περιεκτικότητες σε θειούχα μεταλλεύματα που βρίσκονται στην περιοχή. Επιπλέον, η υψηλή συγκέντρωση σε Ni και Cd οφείλεται στην εμφάνισή τους στα αμφιβολιτικά μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής και τέλος η υψηλή συγκέντρωση σε Cu μπορεί να συσχετιστεί με την μεταλλοφορία πορφυριτικού χαλκού των Σκουριών (Kelepertzis, et al, 2010).

Στην λεκάνη συλλέχθηκαν συνολικά 76 δείγματα από τα οποία τα 19 ήταν ιζημάτων και τα υπόλοιπα επιφανειακών νερών. Στην λεκάνη του Ασπρόλακκα παρατηρείται μια μείωση συγκεντρώσεων των στοιχείων από τον Κοκκινόλακκα προς το ρέμα της Κερασίας (E. Kelepertzis et al ,2012). Η αυξημένες συγκεντρώσεις του Κοκκινόλακκα πιθανώς οφείλονται στην ύπαρξη των μεταλλείων Μαντεμ Λάκκος και Μαύρες Πέτρες. Το ρέμα της Κερασίας εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις σε Pb και As σε αντίθεση με τον Κοκκινόλακκα που εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις σε Ca, Mg και SO<sub>4</sub>, και κατιόντα, όπως Pb, Zn, Mn, Ni, Cd, As και Sb. Στα ιζήματα, προσδιορίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις Pb, Zn, As, Sb, Cd και Mn.

Όσον αφορά στα ύδατα της περιοχής του Στρατωνίου, σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει στην περιοχή, προκύπτει ότι οι παλαιές και σύγχρονες μεταλλευτικές δραστηριότητες καθώς και οι φυσικές διαδικασίες αποσάθρωσης των μεταλλευμάτων έχουν προκαλέσει την υποβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής του Στρατωνίου (Παπακωνσταντίνου, 1996; Letient, 1996; Veranis & Meladiotis, 2002). Πιο συγκεκριμένα, στα επιφανειακά νερά του Στρατωνίου υπάρχουν ενδείξεις ρύπανσης όσον αφορά στο Zn, Mn και Cd.

Όσον αφορά στα ύδατα της περιοχής της Ολυμπιάδας και πιο συγκεκριμένα για την υδρολογική λεκάνη Μπασδέκη – Μπαξίνα, προκύπτει πως ανάντη των μεταλλευτικών έργων η ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών είναι καλής ποιότητας και πληροί τις προδιαγραφές του πόσιμου νερού (Παπακωνσταντίνου et al., 1996). Σημειώνεται ότι η παρουσία του As αποδίδεται σε γηγενή ρύπανση και στις διάσπαρτες παλαιές εκκαμινεύσεις. Για την υπολεκάνη Μαυρόλακκα, τα νερά είναι κυρίως υποβαθμισμένα με τα στοιχεία As, Mn, Pb και Zn ενώ δείγματα από ιδιωτικές γεωτρήσεις στον κάτω ρου του Μαυρόλακκα περιέχουν σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις As, Pb και Zn, οι οποίες όμως βρίσκονται κάτω από τα ανώτατα αποδεκτά όρια που ορίζει η νομοθεσία (Οδηγία 98/83/ΕΚ). Στο ρέμα Κηπουρίστρα, τα επιφανειακά νερά έχουν μολυνθεί από As, Mn και Pb που υπερβαίνουν τα ανώτατα όρια. Η ρύπανση σε As αποδίδεται σε παλαιές εκκαμινεύσεις που είναι διάσπαρτες κατά μήκος της κοίτης του (Παπακωνσταντίνου et al., 1996).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Δειγματοληψία

Η συλλογή των δειγμάτων έλαβε χώρα την περίοδο από τις 5/4/2016 έως τις 22/4/2016. Στην ομάδα συλλογής δειγμάτων συμμετείχαν οι Ν. Πασιόπουλος (ΕΚΠΑ), Α. Γιούρη (ΑΠΘ), Χ. Στεργίου (ΑΠΘ), Α. Καρέτου (ΑΠΘ) υπό την καθοδήγηση και περιοδική επίβλεψη των Α. Αργυράκη (ΕΚΠΑ), Ε. Κελεπερτζή (ΕΚΠΑ), Ν. Καντηράνη (ΑΠΘ) και Μ. Βαβελίδη (ΑΠΘ). Για τη διαδικασία της δειγματοληψίας τηρήθηκε το πρωτόκολλο που παρουσιάζεται λεπτομερώς στην ενότητα του Παραρτήματος Ι.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μελέτη επικεντρώνεται σε τρεις περιοχές σχετιζόμενες με τις εγκαταστάσεις της Ολυμπιάδας, του Μαντέμ Λάκκου και του Στρατωνίου. Η αποτύπωση των περιοχών σε χάρτες, έγινε με βάση τη δορυφορική εικόνα από Google Earth και ηλεκτρονικούς χάρτες υποβάθρου σε περιβάλλον ArcMap GIS, οι οποίοι διατέθηκαν από το αρχείο της εταιρίας «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.». Ο χάρτης της Εικόνας 2.1 αποτυπώνει την περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα, τα σημεία δειγματοληψίας ενεργού ιζήματος ρέματος καθώς και το σημείο δειγματοληψίας νερού ρέματος (ανάντι των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων της Ολυμπιάδας). Σημειώνεται πως τα αποτελέσματα των αναλύσεων των νερών της θέσης OSW1 (Εικ. 2.1) αποτελούν ευγενική παραχώρηση της εταιρίας «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.».

# ΧΑΡΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΝΕΡΩΝ ΡΕΜΑΤΩΝ



Εικόνα 2.1: Χάρτης με τα όρια της περιοχής μελέτης και το σύνολο των σημείων δειγματοληψίας ιζημάτων και νερών ρεμάτων

Στον Πίνακα 2.1 αναφέρονται οι συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας ενεργού ιζήματος στην περιοχή ενδιαφέροντος. Σύμφωνα με τις οδηγίες του Πρωτοκόλλου δειγματοληψίας ενεργού ιζήματος, κάθε δείγμα αποτελείται από σύνθεση υλικού, το οποίο συλλέγεται από 5-10 σημεία κατά μήκος απόστασης 100 – 200 m εντός της ενεργής κοίτης. Η δειγματοληψία διενεργείται πάντα από το κατώτερο σημείο και εξελίσσεται προς τα ανάντη του ρέματος. Στο GPS σημειώνεται η ακριβής θέση του πρώτου και του τελευταίου υποδείγματος. Ο κωδικός SS\_\_ A, αναφέρεται στα δείγματα που έχουν ληφθεί πρώτα και ο κωδικός SS\_\_ B αναφέρεται στα τελευταία δείγματα που ελήφθησαν σε κάθε θέση. Σημειώνεται πως το ρέμα από το οποίο πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία νερών, έχει μόνιμη παροχή όλο το έτος η οποία επηρεάζεται κατά ένα μεγάλο βαθμό απο το ύψος των βροχοπτώσεων στην περιοχή. Το δείγμα με κωδικό OSW01, αναφέρεται στη θέση δειγματοληψίας νερού ρέματος.

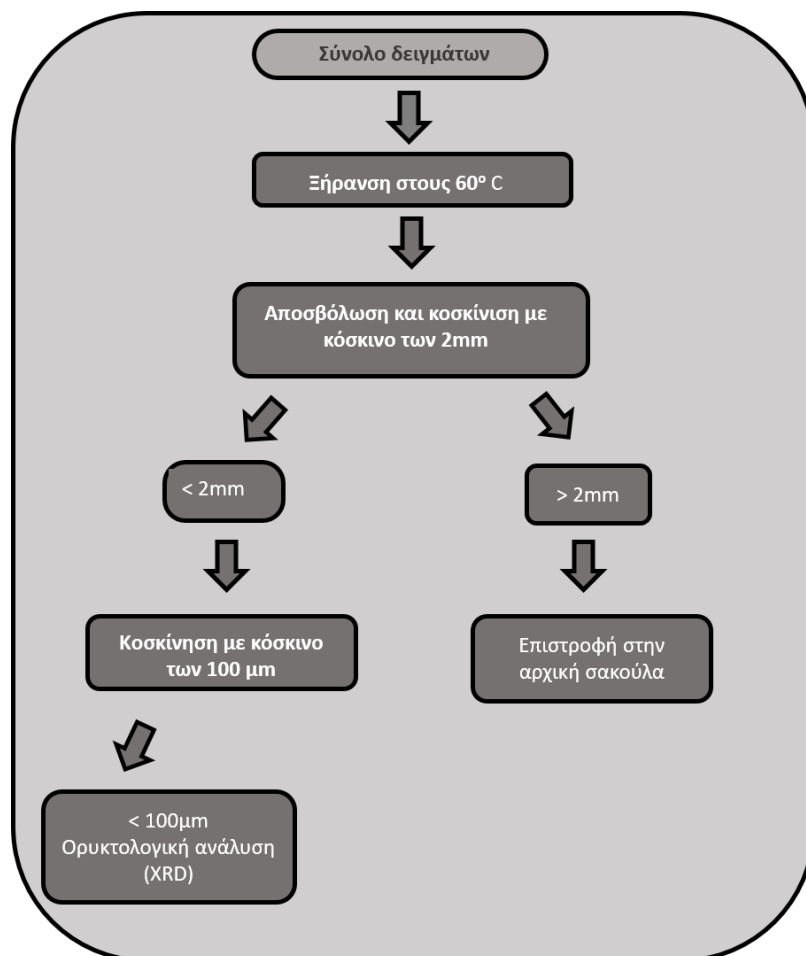
Σταθμός Δειγματοληψίας - Κωδικός Ιζήματος/Νερού	Συντεταγμένες	
	Γεωγραφικό Μήκος (ΕΓΣΑ x (m))	Γεωγραφικό Πλάτος (ΕΓΣΑ y (m))
SS01 A	477258	4495283
SS01 B	477182	4495243
SS02 A	476529	4495373
SS02 B	476417	4495250
SS03 A	476497	4494272
SS03 B	476485	4494252
SS04 A	478625	4489577
SS04 B	478607	4489518
SS05 A	479453	4491259
SS05 B	479411	4491266
SS06 A	479933	4492605
SS06 B	479881	4492546
SS07 A	477827	4492117
SS07 B	477781	4492089
SS08 A	474191	4493874
SS08 B	474194	4493834
SS09 A	476526	4489474
SS09 B	476499	4489474
SS10 A	473286	4492168
SS10 B	473309	4492142
SS11 A	476611	4490584
SS11 B	476596	4490642

SS12 A	479025	4492989
SS12 B	478974	4492984
OSW01	477091	4494985

**Πίνακας 2.1:** Συντεταγμένες θέσεων δειγματοληψίας στην περιοχή ενδιαφέροντος

Μετά τη διαδικασία της δειγματοληψίας, τα δείγματα συσκευάστηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες και στάλθηκαν στο Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας του ΕΚΠΑ για περαιτέρω επεξεργασία.

Η εργαστηριακή επεξεργασία των δειγμάτων ιζημάτων περιελάμβανε ξήρανση στους 60°C, κοσκίνιση καθε δείγματος με κόσκινο των 2mm και περαιτέρω κοσκίνιση του λεπτομερούς κλάσματος με κόσκινο των 100 μm. Στη συνέχεια τα κλάσματα μεταφέρθηκαν στα εργαστήρια του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών όπου ακολούθησε άλεση σε ιγδίο αχάτη για επιπλέον μείωση της κοκκομετρίας. Ακολουθεί ροδόγραμμα (flowchart) με τη διαδικασία επεξεργασίας των δειγμάτων ιζημάτων στο εργαστήριο.



**Εικόνα 2.2:** Ροδόγραμμα προετοιμασίας δειγμάτων για ορυκτολογική ανάλυση με χρήση XRD

## 2.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) στην αναγνώριση ορυκτών φάσεων

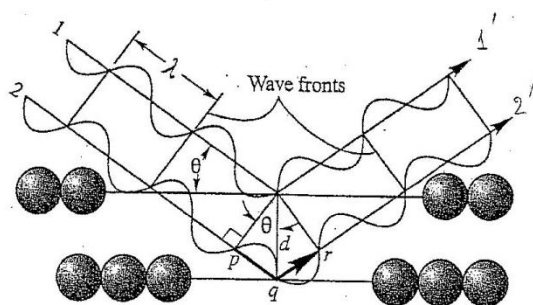
Αρκετές μέθοδοι και τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση και μελέτη των ορυκτών, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και η περιθλασιμετρία ακτίνων X (X-Ray Diffraction). Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για το ποιοτικό προσδιορισμό ορυκτών φάσεων ενός πετρώματος, καθώς επίσης και για το χαρακτηρισμό της κρυσταλλικής δομής αυτών. Η μέθοδος βασίζεται στην περίθλαση των ακτίνων X, δηλαδή στις πολλαπλές ανακλάσεις μεταξύ των ατόμων του δείγματος. Κατά την περιστροφή του δείγματος, για ορισμένες μόνο γωνίες σύμφωνα με τον νόμο του Bragg, οι ακτίνες X ανακλώνται από τα κρυσταλλογραφικά επίπεδα των ορυκτών (Εικ. 2.3). Οι ανακλώμενες ακτίνες προσπίπτουν σε έναν καταγραφέα, ο οποίος αποτυπώνει τις ενισχυθείσες, από συμβολή, ακτίνες ως «μέγιστα» (peaks), σε χαρτί καταγραφής με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαγράμματος με οριζόντιο άξονα τη γωνία  $2\theta$  και κάθετο άξονα την ένταση της ανακλώμενης ακτινοβολίας (Εικ. 2.4).

$$\text{Συνθήκη Bragg: } 2d\mu\theta = n\lambda$$

Όπου:  $d$ : πλεγματική απόσταση

$\theta$ : γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων RX

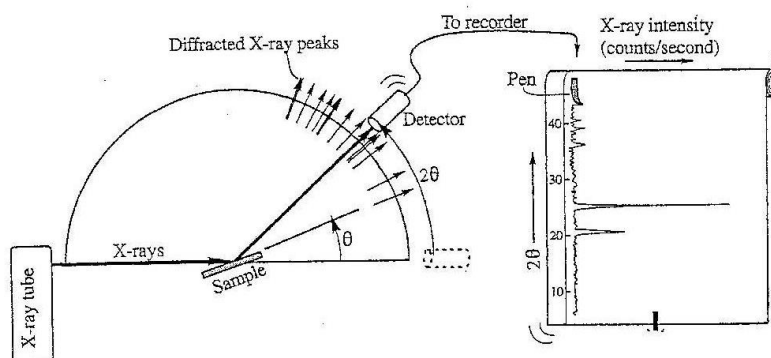
$\lambda$ : μήκος κύματος της ακτινοβολίας RX



Εικόνα 2.3: Περίθλαση ακτίνων RX, (Μανουσάκη-Ορφανουδάκη, 2005)

Το παραγόμενο διάγραμμα (ακτινοδιάγραμμα), παρουσιάζει πολλαπλές κορυφές που αντιστοιχούν σε ανακλάσεις των ακτίνων X στα κρυσταλλογραφικά επίπεδα των ορυκτών του δείγματος. Δεδομένου ότι το δείγμα έχει υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, θα περιέχει χιλιάδες κρυσταλλίδια, από ένα ή περισσότερα ορυκτά, τα οποία είναι τυχαία

προσανατολισμένα. Κατά συνέπεια λαμβάνονται όλες οι δυνατές ανακλάσεις. Κάθε κρυσταλλικό σώμα μπορεί να αναλυθεί με τη μέθοδο XRD, διότι κάθε ορυκτό δίνει ένα διαφορετικό και μοναδικό αποτύπωμα αποτελούμενο από ένα σύνολο ανακλάσεων, το οποίο επιτρέπει την αναγνώριση του (Μανουσάκη Ορφανουδάκη, 2005).



Εικόνα 2.4: Σχηματική παράσταση περιθλασίμετρου, (Μανουσάκη-Ορφανουδάκη, 2005)

Σε γενικές γραμμές, η περιθλασιμετρία ακτίνων X, μπορεί να προσφέρει πολλές σημαντικές πληροφορίες σχετικά με:

- i. Την σύνθεση και το δομικό χαρακτηρισμό ενώσεων, με έμφαση στα υλικά νέων τεχνολογιών
- ii. Την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της περιεκτικότητας του εξεταζόμενου δείγματος
- iii. Την ανάλυση της σύστασης ορυκτών και χημικά επεξεργασμένων ορυκτών προϊόντων
- iv. Την ανάλυση της σύστασης και δομής κεραμικών και άλλων σύνθετων υλικών, κρυσταλλικών και άμορφων, με μεγάλο τεχνολογικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων με περιθλασιμετρία Ακτίνων-X, πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με τη χρήση οργάνου Bruker D8 Focus. Η αποτίμηση των ακτινοδιαγραμμάτων έγινε με τη χρήση λογισμικού EVA 2.2.



## 2.3 Υδρογεωχημικό μοντέλο PHREEQC USGS

### 2.3.1 Γενικά

Το πρόγραμμα PHREEQC έχει σχεδιαστεί από τη Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών με σκοπό την εκτέλεση ποικίλων γεωχημικών υπολογισμών για υδατικά διαλύματα. Είναι ένα ιδιαίτερα διαδεδομένο πρόγραμμα και χρησιμοποιείται εκτεταμένα από τους γεωχημικούς. Είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++ (Parkhurst & Appello, 2013) και βασίζεται στο πρόγραμμα Fortran Phreeqc (Parkhurst et al., 1980).

Το πρόγραμμα PHREEQC περιλαμβάνει σημαντικό αριθμό βάσεων δεδομένων θερμοδυναμικών στοιχείων, οι οποίες είναι αποθηκευμένες σε μορφή text και μπορούν άμεσα να διαβαστούν, να επεκταθούν και να υποστούν κάθε μορφής επεξεργασία από το χρήστη. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί είτε την ισότητα του Davies Debye - Hückel για τη διόρθωση του ιοντικού δυναμικού φορτισμένων (charged) φάσεων είτε το μοντέλο στρωματικής διάχυσης των Dzombak και Morel (Dzombak and Morel diffuse layer model, Dzombak & Morel, 1990) που βρίσκει εφαρμογή στο μοντέλο επιφανειακής συμπλοκοποίησης.

Το PHREEQC-3 αποτελεί την επόμενη έκδοση του PHREEQC-2, δημιουργήθηκε το 2013 (Parkhurst & Appello, 2013) και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση χημικών αντιδράσεων και διεργασιών μεταφοράς σε φυσικά και ρυπασμένα υδατικά συστήματα. Το πρόγραμμα βασίζεται στη χημική ισορροπία των υδατικών διαλυμάτων που αλληλεπιδρούν με ορυκτά, αέρια, στερεά διαλύματα και επιφάνειες ιοντοανταλλαγής και ρόφησης/προσρόφησης. Η εκτεταμένη βάση δεδομένων του PHREEQC-3 επιτρέπει την εφαρμογή των δυνατοτήτων του προγράμματος στην πλειονότητα των χημικών αντιδράσεων, οι οποίες είναι δυνατόν να επηρεάσουν την ποιότητα υψηλής αλατότητας νερών και βρίσκονται πέρα από το όριο της θεωρίας Debye – Hückel (Parkhurst & Appello, 2013).

### 2.3.2 Δυνατότητες προγράμματος PHREEQC

Το πρόγραμμα PHREEQC περιλαμβάνει τις εξής δυνατότητες:

- Μοντελοποίηση με χρήση θερμοδυναμικών δεδομένων που καθορίζονται πλήρως από το χρήστη.

- Εφαρμογή του ως πρόγραμμα καθορισμού φάσεων για τον υπολογισμό δεικτών κορεσμού (Saturation Indices) και την κατανομή των ένυδρων φάσεων. Αναλυτικά δεδομένα για τις ισορροπίες των γραμμομορίων μπορούν να καθοριστούν για κάθε κατάσταση οξείδωσης ή σε συνδυασμό καταστάσεων οξείδωσης για κάθε στοιχείο. Η κατανομή των οξειδοαναγωγικών στοιχείων μεταξύ των καταστάσεων οξείδωσής τους μπορεί να βασιστεί σε καθορισμένο Eh ή σε κάθε οξειδοαναγωγικό ζεύγος για το οποίο υπάρχουν δεδομένα. Το εν λόγω πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης της συγκέντρωσης ενός στοιχείου για την επίτευξη ισοζυγίου (ή συγκεκριμένου δείκτη κορεσμού ή μερικής πίεσης αερίου) σε μια συγκεκριμένη φάση.
- Χρήση του σε υπολογισμούς αντιδράσεων ενός σταδίου (batch reactions). Συγκεκριμένα το πρόγραμμα προσανατολίζεται προς ισοζύγιο παρά προς ένυδρο ισοζύγιο. Για καθαρούς υπολογισμούς ισοζυγίου όλα τα γραμμομόρια κάθε στοιχείου του συστήματος κατανέμονται στην εν διαλύσει φάση, στην αέρια φάση, στην αμιγή φάση, σε στερεά διαλύματα, σε θέσεις ανταλλαγής και σε επιφανειακές θέσεις για την επίτευξη ισοζυγίου. Αντιδράσεις στις οποίες δεν υπάρχει ισορροπία μπορούν επίσης να μοντελοποιηθούν και περιλαμβάνουν μίξη ένυδρων φάσεων, κινητικά ελεγχόμενες ετερογενείς αντιδράσεις μεταξύ υγρού και στερεού κ.α..
- Μοντελοποίηση αντιδράσεων επιφανειακής συμπλοκοποίησης με την ενσωμάτωση του γενικευμένου μοντέλου δύο στρωμάτων των Dzombak και Morel, που αποτελεί ένα μοντέλο με ένα αποκλειστικά υπολογισμένο στρώμα διάχυσης (Borkovec & Westall, 1983) και ένα μη ηλεκτροστατικό μοντέλο (Davis & Kent, 1990). Οι σταθερές επιφανειακής συμπλοκοποίησης για δύο από τις βάσεις δεδομένων του προγράμματος (phreeqc.dat και wateq4f.dat) προέρχονται από τους Dzombak και Morel (1990). Οι αντίστοιχες σταθερές για άλλες βάσεις δεδομένων (minteq.dat) προέρχονται από το MINTEQA2 (Allison et al., 1990). Επιπλέον, αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής πραγματοποιούνται με τη συνθήκη Gaines – Thomas και οι σταθερές περιλαμβάνονται στις βάσεις δεδομένων του προγράμματος phreeqc.dat και wateq4f.dat.
- Καθορισμός πολλαπλών διαλυμάτων και πολλαπλών ορυκτολογικών αθροισμάτων σε συνδυασμό με τον καθορισμό ορυκτολογικών αθροισμάτων σταθερών φάσεων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πλαισίου για μονοδιάστατα μοντέλα μεταφοράς. Το PHREEQC προσφέρει μια αριθμητικά αποτελεσματική μέθοδο για προσομοίωση της μεταφοράς διαλυμάτων μέσω στήλης ή μονοδιάστατης ροής με ή

χωρίς τις επιπτώσεις της διασποράς. Η αρχική σύσταση των υγρών, αερίων και στερεών φάσεων μέσα στη στήλη καθορίζονται από αλλαγές στη σύσταση λόγω διασποράς (Appelo & Postma, 1993) και μπορούν να μοντελοποιηθούν σε συνδυασμό με ανάστροφες και μη ανάστροφες χημικές αντιδράσεις

- Αντίστροφη μοντελοποίηση (inverse modelling) που στοχεύει να απαριθμήσει τις χημικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σε ένα υδατικό διάλυμα καθώς κινείται. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δύο αναλύσεις ενός διαλύματος, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την αρχική και την τελική σύσταση, υπολογίζοντας τα γραμμομόρια των ορυκτών και των αερίων που πρέπει να εισαχθούν ή να απομακρυνθούν από το διάλυμα για να καθοριστούν οι διαφορές στη σύσταση. Τα αντίστροφα μοντέλα, στα οποία γίνεται μίξη δύο ή περισσότερων διαλυμάτων για το σχηματισμό ενός τελικού διαλύματος μπορούν επίσης να υπολογιστούν. Το πρόγραμμα PHREEQC επιτρέπει τον καθορισμό ορίων αβεβαιότητας για όλα τα αναλυτικά δεδομένα, ούτως ώστε τα αντίστροφα μοντέλα να ικανοποιούν ισορροπίες γραμμομορίων για κάθε στοιχείο και κατάσταση οξείδωσης, μόνο μέσα σε αυτά τα όρια.
- Επιπρόσθετα, η έκδοση του προγράμματος PHREEQC 3 δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να υπολογίσει μη ιδανικά (non-ideality) υδατικά διαλύματα με τη χρήση ιοντικών σχέσεων και εκφράσεις του υδατικού μοντέλου Pitzer σε αντίθεση με τις προηγούμενες εκδόσεις του προγράμματος που βασίζονταν στη χρήση του τύπου Debye – Hückel (Parkhurst & Appelo, 2013). Πλέον, είναι δυνατό να γίνει χρήση του προγράμματος ακόμα και για περιπτώσεις νερών με υψηλό ιοντικό δυναμικό (π.χ. θαλασσινό νερό).
- Τέλος, η έκδοση του προγράμματος PHREEQC 3 χρησιμοποιεί το CD-MUSIC (Charge Distribution MULTiSite Complexation) - μοντέλο τριπλού στρώματος, για τον προσδιορισμό της επιφανειακής συμπλοκοποίησης, εκτός του μοντέλου διάχυσης στιβάδας που χρησιμοποιείτο κυρίως σε προηγούμενες εκδόσεις του προγράμματος.

### 2.3.3 Περιορισμοί προγράμματος PHREEQC

Το PHREEQC είναι ένα γενικευμένο γεωχημικό πρόγραμμα υπολογιστή που βρίσκει εφαρμογή σε ένα μεγάλο αριθμό υδρογεωχημικών περιβαλλόντων, παρόλ' αυτά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί περιορισμοί. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένοι από αυτούς:

- Ένας περιορισμός του προγράμματος έγκειται στην έλλειψη συμβατότητας μεταξύ των βάσεων δεδομένων που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα. Για παράδειγμα, οι βάσεις rhreeqc.dat και wateq4f.dat είναι συμβατές με το υδατικό μοντέλο WATEQ4F των Ball & Nordstrom (1991) και το μοντέλο MINTEQA2 των Nordstrom et al. (1990).
- Περιορισμός Ιοντικής ανταλλαγής: Το μοντέλο ιοντικής ανταλλαγής προϋποθέτει ότι η θερμοδυναμική ενεργότητα των ανταλλάξιμων φάσεων είναι ίση με το αντίστοιχο κλάσμα.
- Περιορισμός Αντίστροφου μοντέλου: Κατά την πορεία επίλυσης προβλημάτων με χρήση του αντίστροφου μοντέλου υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής ορισμένων αβεβαιοτήτων στο πρόγραμμα. Παρόλ'αυτά, η χρήση της αριθμητικής μεθόδου έχει καταδείξει ασυνέπειες ως προς το αποτέλεσμα, λόγω του τρόπου που ο χρήστης χειρίζεται τα δεδομένα.
- Τέλος, τα θερμοδυναμικά δεδομένα που προκύπτουν από τις προσφερόμενες βάσεις είναι σχετικά περιορισμένα και δεν καλύπτουν το σύνολο των ορυκτών φάσεων που εντοπίζονται στη φύση.

#### **2.3.4 Παράμετροι προγράμματος PHREEQC**

Στην παρούσα εργασία, η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι η MINTEQ. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν τρία μοντέλα για τον προσδιορισμό του γεωχημικού περιβάλλοντος σε διαφορετικές συνθήκες προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα:

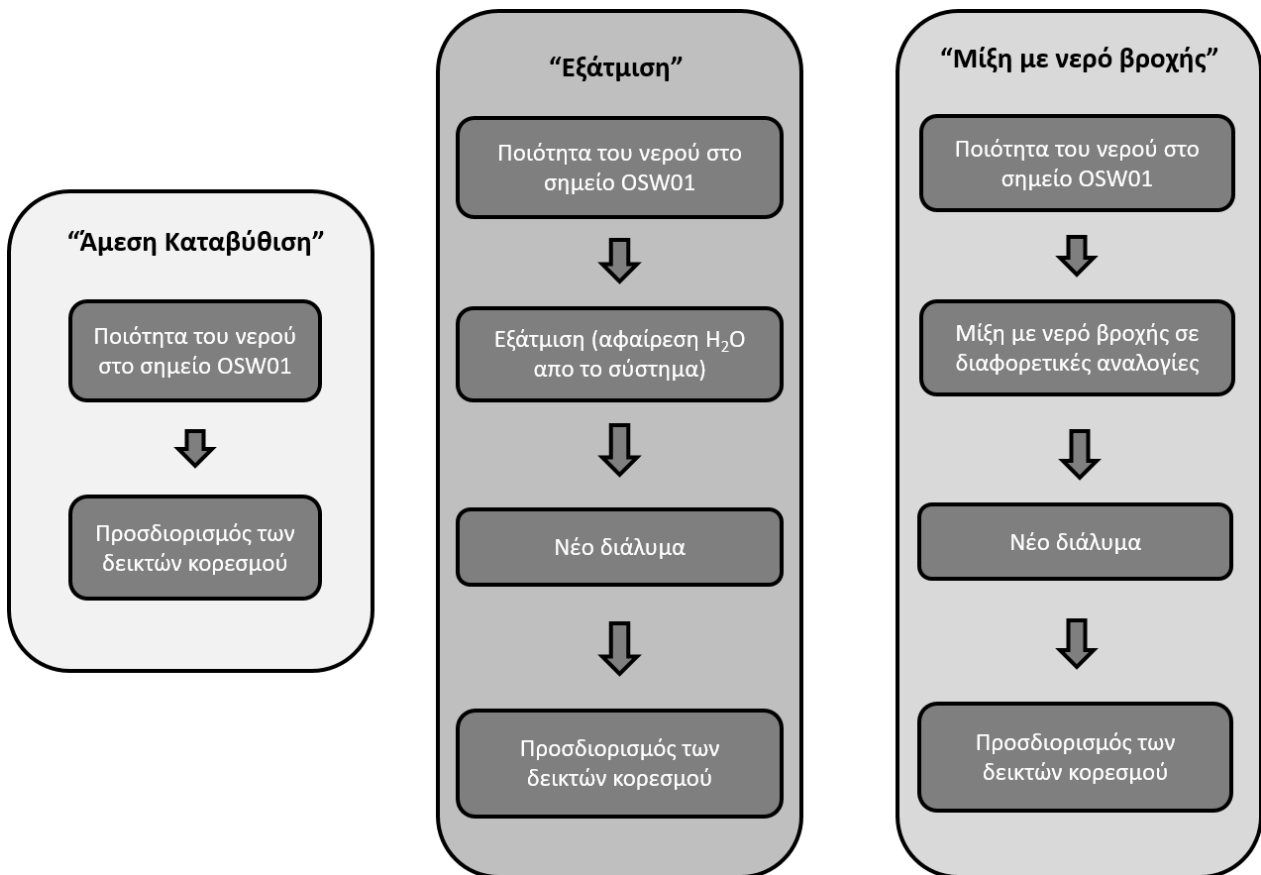
- «Άμεση καθίζηση» (direct precipitation)
- «Μίξη/Αραιώση με νερό βροχής» (mixing with rainwater)
- «Εξάτμιση» (evaporation)

Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα 64 μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 29/6/2007 - 8/12/2015 στο ρέμα Μαυρόλακκα ανάντη των εγκαταστάσεων της Ελληνικός Χρυσός στην Ολυμπιάδα (θέση με συντεταγμένες X: 477091 Y: 4494985 Z: 61,4). Οι μετρήσεις περιλάμβαναν δεδομένα όσον αφορά στη θερμοκρασία, στο pH, στην αγωγιμότητα, στην παροχή, στα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS – Total Dissolved Solids), στα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS – Total Suspended Solids) και στην περιεκτικότητα του νερού σε As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, SO<sub>4</sub> και Zn. Στο πρόγραμμα PHREEQC εισήχθησαν όλα τα δεδομένα των μετρήσεων εκτός της αγωγιμότητας, της παροχής, των TDS και των TSS.

Επιπλέον εισήχθησαν δεδομένα για το δυναμικό οξειδοαναγωγής σε re, τις μονάδες μέτρησης (μg/L) και της πυκνότητας, όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.2:

Παράμετροι νερού	
Pe	4,00
redox	Pe
Πυκνότητα	1,00
Μονάδες συγκέντρωσης	μg/l

Πίνακας 2.2: Παράμετροι δειγμάτων νερών ρεμάτων



Εικόνα 2.5: Σχηματική παρουσίαση των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων στο πρόγραμμα PHREEQC

## 2.4 Φασματοσκοπία Μαζών με Επαγωγή Ιονιζόμενου Πλάσματος (Inductively Coupled Mass Spectrometry, ICP-MS)

### 2.4.1 Γενικά

Η φασματοσκοπία εκπομπής με διέγερση πλάσματος έχει καθιερωθεί ως μια αξιόπιστη αναλυτική τεχνική δειγμάτων εδαφών, ιζημάτων και πετρωμάτων, με αρκετά πλεονεκτήματα.

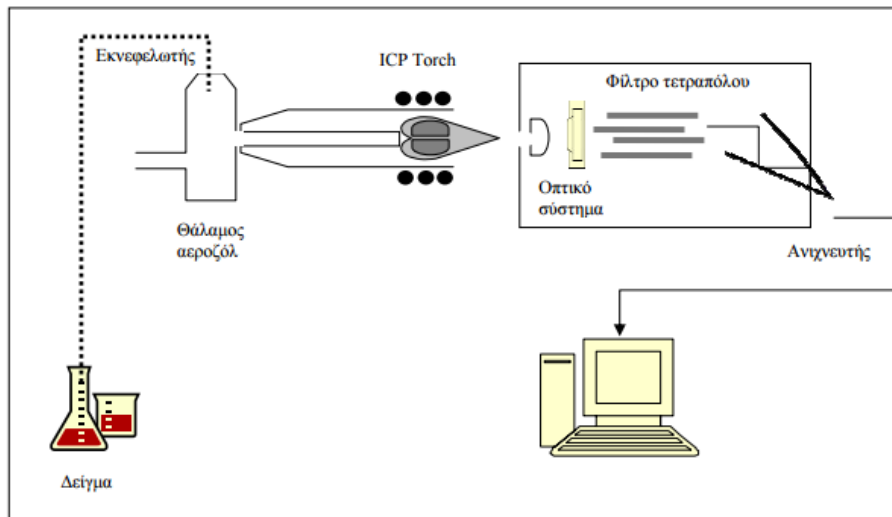
Η δημιουργία ενός πλάσματος του τύπου I.C.P. (inductively coupled plasma) γίνεται όταν ένα αδρανές αέριο, κατά προτίμηση αργό, περνά από ένα χώρο, όπου υπάρχει ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Η τεχνική χρησιμοποιεί πλάσμα υψηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή θετικά φορτισμένων ιόντων ή ιοντικών θραυσμάτων μορίων τα οποία στη συνέχεια διαχωρίζονται και ποσοτικοποιούνται μέσω της καταγραφής της σχετικής έντασης του ιοντικού ρεύματος που αντιστοιχεί σε κάθε λόγο μάζας προς φορτίο ( $m/z$ ) σε ένα φασματογράφο μάζας (Οικονόμου, 1993).

### 2.4.2 Αρχή Λειτουργίας - οργανολογία

Η λειτουργία της τεχνικής ICP-MS γίνεται στα εξής βήματα:

- Εισαγωγή του υγρού ή στερεού δείγματος στο σύστημα του πλάσματος και ιονισμός μέσω ρεύματος αερίου αργού για τη μεταφορά.
- Διαχωρισμός των παραγόμενων ιόντων με βάση το λόγο  $m/z$  σε φασματόμετρο μαζών.
- Μέτρηση της σχετικής έντασης που αντιστοιχεί σε κάθε λόγο  $m/z$  σε ηλεκτρονικό πολλαπλασιαστή/ ανιχνευτή.

Το σύστημα της ICP-MS παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 2.6



**Εικόνα 2.6:** Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας πλάσματος, εισροής του δείγματος στο πλάσμα και καταγραφής του σήματος σε Η/Υ.

Το σύστημα εισαγωγής του δείγματος περιλαμβάνει τον εκνεφωτή και το θάλαμο ψεκασμού (spray chamber). Ο εκνεφωτής μετατρέπει το υγρό δείγμα σε αεροζόλ αναμειγνύοντάς το με αέριο αργό στο θάλαμο ψεκασμού. Στη συνέχεια, το παραγόμενο αεροζόλ διοχετεύεται στο πλάσμα θερμοκρασίας 5000-10000°K όπου εξατμίζεται, ατομοποιείται και ιονίζεται. Τα ιόντα που προκύπτουν μεταφέρονται στον φασματογράφο μάζας μέσω ενός συστήματος μεταφοράς αποτελούμενο από μια διάμεση επιφάνεια (interface region) και ένα οπτικό σύστημα ιόντων. Η ενδιάμεση επιφάνεια εξάγει τα ιόντα από το πλάσμα και διοχετεύει την ιοντική δέσμη στο θάλαμο του φασματογράφου μάζας με τη βοήθεια μιας απορροφητικής αντλίας. Το οπτικό σύστημα ιόντων εστιάζει και κατευθύνει τα ηλεκτροθετικά ιόντα της ιοντικής δέσμης στο φασματόμετρο, όπου διαχωρίζονται ανάλογα με το λόγο  $m/z$ .

Ο πλέον διαδεδομένος τύπος φασματόμετρου μάζας είναι το τετραπολικό φασματόμετρο μαζών (quadrupole mass spectrometer ή QMS) που χρησιμοποιεί εναλλασσόμενο υψίσυχο ηλεκτρικό πεδίο, αναπτυσσόμενο κατά μήκος τεσσάρων παράλληλων και συμμετρικά τοποθετημένων μεταλλικών ράβδων. Η διάταξη αυτή, επιτρέπει τη διέλευση ιόντων δεδομένης τιμής  $m/z$ , η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα εναλλαγής του ηλεκτρικού πεδίου. Συνεπώς, μεταβάλλοντας τη συχνότητα εναλλαγής του ηλεκτρικού πεδίου, το φασματόμετρο σκανάρει σειριακά όλους τους πιθανούς συνδυασμούς λόγων  $m/z$  που αντιστοιχούν σε διαφορετικά είδη χημικών στοιχείων. Τα ταξινομημένα ιόντα ανιχνεύονται και στη συνέχεια καταγράφονται στο σύστημα του φωτοπολλαπλασιαστή. Ο τελικός αποδέκτης της ανάλυσης είναι ο Η/Υ, μέσω του οποίου ελέγχεται η λειτουργία όλων των τμημάτων του οργάνου, γίνεται η διαχείριση των αναλυόμενων δειγμάτων όπως και η επεξεργασία των αναλυτικών αποτελεσμάτων.

### 2.4.3 Αναλυτικές δυνατότητες – προσδιορισμός συγκεντρώσεων

Στην τεχνική ICP-MS γίνεται συνεχής καταγραφή της σχετικής έντασης του ιοντικού ρεύματος που αντιστοιχεί στο λόγο  $m/z$  για κάθε στοιχείο. Οι κορυφές του φάσματος που προκύπτει, επιτρέπουν την ταυτοποίηση των χημικών στοιχείων που περιέχονται στο δείγμα, ενώ η ένταση του σήματος χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση. Καθίσταται επίσης δυνατή η ημι-ποσοτική ανάλυση του δείγματος που μπορεί να εφαρμοσθεί για τον ταχύ έλεγχο αγνώστων δειγμάτων. Γενικά, η ποσοτικοποίηση των συγκεντρώσεων βασίζεται σε εσωτερική ή εξωτερική βαθμονόμηση με χρήση αναλυτικών standards. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος της εσωτερικής βαθμονόμησης χρησιμοποιείται συνήθως για τη διόρθωση των συστηματικών σφαλμάτων του οργάνου, ενώ η εξωτερική βαθμονόμηση βασίζεται στην καταγραφή του φάσματος αναλυόμενων standards γνωστής συγκέντρωσης, τα οποία καλύπτουν το εύρος συγκεντρώσεων των προς ανάλυση δειγμάτων, διότι ο εμβολιασμός των δειγμάτων με γνωστή ποσότητα αναλυτή ελαχιστοποιεί τα σφάλματα που οφείλονται στο υλικό της μήτρας. Οι παρεμποδίσεις της τεχνικής είναι σχετικά αμελητέες σε σύγκριση με άλλες φασματοσκοπικές τεχνικές. Πάραυτα, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν φασματικές παρεμποδίσεις όταν συνυπάρχουν στο δείγμα ισότοπα ίδιας μάζας αλλά διαφορετικών στοιχείων (π.χ.  $^{64}\text{Ni}$  και  $^{64}\text{Zn}$ ). Επίσης, όταν το αναλυόμενο δείγμα περιέχει άφθονα ευκόλως ιονιζόμενα στοιχεία σε υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται matrix effects (Αργυράκη, 2007).

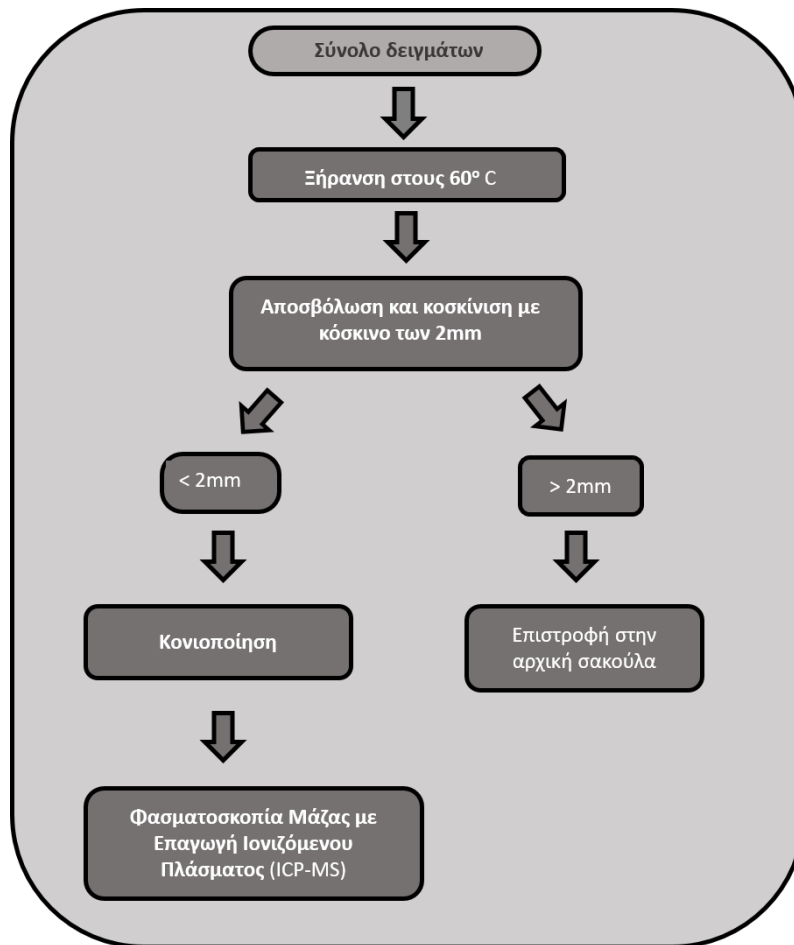
### 2.4.4 Χρήση ICP-MS στην παρούσα εργασία

Η πειραματική διαδικασία της Φασματοσκοπία Μάζας με Επαγωγή Ιονιζόμενου Πλάσματος (ICP-MS) των δειγμάτων των ιζημάτων, πραγματοποιήθηκε στα διαπιστευμένα Αναλυτικά Εργαστήρια ACME, στον Καναδά. Στην εργασία αυτή, δίνεται έμφαση στη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων των παρακάτω μετάλλων στα δείγματα:

Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn

Στο σχήμα της εικόνας 2.9, αναπαριστάται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την προετοιμασία των δειγμάτων ιζημάτων για την χημική τους ανάλυση με χρήση ICP-MS.





**Εικόνα 2.7: Σχηματική παρουσίαση της προετοιμασίας των δειγμάτων ιζημάτων για την χημική ανάλυσή του με χρήση ICP-MS**

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων των ιζημάτων γίνεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

## 2.5 Μεθοδολογία υπολογισμού κλάσεων

Για την οπτική απεικόνιση και την ανάλυση των αποτελεσμάτων του χημισμού ιζημάτων ρεμάτων (ICP-MS) χρησιμοποιήθηκαν χάρτες διασποράς για τα στοιχεία Cu, Sb, Bi, Sn, Cd, Mo, As, Fe, Ni, Ag, Pb, Zn, Co και Mn και για το συνολικό φορτίο σε κάθε θέση δειγματοληψίας. Για κάθε στοιχείο αλλά και για το συνολικό φορτίο, οι μετρήσεις χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος που ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητα κάθε στοιχείου. Ο μικρός αριθμός των δειγμάτων (12) δεν επέτρεπε την εξαγωγή κλάσεων με στατιστική ανάλυση. Τα ιζήματα ρεμάτων δεν μπορούν να δώσουν αξιόπιστα στοιχεία για την περιβαλλοντική επιβάρυνση μιας περιοχής, καθώς αποτελούν υλικά μεταφοράς. Για το λόγο αυτό η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε βασίζεται περισσότερο στην σχετική οπτική απόδοση του βαθμού επιβάρυνσης των θέσεων δειγματοληψίας.

## 2.6 Στατιστική ανάλυση

Στις αναλύσεις των ιζημάτων ρεμάτων και των νερών ρεμάτων πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία για τον προσδιορισμό των συντελεστών συσχέτισης (correlation coefficients) μεταξύ των στοιχείων. Οι συντελεστές συσχέτισης μπορούν να δώσουν στοιχεία για την πιθανή προέλευση, όπως και τη γεωχημική συμπεριφορά των στοιχείων στο περιβάλλον.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

### 3.1 Χημισμός ιζημάτων ρεμάτων – Αποτελέσματα ICP-MS

Στον Πίνακα 3.1, δίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων (ICP-MS) για τα ιχνοστοιχεία των μετάλλων Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn στα δείγματα από τα ιζήματα ρεμάτων.

Κωδικός Δείγματος	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)	As (ppm)	Cd (ppm)	Mo (ppm)	Sb (ppm)	Bi (ppm)	Sn (ppm)
SS01	39,40	234,40	251	0,80	63,20	23,60	1538	5,51	167	0,50	0,90	21,60	0,40	4,30
SS02	33,90	56,30	120	0,20	83,00	18,40	911	3,51	18	0,20	0,60	2,20	0,20	2,80
SS03	50,30	151,70	236	0,50	63,00	26,70	1640	5,52	160	0,60	0,80	15,80	0,70	4,30
SS04	14,40	172,50	164	0,30	14,30	9,60	1612	2,59	94	0,50	0,90	8,70	0,40	5,10
SS05	35,00	145,40	221	0,40	62,20	19,30	1421	3,76	134	0,60	0,50	25,90	0,30	3,70
SS06	26,50	222,30	227	0,60	42,90	15,50	1462	3,37	117	0,40	0,70	16,50	0,30	5,10
SS07	11,40	105,00	116	0,10	18,70	9,50	1503	2,28	56	0,60	1,00	2,60	0,10	3,50
SS08	23,20	102,60	251	0,20	29,30	16,70	1114	4,53	32	0,30	0,70	3,00	0,20	4,50
SS09	23,20	256,80	224	0,50	28,50	16,30	2302	3,63	108	0,50	0,80	16,80	0,80	5,40
SS10	43,10	523,90	462	1,50	44,30	18,70	2008	3,74	114	0,60	0,60	16,30	1,50	3,70
SS11	20,30	61,00	109	0,10	38,90	21,80	1914	6,08	49	5,50	0,50	5,30	0,60	3,80
SS12	34,70	551,30	634	1,70	49,50	20,50	1882	5,00	510	2,70	0,50	29,70	9,60	5,50

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα αναλύσεων (ICP-MS) ιζημάτων ρεμάτων

### 3.2 Ορυκτολογία ιζημάτων – Αποτελέσματα XRD

Σύμφωνα με τον Plumlee (1999) τα ιζήματα ρεμάτων αποτελούν αναπόσπαστο και δυναμικό τμήμα των υδρολογικών λεκανών και προέρχονται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων, των ορυκτών και των εδαφών ανάντη. Συνεπώς είναι πιθανό να εμφανίζονται αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, ως αποτέλεσμα της αποσάθρωσης μεταλλοφόρων εμφανίσεων. Οι συγκεντρώσεις αυτές συνήθως μειώνονται κατά τη ροή του ρέματος λόγω διάχυσης και αραίωσης των ιζημάτων από λοιπές μη ρυπογόνες πηγές.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ημιποσοστικής ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων ιζημάτων ρεμάτων με χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD). Τα ακτινοδιαγράμματα XRD βρίσκονται στην ενότητα του Παραρτήματος III. Οι χημικές συστάσεις των ορυκτών αναφέρονται στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος IV.

Συστατικό - Ορυκτό		Βουλανζερίτης	Τενναντίτης	Βαρίτης	Σουλεμβεργίτης	Βουρτσιίτης	Χαλαζίας	Ανορθίτης	Χλωρίτης	Βιοτίτης	Κεροσίλβη
Κωδικός δείγματος	SS 04			+			+++	+	+	+	+
	SS 05						+++	++	+		+
	SS 06	+			+		+++		+		
	SS 07	+	+				+++		+	+	
	SS 09						+++	+	+		
	SS 10						++				+++
	SS 11					+	+++	+	+		
+++ κύριο ορυκτολογικό συστατικό, ++ δευτερεύον ορυκτολογικό χαρακτηριστικό, + σε ίχνη (με επιφύλαξη)											

Πίνακας 3.2: Ημιοσοτική ανάλυση της ορυκτολογικής σύστασης των ιζημάτων ρεμάτων

Συστατικό - Ορυκτό		Μοσχοβίτης	Καολινίτης	Ενστατίτης	Σοδάλιθος	Αλβίτης	Ορθόκλαστο	Γλαυκοφανής	Ιλλίτης	Ριβεκίτης	Λωμοντίτης
Κωδικός δείγματος	SS 04	++		++	+						
	SS 05		++								
	SS 06	+				+	+	++			
	SS 07	+		++							+
	SS 09	+							+	++	
	SS 10					++					
	SS 11					++		+++	+		
+++ κύριο ορυκτολογικό συστατικό, ++ δευτερεύον ορυκτολογικό χαρακτηριστικό, + σε ίχνη (με επιφύλαξη)											

Πίνακας 3.2 (Συνέχεια)

### 3.3 Συντελεστές Συσχέτισης

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης (Pearson correlation coefficients) για τα ιχνοστοιχεία που εξετάστηκαν στα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων. Η επεξεργασία των δειγμάτων των νερών δεν έδωσε συγκεκριμένα αποτελέσματα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται σε πίνακα.

Στον πίνακα 3.3 οι τονισμένες τιμές απεικονίζουν τις τιμές που δίνουν καλή έως πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ των στοιχείων (η καλή θετική συσχέτιση κυμαίνεται από +0,65 έως και +0,85, ενώ η πολύ καλή θετική συσχέτιση από +0,85 και άνω).

	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Cd	Mo	Sb	Bi	Sn
Cu	1,00													
Pb	0,39	1,00												
Zn	0,46	<b>0,93</b>	1,00											
Ag	0,54	<b>0,98</b>	<b>0,95</b>	1,00										
Ni	<b>0,77</b>	-0,01	0,10	0,18	1,00									
Co	<b>0,82</b>	0,13	0,27	0,30	<b>0,72</b>	1,00								
Mn	0,02	0,56	0,37	0,45	-0,37	0,10	1,00							
Fe	0,51	0,06	0,23	0,20	0,41	<b>0,88</b>	0,17	1,00						
As	0,34	<b>0,74</b>	<b>0,84</b>	<b>0,78</b>	0,15	0,30	0,35	0,30	1,00					
Cd	-0,17	0,02	0,07	0,03	-0,08	0,29	0,38	0,58	0,22	1,00				
Mo	-0,32	-0,25	-0,39	-0,32	-0,44	-0,42	-0,03	-0,39	-0,28	-0,50	1,00			
Sb	0,54	<b>0,67</b>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	0,30	0,42	0,41	0,27	<b>0,78</b>	-0,01	-0,30	1,00		
Bi	0,20	<b>0,73</b>	<b>0,85</b>	<b>0,75</b>	0,07	0,19	0,32	0,25	<b>0,94</b>	0,34	-0,41	0,57	1,00	
Sn	-0,14	0,43	0,43	0,35	-0,45	-0,10	0,49	0,06	0,54	0,01	0,14	0,46	0,45	1,00

Πίνακας 3.3: Συντελεστές συσχέτισης ιχνοστοιχείων (Pearson correlation coefficient)

### 3.4 Αποτελέσματα γεωχημείας νερών ρεμάτων

Ημερομηνία	pH	Αγωγιμότητα	θ	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO <sub>4</sub>	T.S.S.	T.D.S.	Q
		μS/cm	°C	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L
29/6/2007	8,5	412,00	Δ.Π	< 10	< 0,05	7,00	< 5	< 5	< 5	4,86	< 5	25,50	0,00	262,00	Δ.Π
22/8/2007	8,7	405,00	Δ.Π	< 10	< 0,05	< 5	29,00	10,00	< 5	9,47	8,00	14,80	0,00	260,00	Δ.Π
9/10/2007	8,7	417,00	Δ.Π	< 10	0,26	7,00	14,90	< 5	< 5	19,67	8,00	< 1	0,00	256,00	Δ.Π
20/12/2007	8,4	314,00	Δ.Π	< 10	0,24	< 5	27,90	< 5	9,90	< 1	7,00	3,30	0,00	194,00	1121,50
4/6/2008	8,4	416,00	14,2	< 10	0,11	6,55	11,02	< 5	< 5	5,71	10,82	< 1	2,40	242,00	262,00
9/9/2008	8,0	374,00	19,7	< 10	0,21	< 5	25,01	< 5	11,00	20,55	25,00	< 1	0,00	200,00	99,80
22/10/2008	8,3	415,00	20,2	60,00	< 0,05	< 10	< 5	< 5	< 5	9,09	< 5	1,60	0,00	270,00	134,70
19/1/2009	8,2	307,00	21,0	< 10	< 0,05	< 5	8,00	65,80	< 5	5,97	58,56	7,40	0,00	192,00	324,50
27/2/2009	8,6	376,00	15,1	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	9,40	< 5	< 1	0,00	238,00	18,50
13/11/2009	8,1	404,00	16,4	20,00	< 0,05	19,82	< 5	< 5	22,81	23,91	< 5	< 5	0,00	240,00	Δ.Π
13/1/2010	7,9	369,00	18,5	18,00	0,08	< 5	< 5	< 5	< 5	9,39	< 5	0,00	0,00	230,00	391,60
23/11/2010	8,2	383,00	18,8	22,22	0,34	< 5	51,26	131,80	9,60	10,35	145,03	62,60	0,00	298,00	214,50
20/1/2011	8,4	385,00	16,1	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	10,39	24,72	61,70	0,00	220,00	258,70
22/3/2011	8,2	307,00	16,9	< 10	2,24	< 5	< 5	17,00	< 5	1,37	5,69	< 1	0,00	206,00	207,80
19/5/2011	8,1	354,00	21,2	< 10	< 0,05	14,00	< 5	< 5	< 5	3,85	< 5	0,00	0,00	224,00	280,10

Δ.Π.: Δεν Προσδιορίστηκαν

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων νερών ρεμάτων

Ημερομηνία	pH	Αγωγιμότητα	θ	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO <sub>4</sub>	T.S.S.	T.D.S.	Q
		μS/cm	°C	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	m <sup>3</sup> /h
8/7/2011	8,3	368,00	21,8	< 10	< 0,05	< 5	11,65	17,00	< 5	4,81	8,00	0,00	0,00	230,00	21,50
1/9/2011	8,4	381,00	21,8	< 10	0,05	< 5	15,41	< 5	< 5	9,43	< 5	8,20	3,20	224,00	1249,70
4/11/2011	8,4	413,00	16,3	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	3,80	< 5	14,00	0,00	252,00	118,20
9/1/2012	8,4	280,00	15,5	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	4,10	0,00	198,00	230,20
12/3/2012	8,0	193,00	15,3	< 10	< 0,05	< 5	20,18	< 5	< 5	4,27	17,32	14,80	3,60	144,00	1295,20
11/4/2012	8,3	276,00	19,9	< 10	< 0,05	5,03	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	11,90	0,00	184,00	558,80
3/5/2012	8,1	255,00	23,3	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	1,76	< 5	11,90	0,00	220,00	234,50
7/6/2012	8,0	207,00	22,3	< 10	< 0,05	< 5	< 5	7,30	< 5	9,01	< 5	14,00	0,80	184,00	29,80
5/7/2012	8,2	260,00	24,4	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	7,20	< 5	8,20	0,00	218,00	254,30
2/8/2012	8,3	397,00	25,6	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	2,35	< 5	2,06	0,80	206,00	214,20
6/9/2012	8,3	171,40	23,4	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	29,08	< 5	30,50	0,00	262,00	328,70
3/10/2012	8,2	Δ.Π	23,4	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	11,78	< 5	27,58	2,00	270,00	350,40
13/11/2012	7,9	447,00	18,3	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	9,78	< 5	23,90	0,00	280,00	36,20
7/12/2012	8,3	432,00	16,4	< 10	0,11	< 5	< 5	< 5	< 5	1,66	< 5	8,64	0,00	256,00	53,00
8/1/2013	8,4	425,00	18,8	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	55,00	< 5	31,70	0,00	264,00	51,70

Δ.Π.: Δεν Προσδιορίστηκαν

Πίνακας 3.4 (Συνέχεια)



Ημερομηνία	pH	Αγωγιμότητα	θ	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO <sub>4</sub>	T.S.S.	T.D.S.	Q
		μS/cm	°C	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	m <sup>3</sup> /h
7/2/2013	8,2	357,00	19,4	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	5,17	< 5	11,50	0,00	232,00	34,60
13/3/2013	8,2	287,60	22,2	< 10	0,38	< 5	25,40	< 5	< 5	70,45	< 5	0,00	0,00	220,00	101,30
12/4/2013	8,3	207,90	18,7	< 10	< 0,05	11,89	< 5	< 5	< 5	9,00	< 5	0,82	0,00	184,00	733,10
15/5/2013	8,7	233,50	22,3	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	19,76	15,23	0,00	290,00	240,10
5/6/2013	8,6	306,00	20,9	< 10	< 0,05	7,11	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	1,60	0,00	244,00	490,60
11/7/2013	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	Δ.Π.	51,80
2/8/2013	8,4	408,00	25,2	< 10	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	6,80	< 5	< 1	0,00	240,00	Δ.Π.
6/9/2013	8,2	404,00	21,5	46,66	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	33,63	< 5	8,64	0,00	248,00	26,70
7/10/2013	8,3	412,00	20,1	40,86	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	8,51	< 5	9,06	0,00	254,00	47,90
7/11/2013	8,1	429,00	19,2	39,81	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	15,50	< 5	6,17	< 1	256,00	25,60
6/12/2013	8,3	411,00	18,9	19,47	0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	14,10	< 5	9,47	< 1	288,00	67,40
21/1/2014	8,2	415,00	19,0	28,00	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	13,22	< 5	12,30	< 1	278,00	14,80
6/2/2014	8,1	333,80	15,3	15,83	< 0,05	< 5	7,00	< 5	< 5	< 1	< 5	11,10	< 1	208,00	19,83
10/3/2014	7,8	229,00	16,2	8,49	< 0,05	< 5	56,10	< 5	< 5	7,95	< 5	3,29	< 1	144,00	83,84
10/4/2014	8,2	391,00	18,0	20,75	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	5,40	< 1	336,00	80,20
Δ.Π.: Δεν Προσδιορίστηκαν															

Πίνακας 3.4 (Συνέχεια)

Ημερομηνία	pH	Αγωγιμότητα	θ	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO <sub>4</sub>	T.S.S.	T.D.S.	Q
		μS/cm	°C	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	m <sup>3</sup> /h
7/5/2014	8,0	354,00	21,3	15,49	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	< 1	< 1	186,00	108,20
3/6/2014	8,3	406,00	21,0	25,99	0,08	< 5	< 5	< 5	< 5	13,17	< 5	< 1	< 1	266,00	105,30
2/7/2014	7,9	411,00	23,3	3,81	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	17,59	< 5	< 1	< 1	312,00	44,50
5/8/2014	8,0	413,00	24,8	50,26	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	< 1	< 1	278,00	20,10
9/9/2014	8,1	388,00	21,3	41,92	0,08	< 5	< 5	< 5	< 5	10,34	< 5	< 1	< 1	298,00	81,40
7/10/2014	8,3	413,00	22,1	36,03	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	6,10	< 5	2,88	< 1	286,00	166,50
12/11/2014	8,2	223,60	17,6	11,18	< 0,05	< 5	69,90	< 5	< 5	< 1	< 5	5,40	< 1	174,00	411,40
8/1/2015	7,9	320,00	13,4	24,83	0,38	< 5	< 5	< 5	< 5	32,66	6,10	23,90	< 1	256,00	98,70
6/2/2015	8,5	291,20	20,9	14,48	< 0,05	< 5	10,70	5,30	< 5	< 1	< 5	18,93	< 1	198,00	198,06
3/3/2015	8,3	220,00	20,2	4,07	< 0,05	< 5	408,00	< 10	< 5	16,83	< 5	18,50	< 1	192,00	221,34
14/4/2015	8,2	335,00	22,0	12,11	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	5,38	< 5	19,30	0,00	254,00	116,20
11/5/2015	8,5	382,00	20,0	15,04	< 0,05	< 5	13,95	< 5	< 5	7,61	< 5	13,20	< 1	152,00	925,30
1/6/2015	8,5	381,00	20,6	14,78	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	2,45	< 5	9,88	< 1	304,00	441,90
1/7/2015	8,4	368,00	22,3	18,05	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	13,13	< 5	19,80	< 1	260,00	486,50
4/8/2015	8,5	399,00	26,6	44,96	< 0,05	< 5	6,30	< 5	< 5	4,70	< 5	14,41	< 1	358,00	386,20
3/9/2015	8,5	433,00	22,7	30,15	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	9,50	< 1	178,00	291,15
7/10/2015	8,5	418,00	22,5	30,23	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	< 1	< 5	14,40	0,00	262,00	196,10
5/11/2015	8,5	376,00	20,8	30,29	< 0,05	< 5	< 5	< 5	< 5	38,18	< 5	23,50	< 1	252,00	188,30
8/12/2015	8,4	581,00	18,5	19,53	0,15	< 5	12,00	< 5	< 5	2,59	< 5	27,58	< 1	402,00	229,50

Δ.Π.: Δεν Προσδιορίστηκαν

Πίνακας 3.4 (Συνέχεια)

### 3.4.1 Ανάλυση δεδομένων

Ο Πίνακας 3.5 παρουσιάζει τους μέσους όρους των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων στα δείγματα νερού ανα έτος. Πρέπει να σημειωθεί ότι στις περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις ήταν μικρότερες από τα όρια ανίχνευσιμότητας της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των κατώτερων ορίων ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Έτος	μS/cm	°C	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	m <sup>3</sup> /h
	pH	Αγωγιμότητα	θ	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO <sub>4</sub>	T.S.S.	T.D.S.	Q
2007	8,6	387,00		10,00	0,15	6,0	19,20	6,3	6,23	8,75	7,0	11,15	0,0	243,00	
2008	8,2	401,67	18,0	26,67	0,12	7,2	13,68	5,0	7,00	11,78	13,6	1,20	0,8	237,33	165,50
2009	8,3	362,33	17,5	13,33	0,05	9,9	6,00	25,3	10,94	13,09	22,9	4,47	0,0	223,33	254,75
2010	8,0	376,00	18,7	20,11	0,21	5,0	28,13	68,4	7,30	9,87	75,0	31,30	0,0	264,00	303,05
2011	8,3	368,00	19,0	10,00	0,42	6,5	7,84	9,0	5,00	5,61	8,9	14,15	0,5	226,00	356,00
2012	8,2	291,84	20,7	10,00	0,06	5,0	6,38	5,2	5,00	7,17	6,1	14,33	0,7	220,18	325,94
2013	8,3	352,82	20,7	19,71	0,08	5,8	6,85	5,0	5,00	20,01	6,3	8,65	0,2	247,27	170,07
2014	8,1	361,58	20,0	23,43	0,06	5,0	15,73	5,0	5,00	6,67	5,0	4,12	1,0	251,45	103,28
2015	8,4	375,35	20,7	21,54	0,09	5,0	40,50	5,4	5,00	10,54	5,1	17,74	0,8	255,67	314,94

Πίνακας 3.5: Μέσοι όροι των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων ανα έτος

### 3.4.2 PHREEQC

Για όλα τα μοντέλα που εφαρμόστηκαν στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα πακέτα δεδομένων. Τα δύο πρώτα αντιστοιχούν στους μέσους όρους της περιόδου υψηλής βροχόπτωσης (Μάιος – Οκτώβριος) και της περιόδου χαμηλής βροχόπτωσης (Νοέμβριος – Απρίλιος) για τα έτη 2007 έως 2015. Τα άλλα δύο αντιστοιχούν στις υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων για την περίοδο υψηλής βροχόπτωσης και τη περίοδο χαμηλής βροχόπτωσης αντίστοιχα. Ενδεικτικά χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση 09/09/2008 για την περίοδο χαμηλής βροχόπτωσης και η 03/03/2015 για την περίοδο υψηλής βροχόπτωσης. Ο πίνακας 3.6 που ακολουθεί περιλαμβάνει τις μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα του προγράμματος PHREEQC.

<b>Περίοδος Μαΐου - Οκτωβρίου</b>											
pH	Pe/ redox	Θ (°C)	As (μg/L)	Cd (μg/L)	Cu (μg/L)	Fe (μg/L)	Mn (μg/L)	Ni (μg/L)	Pb (μg/L)	Zn (μg/L)	SO <sub>4</sub> (μg/L)
8,3	4	22,0	20,1	0,1	5,7	7,7	5,6	5,2	8,7	6,5	8498,1
<b>Περίοδος Νοεμβρίου - Απριλίου</b>											
pH	Pe/ redox	Θ (°C)	As (μg/L)	Cd (μg/L)	Cu (μg/L)	Fe (μg/L)	Mn (μg/L)	Ni (μg/L)	Pb (μg/L)	Zn (μg/L)	SO <sub>4</sub> (μg/L)
8,2	4	18,1	14,8	0,2	5,7	25,7	11,6	5,9	12,4	12,4	14458,1
<b>Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Μαΐου - Οκτωβρίου (09/09/2008)</b>											
pH	Pe/ redox	Θ (°C)	As (μg/L)	Cd (μg/L)	Cu (μg/L)	Fe (μg/L)	Mn (μg/L)	Ni (μg/L)	Pb (μg/L)	Zn (μg/L)	SO <sub>4</sub> (μg/L)
8,0	4	19,7	10,0	0,2	5,0	25,0	5,0	11,0	20,6	25,0	1000,0
<b>Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Νοεμβρίου - Απριλίου (03/03/2015)</b>											
pH	Pe/ redox	Θ (°C)	As (μg/L)	Cd (μg/L)	Cu (μg/L)	Fe (μg/L)	Mn (μg/L)	Ni (μg/L)	Pb (μg/L)	Zn (μg/L)	SO <sub>4</sub> (μg/L)
8,3	4	20,2	4,07	0,05	5,0	408	10,0	5,0	16,83	5,0	18500,0

Πίνακας 3.6: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων που ειλήχθησαν στο πρόγραμμα PHREEQC

### 3.4.2.1 Μοντέλο άμεσης απόθεσης - καθίζησης (Direct precipitation)

Στους πίνακες 3.7 έως κα 3.10 δίνονται τα αποτελέσματα υπολογισμού των συντελεστών συσχέτισης διαφόρων φάσεων, όπως αυτοί προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στο γεωχημικό πρόγραμμα PHREEQC.

Περίοδος Μαΐου - Οκτωβρίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,19	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-0,89	Cu <sub>2</sub> O
Φερριυδρίτης	2,26	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	4,98	FeOOH
Αιματίτης	12,35	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,21	FeOOH
Μαγκεμίτης	4,78	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	13,78	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,15	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,83	CuO

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα περιόδου Μαΐου – Οκτωβρίου με χρήση μοντέλου άμεσης απόθεσης – καθίζησης

Περίοδος Νοεμβρίου - Απριλίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0.36	Cu(OH) <sub>2</sub>
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	19.53	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Κυπρίτης	-1.10	Cu <sub>2</sub> O
Φερριυδρίτης	2.68	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	5.43	FeOOH
Λεπιδοκροκίτης	4.80	FeOOH
Αιματίτης	13.23	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγκεμίτης	5.96	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	15.26	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0.05	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0.63	CuO

Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα περιόδου Νοεμβρίου – Απριλίου με χρήση μοντέλου άμεσης απόθεσης – καθίζησης

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Μαΐου - Οκτωβρίου (09/09/2008)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,58	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-1,10	Cu <sub>2</sub> O
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	-0,95	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριωδρίτης	2,61	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	5,35	FeOOH
Αιματίτης	13,08	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγκεμίτης	5,7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	15,21	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,10	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,42	CuO

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα μέτρησης 09/09/2008 με χρήση μοντέλου άμεσης απόθεσης – καθίζησης

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Νοεμβρίου - Απριλίου (03/03/2015)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,38	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-1,09	Cu <sub>2</sub> O
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	2,71	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριωδρίτης	3,92	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	6,66	FeOOH
Αιματίτης	15,70	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	5,95	FeOOH
Μαγκεμίτης	8,26	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	18,93	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,25	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,63	CuO

Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα μέτρησης 03/03/2015 με χρήση μοντέλου άμεσης απόθεσης - καθίζησης

### 3.4.2.2 Μοντέλο εξάτμισης (Evaporation)

Στους πίνακες 3.11 έως κα 3.18 δίνονται τα αποτελέσματα υπολογισμού των συντελεστών συσχέτισης διαφόρων φάσεων, όπως αυτοί προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στο γεωχημικό πρόγραμμα PHREEQC.

Περίοδος Μαΐου - Οκτωβρίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,19	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-0,89	Cu <sub>2</sub> O
Φερριδρίτης	2,26	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιίτης	4,98	FeOOH
Αιματίτης	12,35	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,21	FeOOH
Μαγκεμίτης	4,78	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	13,78	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,15	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,83	CuO

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα περιόδου Μαΐου – Οκτωβρίου με χρήση μοντέλου εξάτμισης (10 φορές)

Περίοδος Νοεμβρίου – Απριλίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Αντλερίτης	0,43	Cu <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub> SO <sub>4</sub>
Βροχαντίτης	3,07	Cu <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> SO
Μπουνσενίτης	-1,45	NiO
Cu(OH) <sub>2</sub>	1,01	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	2,58	Cu <sub>2</sub> O
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	2,73	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριδρίτης	3,66	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιίτης	6,42	FeOOH
Αιματίτης	15,20	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λανγκίτης	0,96	Cu <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> SO <sub>4</sub> :H <sub>2</sub> O
Λαρνακίτης	-0,12	PbO:PbSO <sub>4</sub>
Λεπιδοκροκίτης	5,79	FeOOH
Μαγκεμίτης	7,93	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	18,68	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	1,64	Pb(OH) <sub>2</sub>
Pb <sub>3</sub> O <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-1,44	Pb <sub>3</sub> O <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Pb <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> SO <sub>4</sub>	-1,49	Pb <sub>4</sub> (OH) <sub>6</sub> SO <sub>4</sub>
Τενορίτης	2,00	CuO
Ζινκίτης	-0,24	ZnO
Zn(OH) <sub>2</sub>	-0,73	Zn(OH) <sub>2</sub>
ZnO(active)	-0,09	ZnO

Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα περιόδου Νοεμβρίου – Απριλίου με χρήση μοντέλου εξάτμισης (10 φορές)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Μαΐου - Οκτωβρίου (09/09/2008)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Αντλερίτης	-0,72	$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$
Βροχαντίτης	1,90	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
$\text{Cu}(\text{OH})_2$	0,85	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
Κυπρίτης	2,58	$\text{Cu}_2\text{O}$
$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$	2,90	$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$
Φερριδρίτης	3,76	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Γκαιτίτης	6,50	$\text{FeOOH}$
Αιματίτης	15,37	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Λανγκίτης	-0,25	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Λαρνακίτης	-0,66	$\text{PbO}:\text{PbSO}_4$
Λεπιδοκροκίτης	5,81	$\text{FeOOH}$
Μαγκεμίτης	7,98	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Μαγνητίτης	19,06	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	1,67	$\text{Pb}(\text{OH})_2$
Τενορίτης	1,85	$\text{CuO}$
Ζινκίτης	-0,19	$\text{ZnO}$
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	-0,77	$\text{Zn}(\text{OH})_2$
$\text{ZnO}$ (active)	-0,04	$\text{ZnO}$

Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα μέτρησης 09/09/2008 με χρήση μοντέλου εξάτμισης (10 φορές)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Νοεμβρίου - Απριλίου (03/03/2015)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
$\text{Cu}(\text{OH})_2$	-0,29	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
Κυπρίτης	-1,11	$\text{Cu}_2\text{O}$
$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$	2,70	$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$
Φερριδρίτης	3,95	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Γκαιτίτης	6,69	$\text{FeOOH}$
Αιματίτης	15,76	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Λεπιδοκροκίτης	5,98	$\text{FeOOH}$
Μαγκεμίτης	8,33	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Μαγνητίτης	18,92	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	0,37	$\text{Pb}(\text{OH})_2$
Τενορίτης	0,72	$\text{CuO}$

Πίνακας 3.14: Αποτελέσματα μέτρησης 03/03/2015 με χρήση μοντέλου εξάτμισης (10 φορές)



Περίοδος Μαΐου - Οκτωβρίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Αντλερίτης	1,22	$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$
Μπιξμπιίτης	-0,59	$\text{Mn}_2\text{O}_3$
Βροχαντίτης	5,09	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
Μπουνσενίτης	0,60	$\text{NiO}$
$\text{Cu}(\text{OH})_2$	1,89	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
Cu (Αυτοφυής)	-0,52	$\text{Cu}$
Κυπρίτης	5,12	$\text{Cu}_2\text{O}$
$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$	1,17	$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$
Φερριδρίτης	3,23	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Γκαιτίτης	4,98	$\text{FeOOH}$
Χαουσμανίτης	1,96	$\text{Mn}_3\text{O}_4$
Αιματίτης	14,29	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Λανγκίτης	2,89	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Λαρνακίτης	0,55	$\text{PbO}:\text{PbSO}_4$
Λεπιδοκροκίτης	5,18	$\text{FeOOH}$
Μαγνητίτης	17,62	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Μανγκανίτης	-0,30	$\text{MnOOH}$
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	0,25	$\text{Ni}(\text{OH})_2$
$\text{Ni}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	-1,10	$\text{Ni}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	0,15	$\text{Pb}(\text{OH})_2$
$\text{Pb}_3\text{O}_2\text{SO}_4$	0,39	$\text{Pb}_3\text{O}_2\text{SO}_4$
$\text{Pb}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	1,18	$\text{Pb}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
$\text{Pb}_4\text{O}_3\text{SO}_4$	0,16	$\text{Pb}_4\text{O}_3\text{SO}_4$
Τενορίτης	2,90	$\text{CuO}$
Ζινκίτης	0,74	$\text{ZnO}$
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	0,03	$\text{Zn}(\text{OH})_2$
$\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	-1,44	$\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$

Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα περιόδου Μαΐου – Οκτωβρίου με χρήση μοντέλου εξάτμισης (40 φορές)

Περίοδος Νοεμβρίου – Απριλίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Αντλερίτης	2,44	$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$
Βροχαντίτης	5,75	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
Μπουνσενίτης	-0,54	$\text{NiO}$
$\text{Cu}(\text{OH})_2$	1,68	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
Cu (Αυτοφυής)	-0,79	$\text{Cu}$
Κυπρίτης	4,30	$\text{Cu}_2\text{O}$
$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$	4,25	$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$
Φερριυδρίτης	4,11	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Γκαϊτίτης	6,86	$\text{FeOOH}$
Αιματίτης	16,09	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Λανγκίτης	3,64	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Λαρνακίτης	1,45	$\text{PbO}:\text{PbSO}_4$
Λεπιδοκροκίτης	6,23	$\text{FeOOH}$
Μαγκεμίτης	8,82	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Μαγνητίτης	20,20	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Μανγκανίτης	-1,11	$\text{MnOOH}$
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	-0,87	$\text{Ni}(\text{OH})_2$
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	2,43	$\text{Pb}(\text{OH})_2$
$\text{Pb}_3\text{O}_2\text{SO}_4$	0,92	$\text{Pb}_3\text{O}_2\text{SO}_4$
$\text{Pb}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	1,65	$\text{Pb}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
$\text{Pb}_4\text{O}_3\text{SO}_4$	0,31	$\text{Pb}_4\text{O}_3\text{SO}_4$
Τενορίτης	2,68	$\text{CuO}$
Ζινκίτης	0,56	$\text{ZnO}$
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	0,06	$\text{Zn}(\text{OH})_2$
$\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	0,12	$\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$

Πίνακας 3.16: Αποτελέσματα περιόδου Νοεμβρίου – Απριλίου με χρήση μοντέλου εξάτμισης (40 φορές)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Μαΐου - Οκτωβρίου (09/09/2008)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Αντλερίτης	1,57	$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$
Βροχαντίτης	4,85	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
Μπουνσενίτης	-0,71	$\text{NiO}$
$\text{Cu}(\text{OH})_2$	1,51	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
Cu (Αυτοφυής)	-0,96	$\text{Cu}$
Κυπρίτης	4,10	$\text{Cu}_2\text{O}$
$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$	4,75	$\text{Fe}_3(\text{OH})_8$
Φερριυδρίτης	4,34	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Γκαιτίτης	7,08	$\text{FeOOH}$
Αιματίτης	16,54	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Λανγκίτης	2,70	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Λαρνακίτης	1,09	$\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$
Λεπιδοκροκίτης	6,39	$\text{FeOOH}$
Μαγκεμίτης	9,14	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Μαγνητίτης	20,91	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	-1,04	$\text{Ni}(\text{OH})_2$
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	2,39	$\text{Pb}(\text{OH})_2$
$\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$	-0,51	$\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$
$\text{Pb}_3\text{O}_2\text{SO}_4$	0,51	$\text{Pb}_3\text{O}_2\text{SO}_4$
$\text{Pb}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	1,07	$\text{Pb}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$
$\text{Pb}_4\text{O}_3\text{SO}_4$	-0,14	$\text{Pb}_4\text{O}_3\text{SO}_4$
Τενορίτης	2,51	$\text{CuO}$
Ζινκίτης	0,59	$\text{ZnO}$
Ζινκοσίτης	-12,72	$\text{ZnSO}_4$
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	0,00	$\text{Zn}(\text{OH})_2$
$\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$	-0,31	$\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$

Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα μέτρησης 09/09/2008 με χρήση μοντέλου εξάτμισης (40 φορές)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Νοεμβρίου - Απριλίου (03/03/2015)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,29	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-1,11	Cu <sub>2</sub> O
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	2,70	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριυδρίτης	3,95	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιίτης	6,69	FeOOH
Αιματίτης	15,76	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	5,98	FeOOH
Μαγκεμίτης	8,33	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	18,92	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,37	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,72	CuO

Πίνακας 3.18: Αποτελέσματα μέτρησης 03/03/2015 με χρήση μοντέλου εξάτμισης (40 φορές)

#### 3.4.2.3 Μοντέλο μίξης με νερό βροχής (Mixing with rainwater)

Στους πίνακες 3.20 έως κα 3.27 δίνονται τα αποτελέσματα υπολογισμού των συντελεστών συσχέτισης διαφόρων φάσεων, όπως αυτοί προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στο γεωχημικό πρόγραμμα PHREEQC. Στον πίνακα 3.19 δίνονται τα χαρακτηριστικά του νερού της βροχής που εισήχθσαν στο σύστημα.

Σύσταση Βροχής	
Θερμοκρασία	25,00
pH	6.5
pe	4,00
redox	pe
	mg/l
Μίξη (1/1)	50% νερό ρέματος με 50% νερό βροχής
Μίξη (1/5)	20% νερό ρέματος με 80% νερό βροχής

Πίνακας 3.19: Σύσταση νερού βροχής (Caroll, 1962)

Περίοδος Μαΐου - Οκτωβρίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,19	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-0,89	Cu <sub>2</sub> O
Φερριδρίτης	2,26	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	4,98	FeOOH
Αιματίτης	12,35	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,21	FeOOH
Μαγκεμίτης	4,78	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	13,78	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,15	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,83	CuO

Πίνακας 3.20: Αποτελέσματα περιόδου Μαΐου – Οκτωβρίου με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/1)

Περίοδος Νοεμβρίου - Απριλίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,35	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-1,07	Cu <sub>2</sub> O
Φερριδρίτης	2,16	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	4,91	FeOOH
Αιματίτης	12,19	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,28	FeOOH
Μαγκεμίτης	4,93	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	13,71	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	-0,09	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,64	CuO

Πίνακας 3.21: Αποτελέσματα περιόδου Νοεμβρίου – Απριλίου με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/1)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Μαΐου - Οκτωβρίου (09/09/2008)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Κυπρίτης	-1,10	Cu <sub>2</sub> O
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	-0,95	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριδρίτης	2,61	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιίτης	5,35	FeOOH
Αιματίτης	13,08	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,66	FeOOH
Μαγκεμίτης	5,68	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	15,21	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,10	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,42	CuO

Πίνακας 3.22: Αποτελέσματα μέτρησης 09/09/2008 με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/1)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Νοεμβρίου - Απριλίου (03/03/2015)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,71	Cu(OH) <sub>2</sub>
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	1,21	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριδρίτης	3,63	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιίτης	6,35	FeOOH
Αιματίτης	15,09	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	5,56	FeOOH
Μαγκεμίτης	7,47	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	17,73	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	-0,06	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,31	CuO

Πίνακας 3.23: Αποτελέσματα μέτρησης 03/03/2015 με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/1)

Περίοδος Μαΐου - Οκτωβρίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,19	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-0,89	Cu <sub>2</sub> O
Φερριδρίτης	2,26	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	4,98	FeOOH
Αιματίτης	12,35	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,21	FeOOH
Μαγκεμίτης	4,78	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	13,78	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,15	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,83	CuO

Πίνακας 3.24: Αποτελέσματα περιόδου Μαΐου – Οκτωβρίου με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/5)

Περίοδος Νοεμβρίου - Απριλίου		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,35	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-1,07	Cu <sub>2</sub> O
Φερριδρίτης	2,16	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	4,91	FeOOH
Αιματίτης	12,19	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,28	FeOOH
Μαγκεμίτης	4,93	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	13,71	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	-0,09	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,64	CuO

Πίνακας 3.25: Αποτελέσματα περιόδου Νοεμβρίου – Απριλίου με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/5)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Μαΐου - Οκτωβρίου (09/09/2008)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Κυπρίτης	-1,10	Cu <sub>2</sub> O
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	-0,95	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριδρίτης	2,61	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	5,35	FeOOH
Αιματίτης	13,08	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	4,66	FeOOH
Μαγκεμίτης	5,68	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	15,21	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,10	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,42	CuO

Πίνακας 3.26: Αποτελέσματα μέτρησης 09/09/2008 με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/5)

Υψηλότερη μέτρηση περιόδου Νοεμβρίου - Απριλίου (03/03/2015)		
Ορυκτή φάση	Δείκτης κορεσμού	Χημικός τύπος
Cu(OH) <sub>2</sub>	-0,29	Cu(OH) <sub>2</sub>
Κυπρίτης	-1,11	Cu <sub>2</sub> O
Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>	2,70	Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>8</sub>
Φερριδρίτης	3,95	Fe(OH) <sub>3</sub>
Γκαιτίτης	6,69	FeOOH
Αιματίτης	15,76	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Λεπιδοκροκίτης	5,98	FeOOH
Μαγκεμίτης	8,33	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μαγνητίτης	18,92	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	0,37	Pb(OH) <sub>2</sub>
Τενορίτης	0,72	CuO

Πίνακας 3.27: Αποτελέσματα μέτρησης 03/03/2015 με χρήση μοντέλου μίξης με νερό βροχής (1/5)






## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

### 4.1 Χημισμός ιζημάτων ρεμάτων – Αποτελέσματα ICP-MS

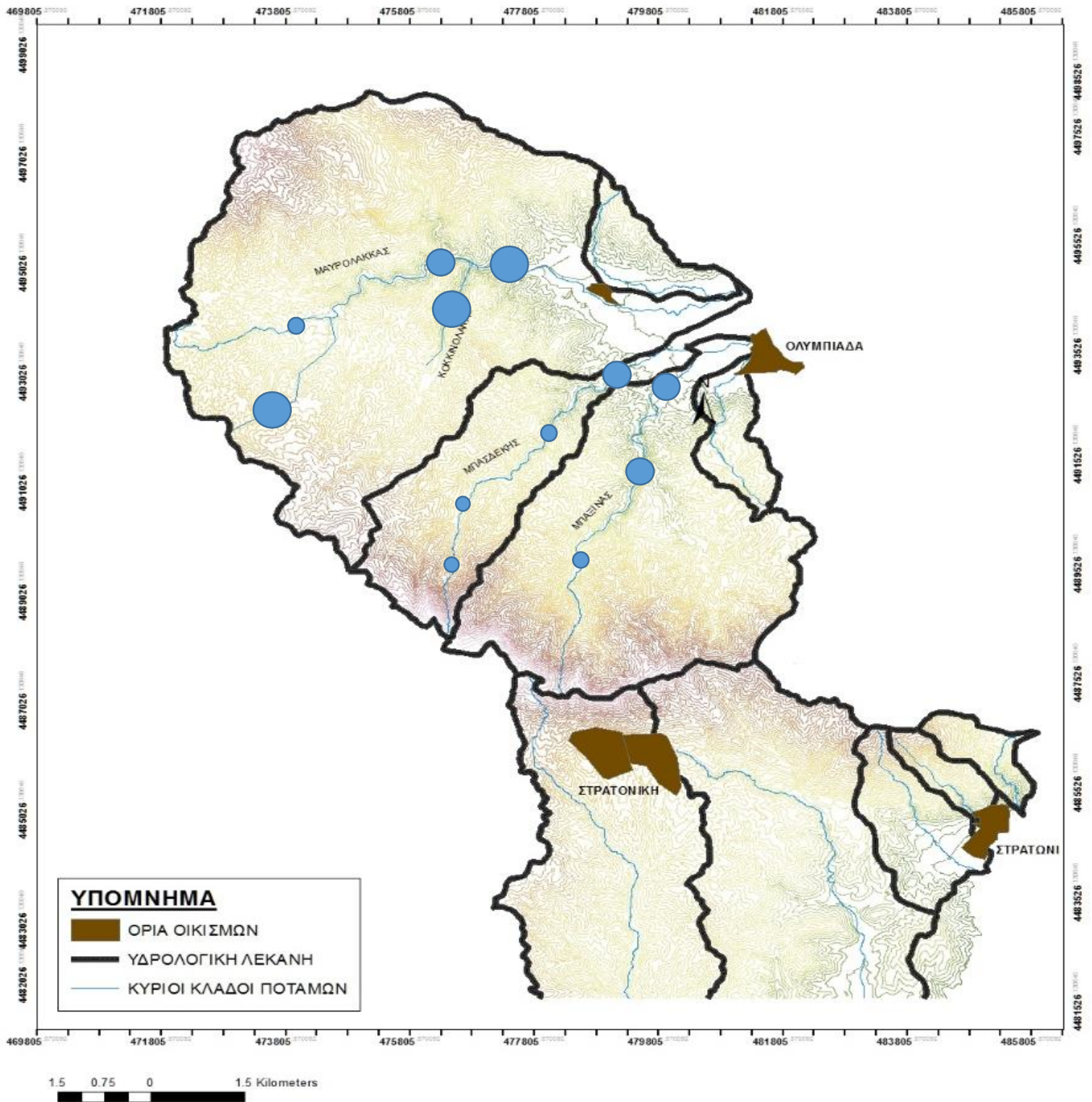
#### Χαλκός – Cu

Στα δείγματα ιζήματος ρέματος που συλλέχθηκαν από την περιοχή μελέτης, η συγκέντρωση σε Cu κυμαίνεται από 11,40 ppm έως 50,30 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Cu την εμφανίζει το δείγμα SS03, 50,30 ppm, ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS07 με 11,40 ppm. Οι συγκεντρώσεις του Cu χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις. Η πρώτη κλάση έχει εύρος 11,40 – 25 ppm, η δεύτερη 25 – 35 ppm και η τρίτη 35 – 50,30 ppm. Στο χάρτη της Εικόνας 4.1, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Cu για τα δείγματα των ιζημάτων.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	11,40 – 25 ppm
	25 – 35 ppm
	35 – 50,30 ppm

Πίνακας 4.1: Κλάσεις συγκεντρώσεων Cu στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Ο Cu, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,14 έως +0,82. Ο Cu εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με το Ni και με το Co. Επομένως μπορούμε να καταλήξουμε ότι ο Cu εμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά με το Ni και το Co.



Εικόνα 4.1: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Cu για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

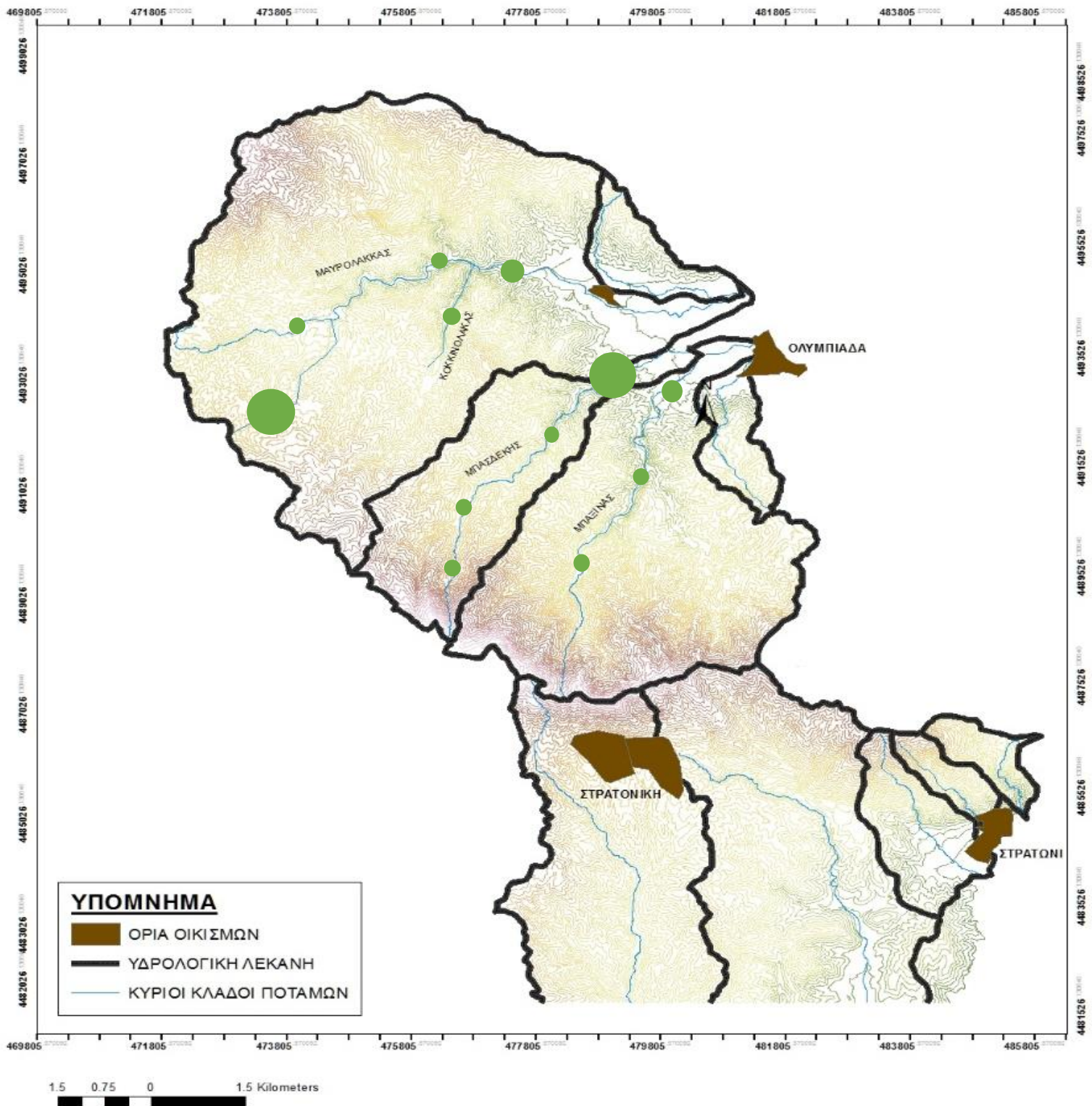
## Μόλυβδος – Pb

Η συγκέντρωση Pb, στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, κυμαίνεται από 56,30 ppm έως 551,30 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Pb την εμφανίζει το δείγμα SS12 (551,30 ppm) ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS02 (56,30 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.2, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Pb για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Pb χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος κλάσης 165 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	56,30 – 221,30 ppm
	221,30 – 386,30 ppm
	386,30 – 551,30 ppm

Πίνακας 4.2: Κλάσεις συγκεντρώσεων Pb στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Ο Pb, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,25 έως +0,98. Ο Pb εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με το Ni, το Bi και το As, ενώ παρουσιάζει πολύ καλή θετική συσχέτιση με το Zn και τον Ag. Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο Pb εμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά με τον Zn και το Ni, ενώ πιθανότατα έχει κοινή προέλευση με τον Ag (γαληνίτης – PbS) και θειοάλατα Pb-As και Pb-Bi.



Εικόνα 4.2: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Pb για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

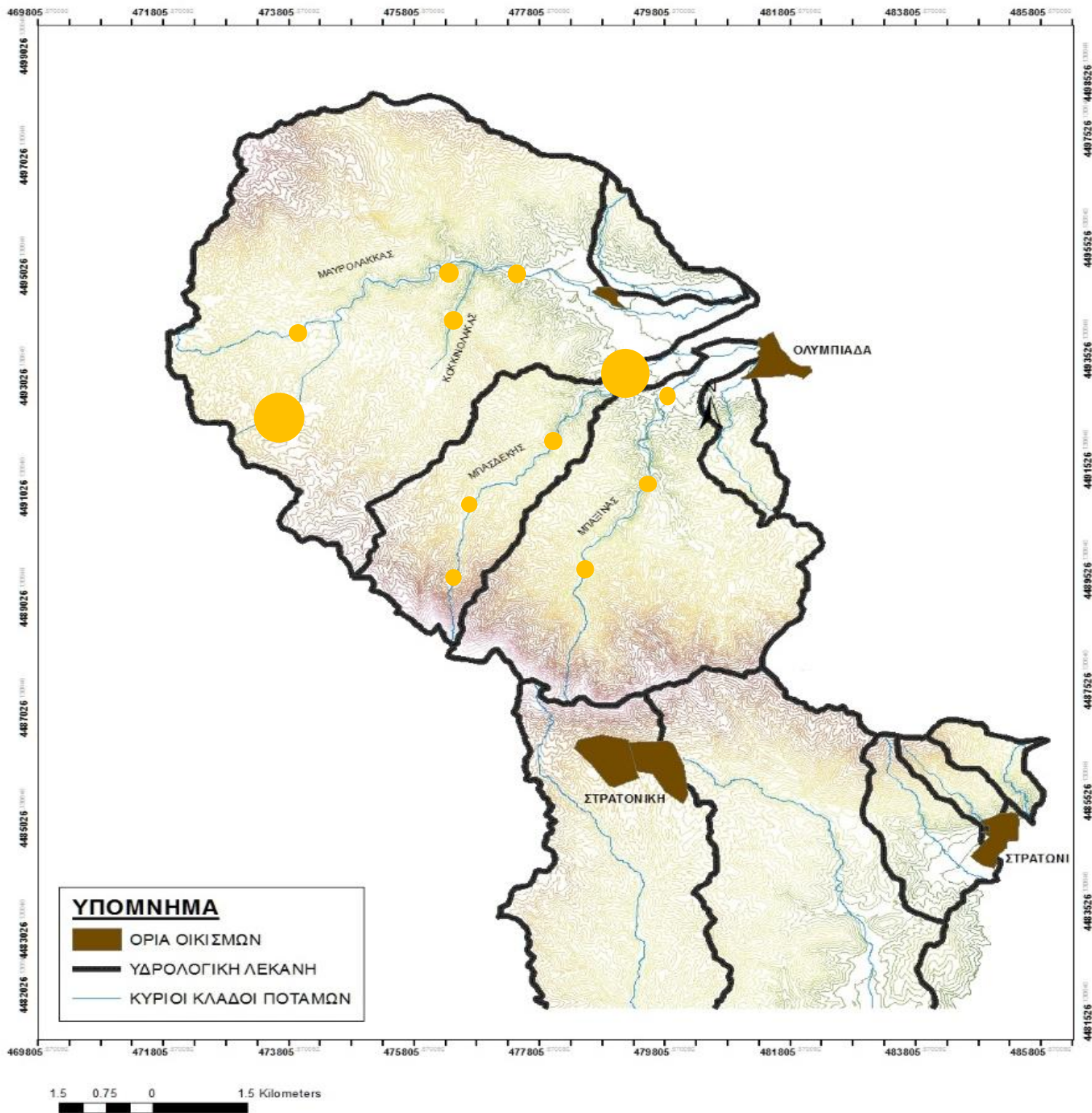
## Ψευδάργυρος – Zn

Η συγκέντρωση των δειγμάτων ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, σε Zn κυμαίνεται από 109 ppm έως 634 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Zn την εμφανίζει το δείγμα SS12 (634ppm) ενώ την χαμηλότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS11 (109ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.3, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Zn για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Zn χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος 175 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.3 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	109 – 284 ppm
	284 – 459 ppm
	459 – 634 ppm

Πίνακας 4.3: Κλάσεις συγκεντρώσεων Zn στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Ο Zn, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Pb, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,39 έως +0,95. Ο Zn εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με το Sb, με το As και με το Bi, ενώ παρουσιάζει πολύ καλή θετική συσχέτιση με τον Ag. Επομένως, μπορούμε να καταλήξουμε ότι ο Zn είναι πολύ πιθανό να εμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά με τον Ag και πιθανώς κοινή πηγή με το Bi, το Sb και το As (π.χ. τενναντίτης).



Εικόνα 4.3: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Zn για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

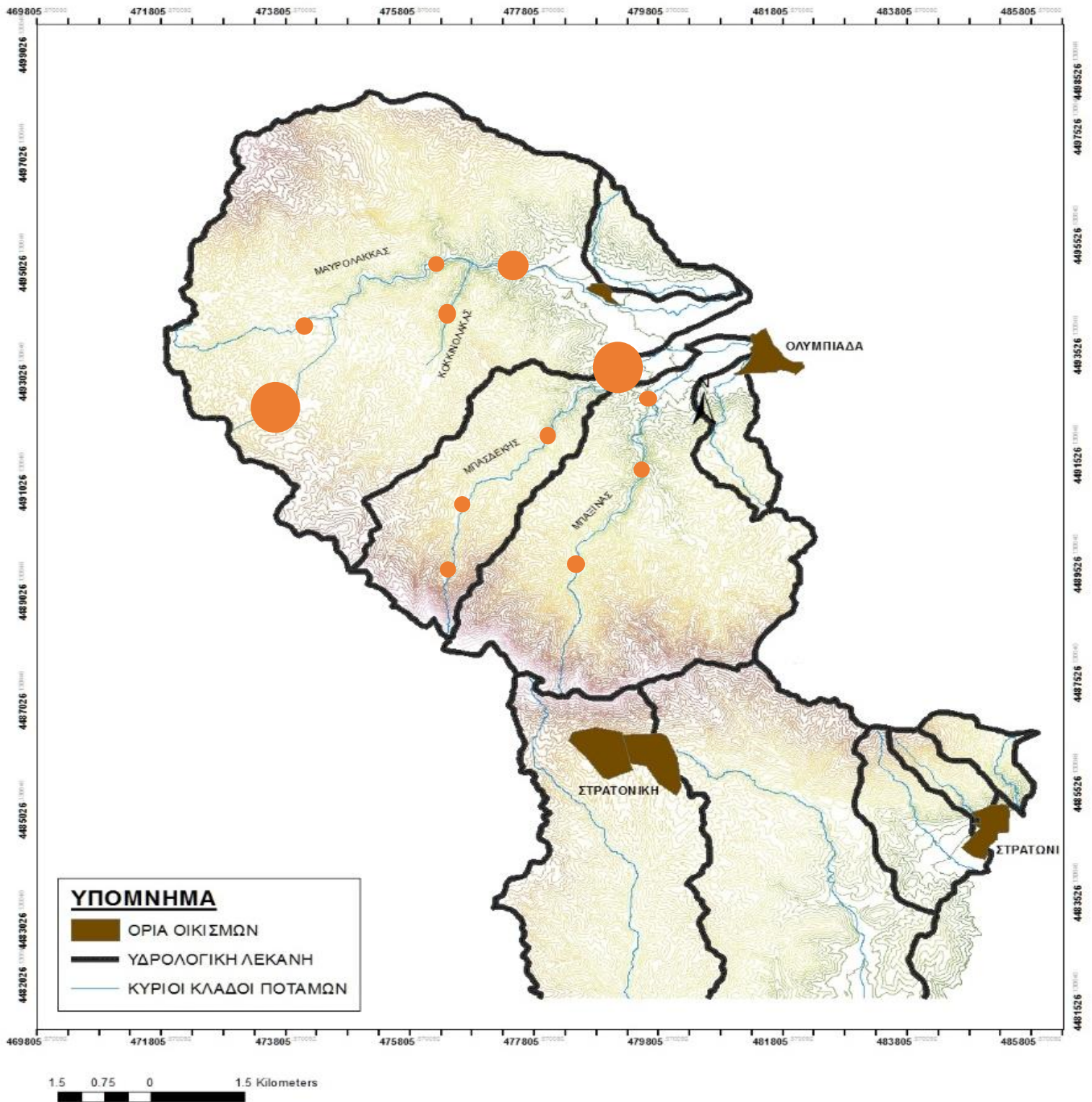
## Άργυρος – Ag

Στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν, η συγκέντρωση σε Ag κυμαίνεται από 0,10 ppm έως 1,70 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Ag την εμφανίζει το δείγμα SS12 (1,70 ppm) ενώ την χαμηλότερη συγκέντρωση την εμφανίζουν τα δείγματα SS07 και SS11 (0,10 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.4, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Ag για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Ag χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος κλάσης 0,53 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.4 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	0,10 – 0,63 ppm
	0,63 – 1,16 ppm
	1,16 – 1,70 ppm

Πίνακας 4.4: Κλάσεις συγκεντρώσεων Ag στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων

Ο Ag, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,32 έως +0,78. Ο Ag εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με το Sb, με το As και με το Bi. Επομένως, μπορούμε να καταλήξουμε ότι ο Ag δύναται να εμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά και έχει κοινή προέλευση με το Bi, το Sb και το As.






Εικόνα 4.4: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Ag για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων



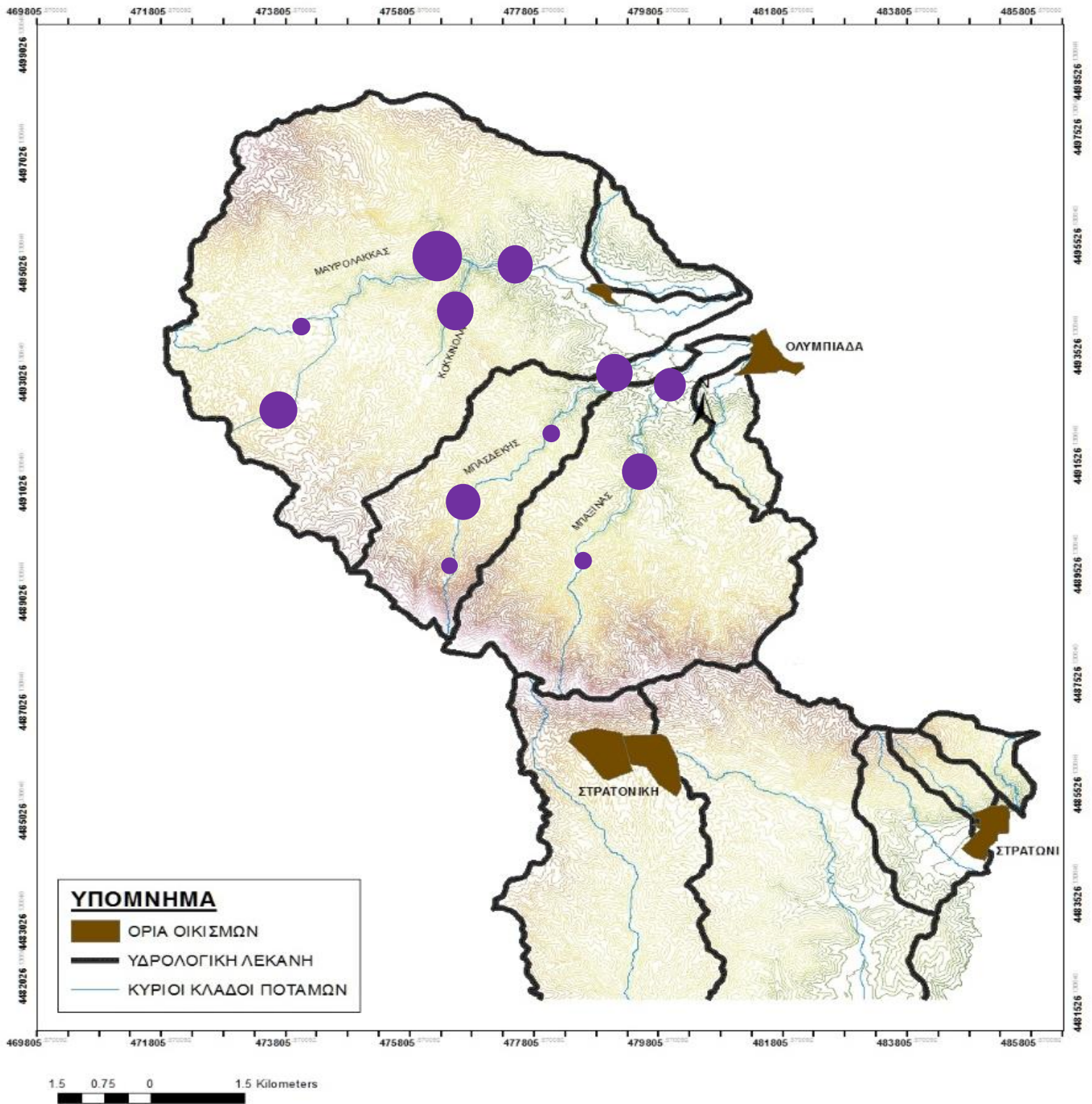
## Νικέλιο – Ni

Στα δείγματων ιζημάτων που συλλέχθηκαν, η συγκέντρωση σε Ni κυμαίνεται από 14,30 ppm έως 83,00 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Ni την εμφανίζει το δείγμα SS02 (83,00 ppm) ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS04 (14,30 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.5, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Ni για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Ni χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος κλάσης 23 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.5 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	14,30 – 39,30 ppm
	39,30 – 64,30 ppm
	64,30 – 83,00 ppm

Πίνακας 4.5: Κλάσεις συγκεντρώσεων Ni στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Ο Ni, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,45 έως +0,72. Ο Ni εμφανίζει σχετικά καλή θετική συσχέτιση με το Co, άρα μπορούμε να καταλήξουμε ότι ενδέχεται να εμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά και πιθανώς κοινή προέλευση (π.χ. ως υποκαταστάτες στο πλέγμα του σιδηροπυρίτη).



Εικόνα 4.5: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Ni για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

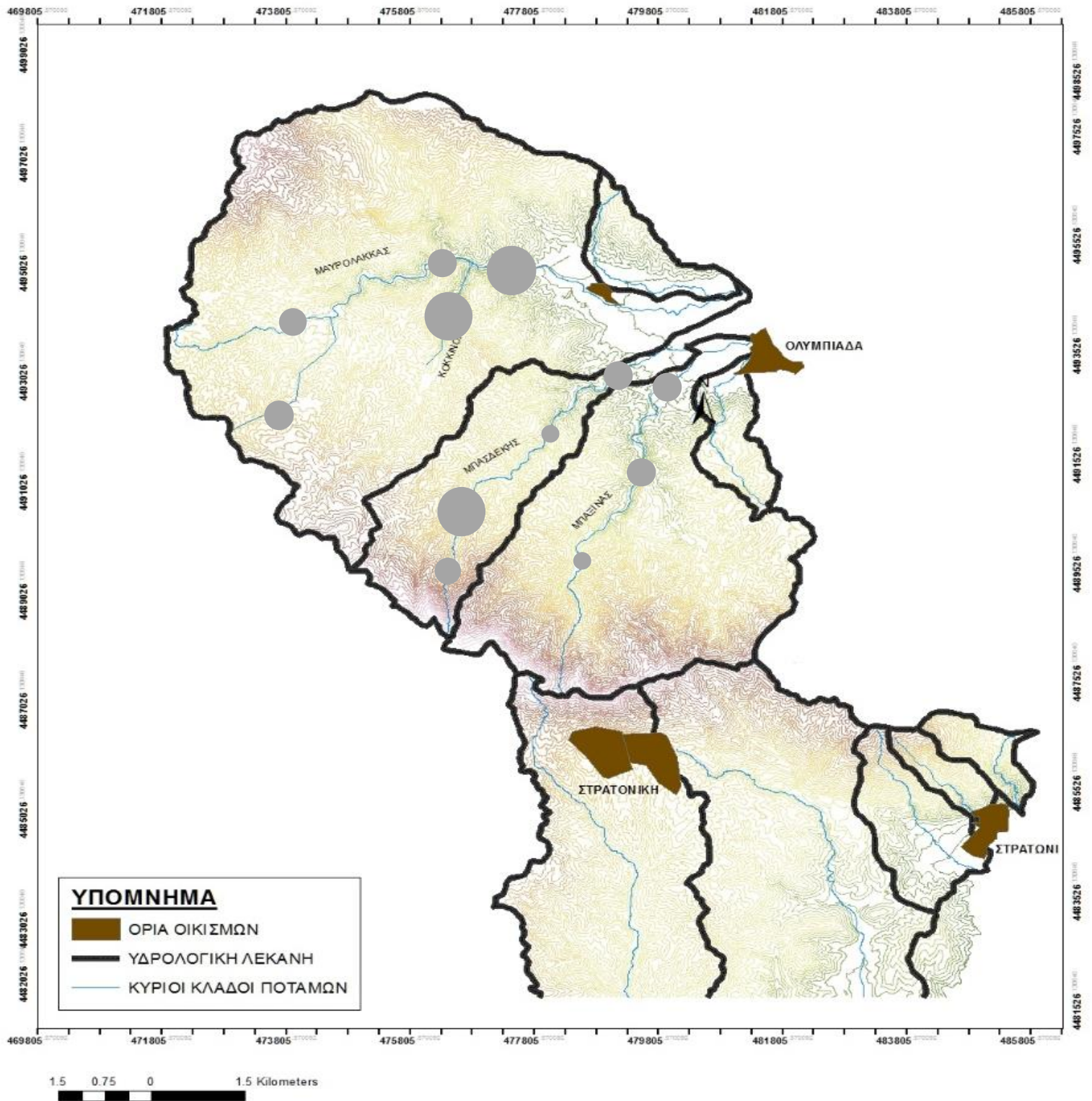
## Κοβάλτιο – Co

Η συγκέντρωση Co, στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, κυμαίνεται από 9,50 ppm έως 26,70 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Co την εμφανίζει το δείγμα SS03 με 26,70 ppm, ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS07 με 9,50 ppm. Στο χάρτη της Εικόνας 4.6, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Co για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Co χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.6 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	9,50 – 15,50 ppm
	15,50 – 21,50 ppm
	21,50 – 26,70 ppm

Πίνακας 4.6: Κλάσεις συγκεντρώσεων Co στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Το Co, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Zn, Ag, Ni, Ni, Mn, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,42 έως +0,88. Το Co, παρουσιάζει πολύ καλή θετική συσχέτιση (+0,88) με τον Fe και πιθανότατα σχετίζεται με την παρουσία σιδηροπυρίτη στις μεταλλοφορίες της περιοχής.



Εικόνα 4.6: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Co για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

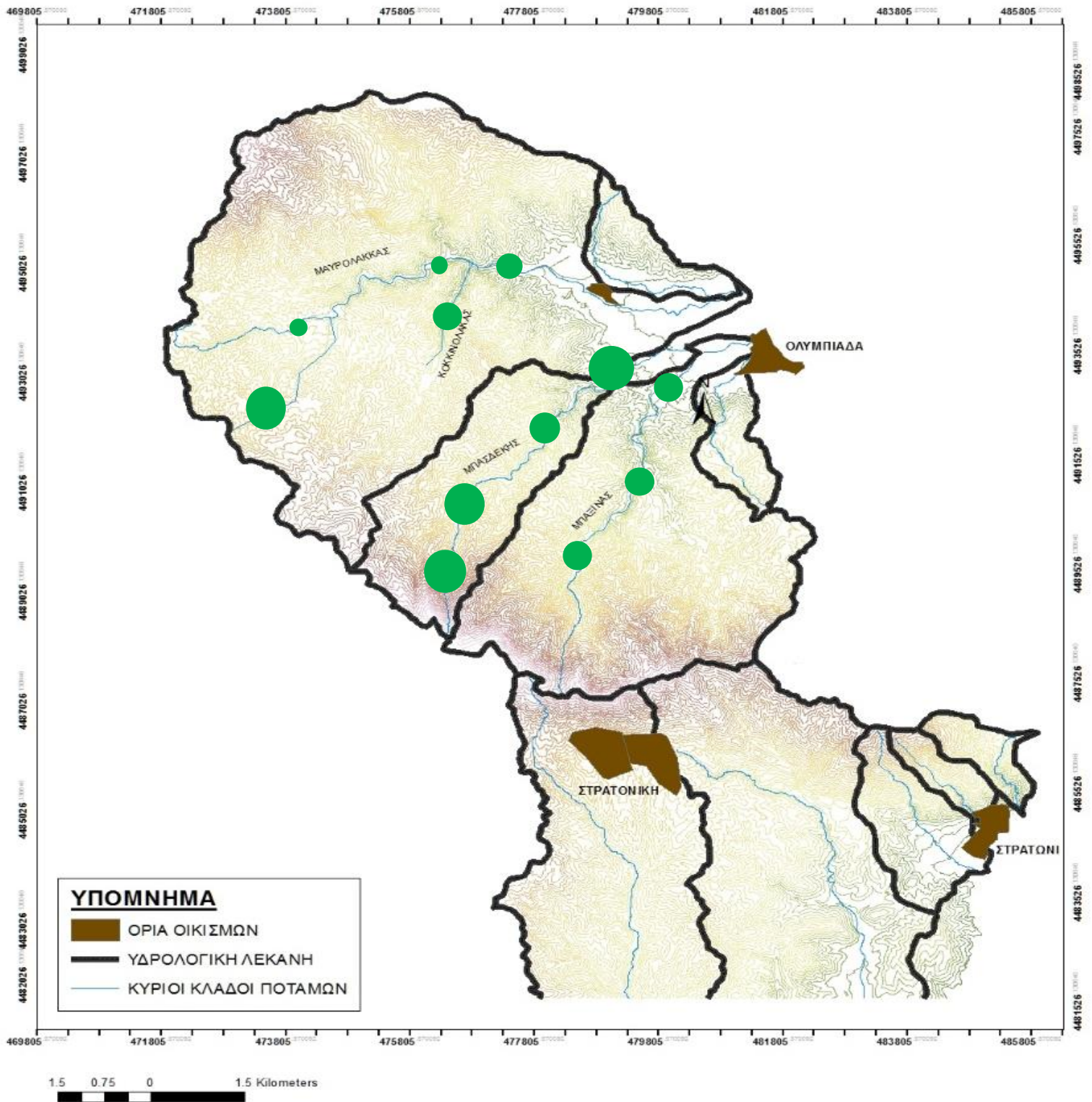
## Μαγγάνιο – Mn

Στα δείγματος ιζημάτων που συλλέχθηκαν, η συγκέντρωση σε Mn κυμαίνεται από 911 ppm έως 2302 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Mn την εμφανίζει το δείγμα SS09 (2302 ppm) ενώ την χαμηλότερη συγκέντρωση την παρουσιάζει το δείγμα SS02 (911 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.7, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Mn για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Mn χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος κλάσης 464 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.7 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	911 – 1375 ppm
	1375 – 1839 ppm
	1839 – 2302 ppm

Πίνακας 4.7: Κλάσεις συγκεντρώσεων Mn στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Το Mn, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Ag, Fe, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0.03 έως +0.49. Συνεπώς δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του Mn και των υπόλοιπων μετάλλων. Άρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο Mn παρουσιάζει διαφορετική γεωχημική συμπεριφορά.



Εικόνα 4.7: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Mn για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

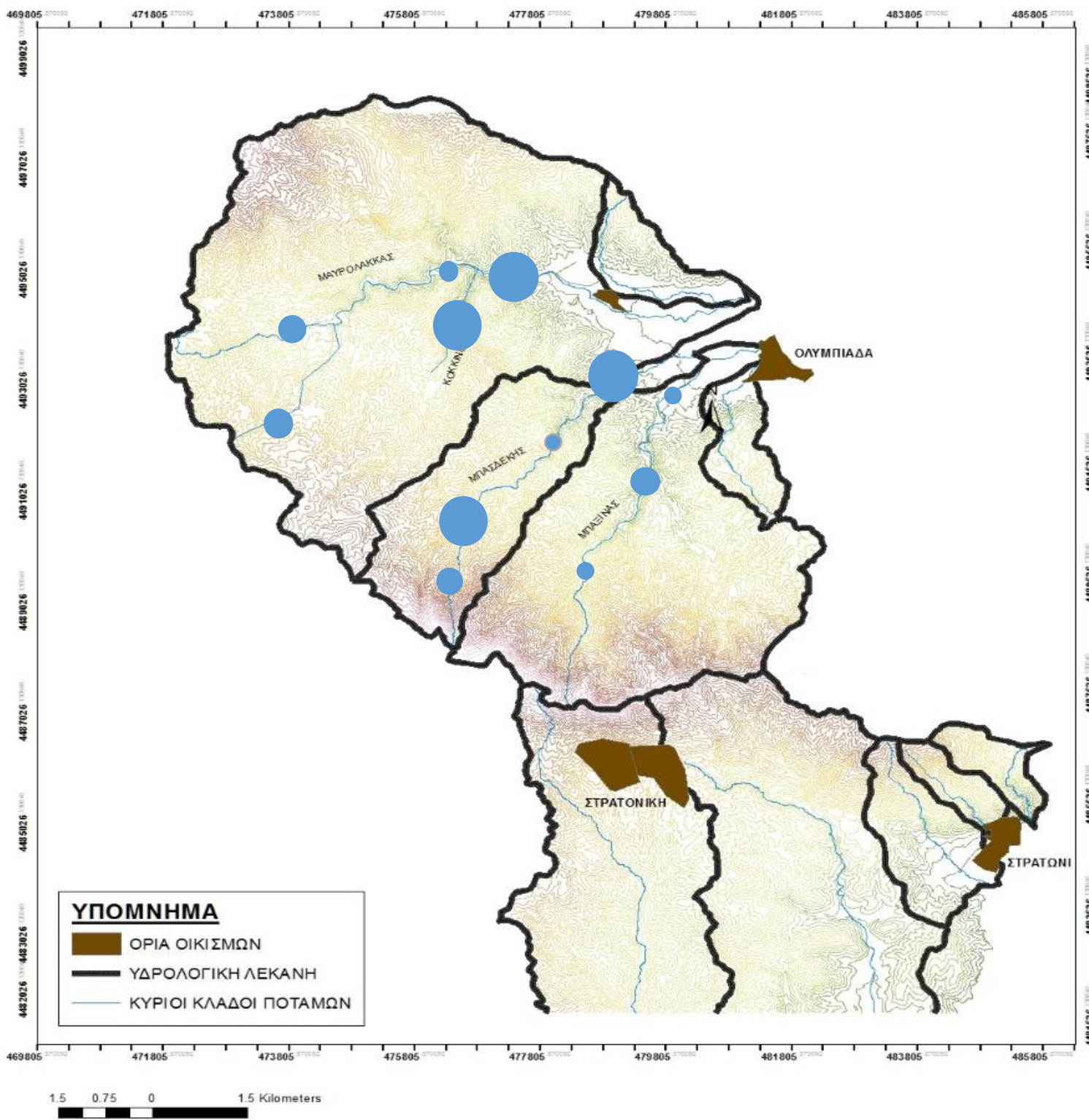
## Σίδηρος – Fe

Στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν, η συγκέντρωση σε Fe κυμαίνεται από 2,28% έως 6,08%. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Fe την εμφανίζει το δείγμα SS11 (6,08%) ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS07 (2,28%). Στο χάρτη της Εικόνας 4.8, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Fe για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Fe χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.8 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	2,28 – 3,58 %
	3,58 – 4,88 %
	4,88 – 6,08 %

Πίνακας 4.8: Κλάσεις συγκεντρώσεων Fe στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων

Ο Fe, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Mn, Ag, As, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,39 έως +0,58. Συνεπώς δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη σχέση του Fe με τα υπόλοιπα στοιχεία.






Εικόνα 4.8: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Fe για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων



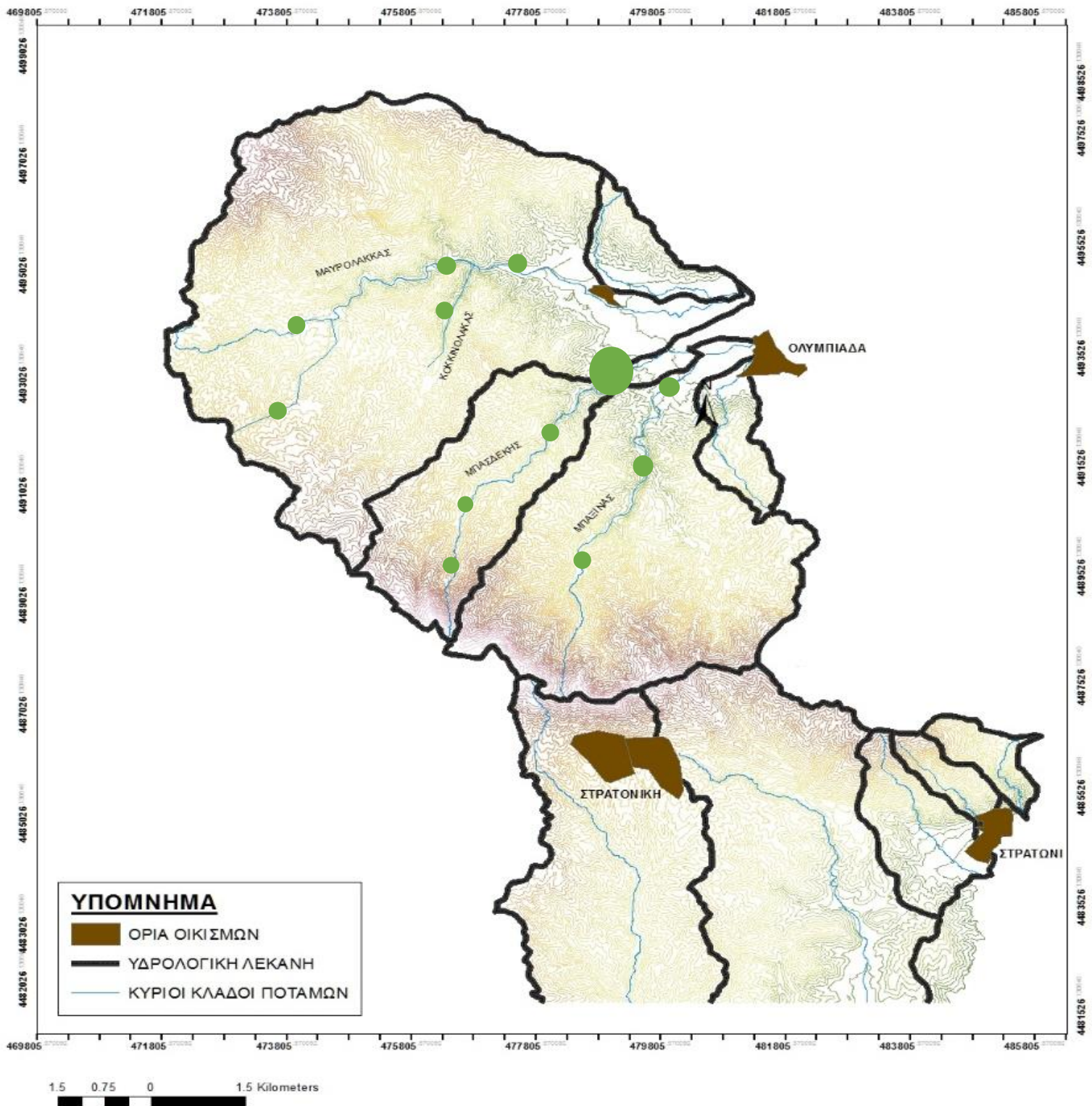
## Αρσενικό – As

Η συγκέντρωση As, στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, κυμαίνεται από 18 ppm έως 510 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε As την εμφανίζει το δείγμα SS12 (510 ppm) ενώ την χαμηλότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS02 (18 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.9, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του As για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του As χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος 164 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.9 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	18 – 182 ppm
	182 – 346 ppm
	346 – 510 ppm

Πίνακας 4.9: Κλάσεις συγκεντρώσεων As στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Το As, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, Pb, Cd, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,28 έως +0,94. Το As ,εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με το Sb και πολύ καλή θετική συσχέτιση (+0.94) με το Bi. Επομένως, μπορούμε να καταλήξουμε ότι, πιθανότατα, το As έμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά και κοινή προέλευση με το Bi, όπως και πιθανή κοινή πηγή με το Sb (π.χ. θειοάλατα, όπως τενναντίτης).



Εικόνα 4.9: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του As για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

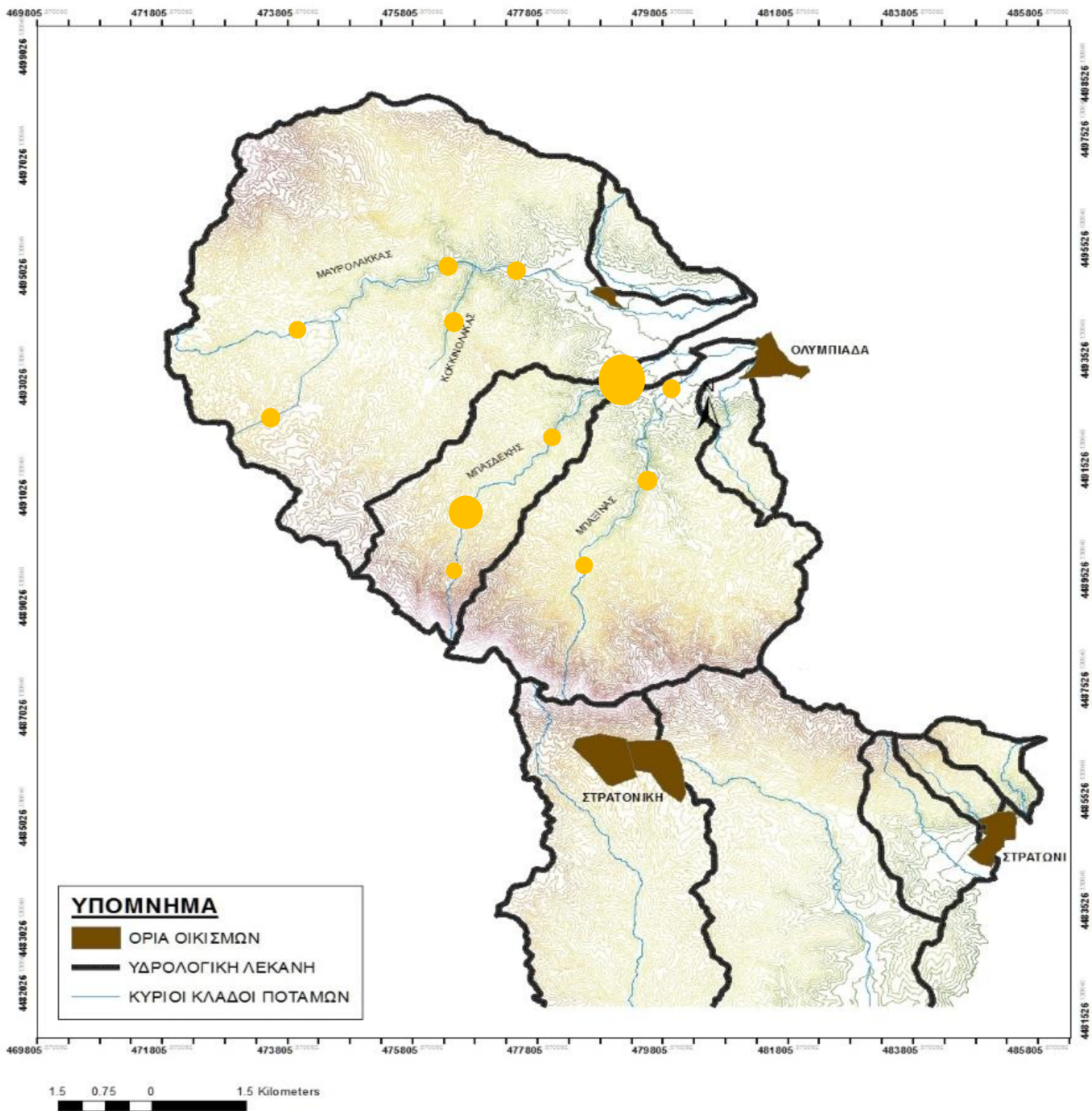
## Κάδμιο – Cd

Η συγκέντρωση Cd, στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, κυμαίνεται από 0,20 ppm έως 5,50 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Cd την εμφανίζει το δείγμα SS11 (5,50 ppm) ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS02 (0,20 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.10, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Cd για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Cd χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.10 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	0,20 – 1,95 ppm
	1,95 – 3,70 ppm
	3,70 – 5,50 ppm

Πίνακας 4.10: Κλάσεις συγκεντρώσεων Cd στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Το Cd, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Zn, Ag, Ni, Ni, Mn, Fe, As, Co, Mo, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0.50 έως +0.34. Επομένως, δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για πιθανή συσχέτισή του με άλλα στοιχεία.



Εικόνα 4.10: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Cd για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

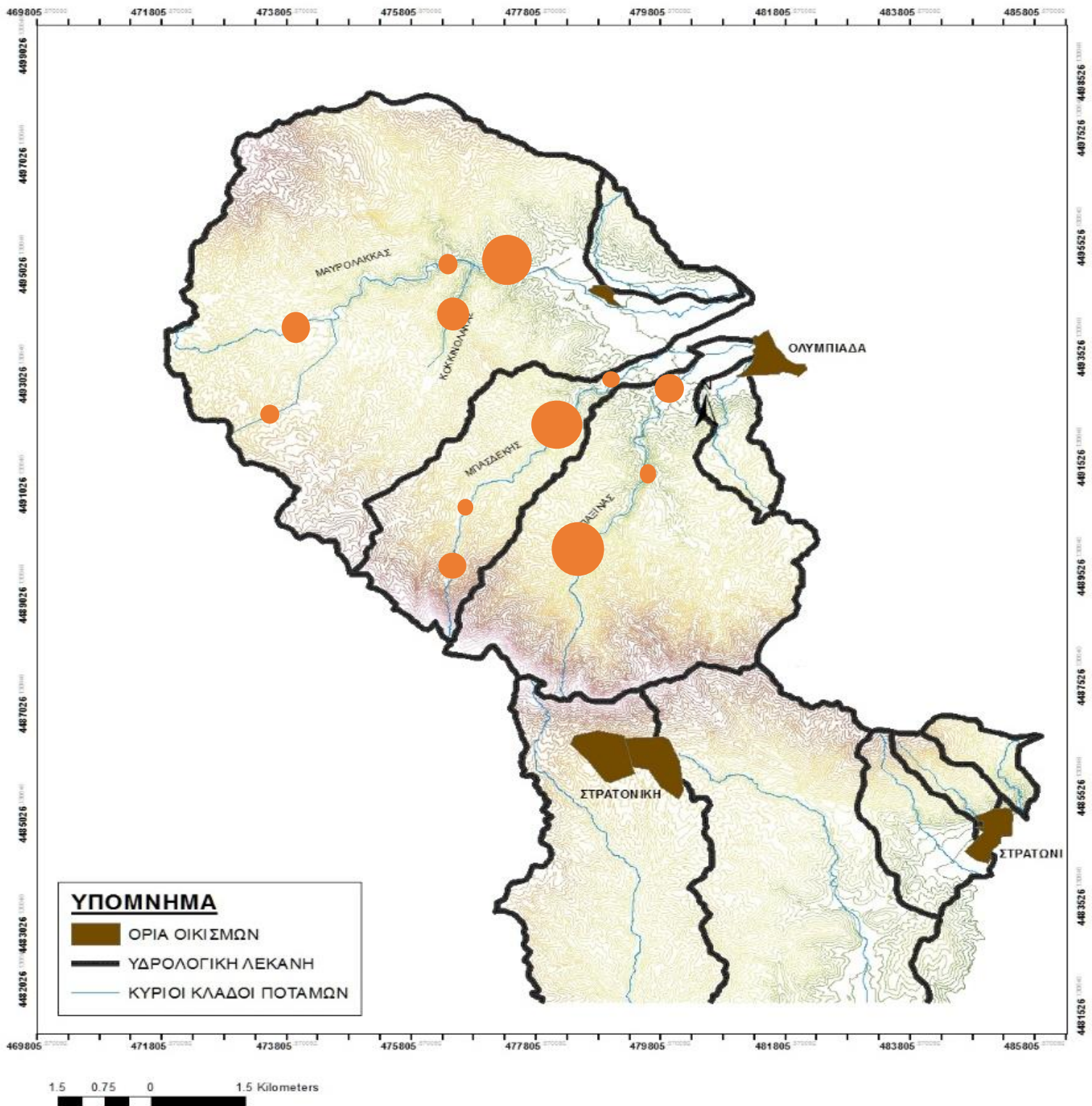
## Μολυβδαίνιο – Mo

Η συγκέντρωση Mo, στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, κυμαίνεται από 0,50 ppm έως 1,00 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Mo την εμφανίζει το δείγμα SS07 (1,00 ppm) ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζουν τα δείγματα SS05, SS11 και SS12 (0,50 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.11, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Mo για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Mo χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με εύρος κλάσης 0,17 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.11 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	0,50 – 0,67 ppm
	0,67 – 0,83 ppm
	0,83 – 1,00 ppm

Πίνακας 4.11: Κλάσεις συγκεντρώσεων Mo στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων




Το Mo, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Zn, Ag, Ni, Ni, Mn, Fe, As, Co, Cd, Sb, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0,41 έως +0,14. Κατά συνέπεια, δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για πιθανή συσχέτισή του με άλλα στοιχεία.



Εικόνα 4.11: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Mo για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

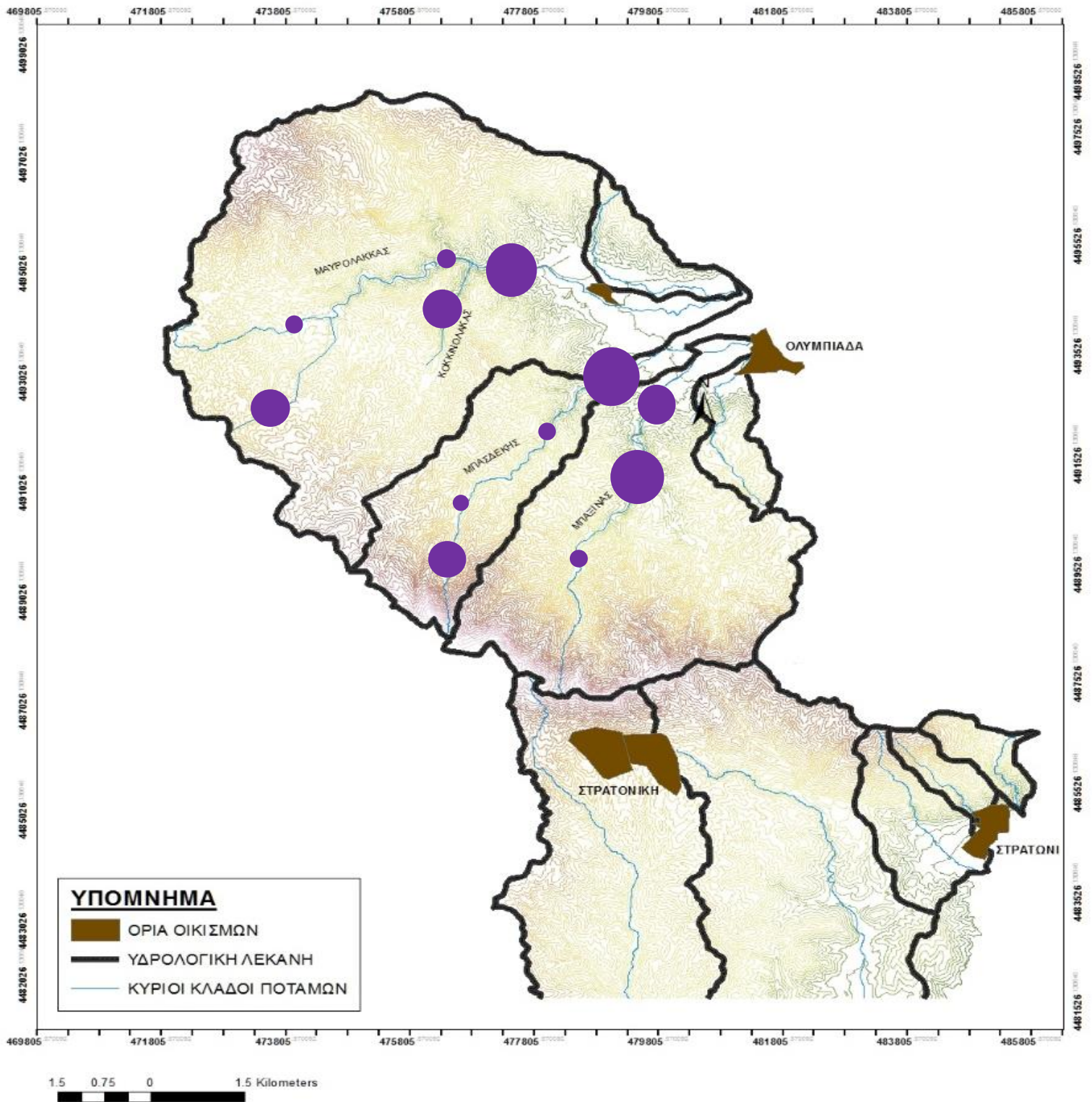
## Αντιμόνιο – Sb

Στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, η συγκέντρωση σε Sb κυμαίνεται από 2,20 ppm έως 29,70 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Sb την εμφανίζει το δείγμα SS12 (29,70 ppm) ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS02 (2,20 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.12, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Sb για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Sb χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις. Η πρώτη κλάση έχει εύρος 2,20 – 11,37 ppm, η δεύτερη 11,37 – 20,54 ppm και η τρίτη 20,54 – 29,70 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.12 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	2,20 – 11,37 ppm
	11,37 – 20,54 ppm
	20,54 – 29,70 ppm

**Πίνακας 4.12: Κλάσεις συγκεντρώσεων Sb στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων**

Το Sb, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Ag, Fe, As, Cd, Mo, Mn, Bi και Sn) που κυμαίνονται από -0.30 έως +0.78. Το Sb εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με τον Pb, τον Zn και τον Ag ενώ παρουσιάζει πολύ καλή θετική συσχέτιση με το As. Επομένως μπορούμε να καταλήξουμε ότι το Sb εμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά με το As.






Εικόνα 4.12: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Sb για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων



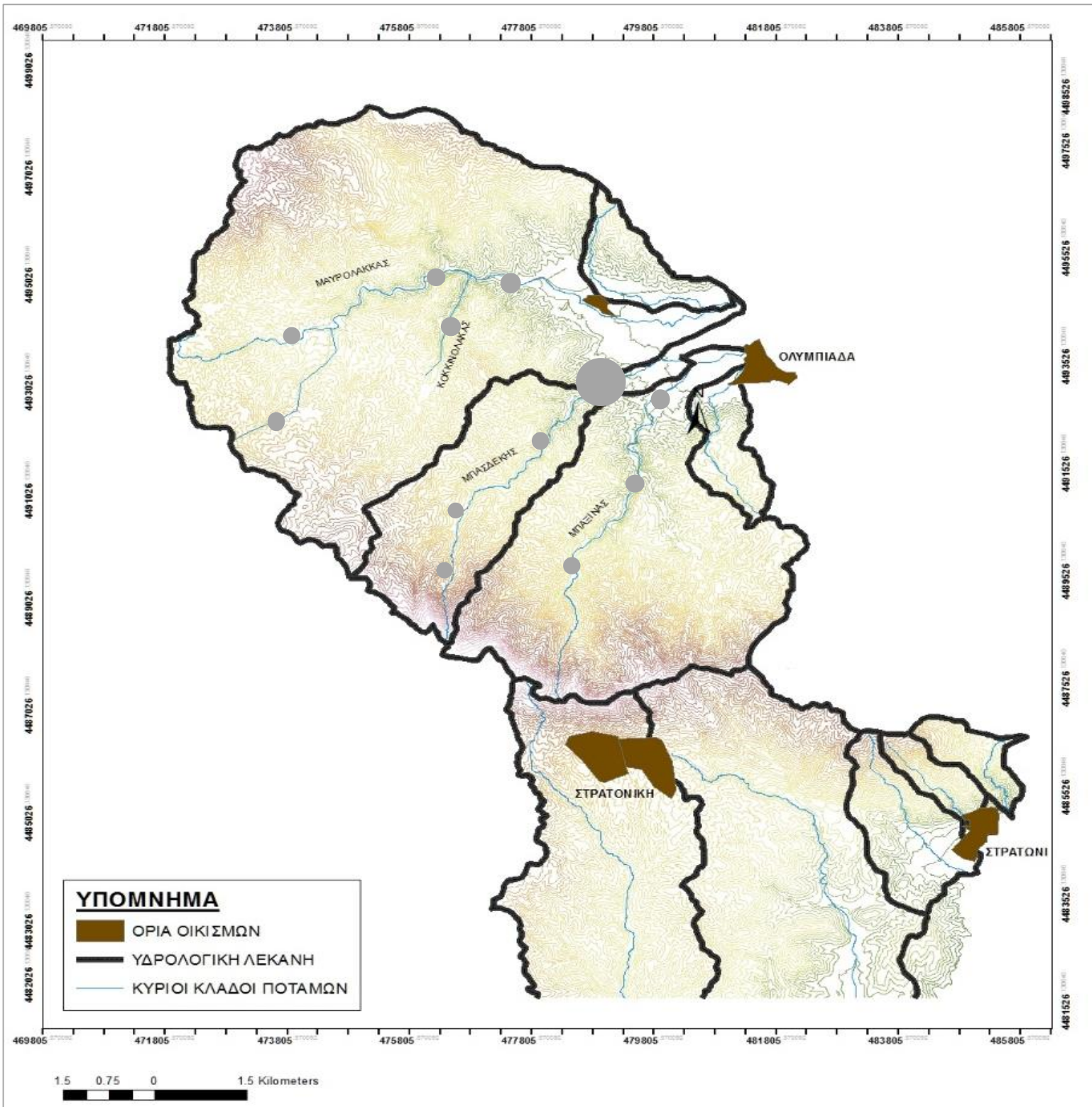
## Βισμούθιο – Bi

Στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος, η συγκέντρωση σε Bi κυμαίνεται από 0,10 ppm έως 9,60 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Bi την εμφανίζει το δείγμα SS12 (9,60 ppm) ενώ την μικρότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS07 (0,10 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.13, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Bi για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Bi χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις. Η πρώτη κλάση έχει εύρος 0,10 – 3,27 ppm, η δεύτερη 3,27 – 6,44 ppm και η τρίτη 6,44 – 9,60 ppm, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.12 που ακολουθεί.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	0,10 – 3,27 ppm
	3,27 – 6,44 ppm
	6,44 – 9,60 ppm

**Πίνακας 4.13: Κλάσεις συγκεντρώσεων Bi στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων**




Το Bi, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Ag, Fe, As, Cd, Mo, Mn, Sb και Sn) που κυμαίνονται από -0.41 έως +0.94. Το Bi εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με τον Pb και τον Ag ενώ παρουσιάζει πολύ καλή θετική συσχέτιση με τον Zn και τον As. Επομένως, μπορούμε να καταλήξουμε ότι, πιθανότατα, το Bi εμφανίζει ανάλογη γεωχημική συμπεριφορά με το As και το Zn, όπως και πιθανή κοινή πηγή με τον Pb και τον Ag.



Εικόνα 4.13: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Βι για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

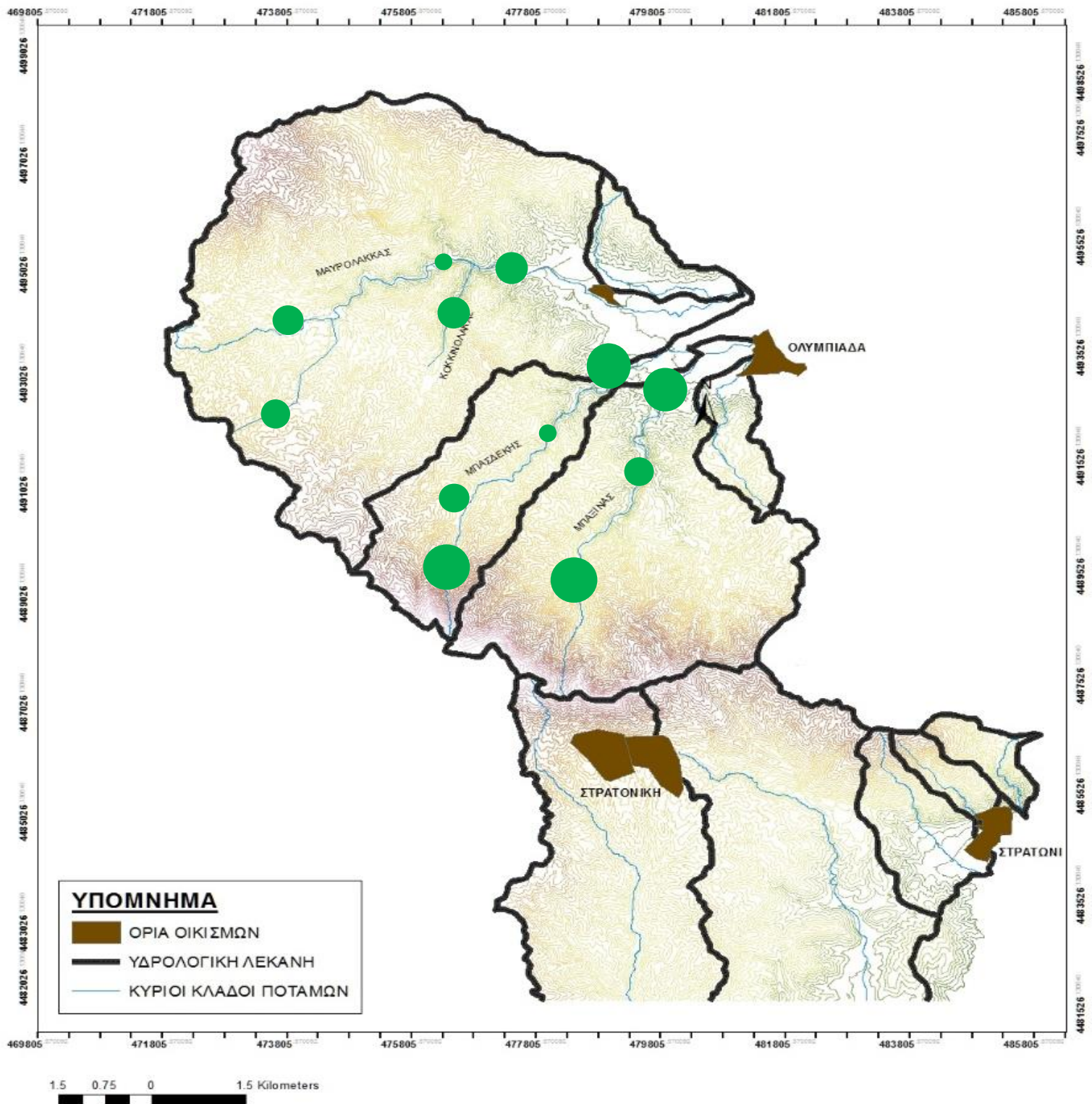
## Κασσίτερος – Sn

Η συγκέντρωση Sn στα δείγματα ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή ενδιαφέροντος κυμαίνεται από 2,80 ppm έως 5,50 ppm. Την υψηλότερη συγκέντρωση σε Sn την εμφανίζει το δείγμα SS12 (5,50 ppm) ενώ την χαμηλότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS02 (2,80 ppm). Στο χάρτη της Εικόνας 4.14, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του Sn για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις του Sn χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις. Η πρώτη κλάση έχει εύρος 2,80 – 3,70 ppm, η δεύτερη 3,70 – 4,60 ppm και η τρίτη 4,60 – 5,50 ppm.

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
	2,80 – 3,70 ppm
	3,70 – 4,60 ppm
	4,60 – 5,50 ppm

Πίνακας 4.14: Κλάσεις συγκεντρώσεων Sn στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων

Το Sn, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.3, παρουσιάζει συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα μέταλλα (Cu, Zn, Ag, Ni, Ni, Mn, Fe, As, Co, Cd, Sb, Bi και Mo) που κυμαίνονται από -0,14 έως +0,54. Κατά συνέπεια, δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για πιθανή συσχέτισή του με άλλα στοιχεία.



Εικόνα 4.14: Χάρτης γεωχημικής διασποράς του Sn για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

## Συνολικό φορτίο (Pb, Ni, As, Cd, Sb και Sn)

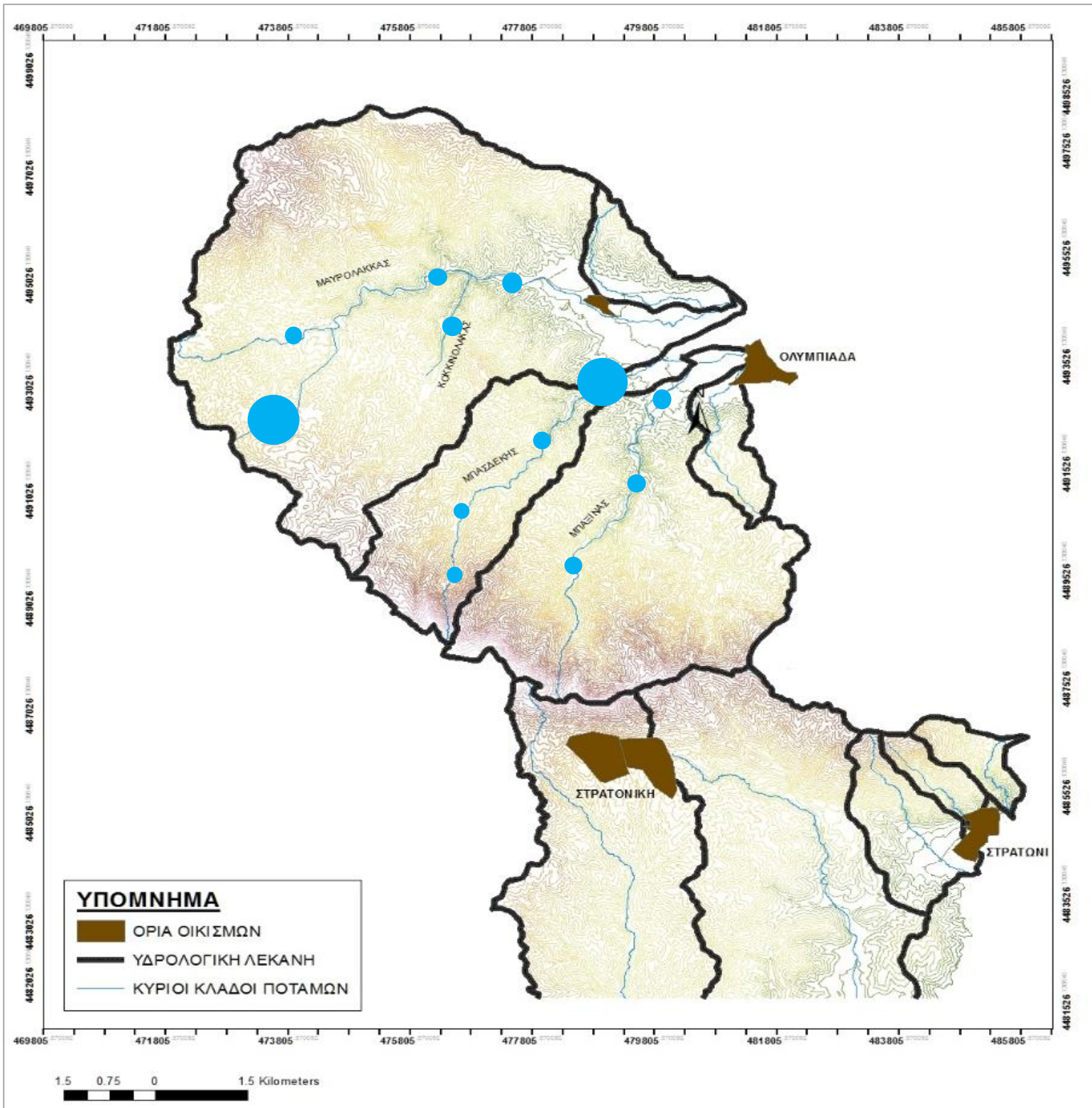
Από το σύνολο των στοιχείων που αναλύθηκαν, επιλέχθηκαν τα στοιχεία Pb, Ni, As, Cd, Sb και Sn καθώς πρόκειται για τα μέταλλα και μεταλλοειδή με τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα για το περιβάλλον (υψηλή τοξικότητα). Το συνολικό φορτίο των μετάλλων Pb, Ni, As, Cd, Sb και Sn στα δείγματα ιζημάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος κυμαίνεται μεταξύ 162,5 ppm έως 1148,7 ppm. Το υψηλότερο συνολικό φορτίο εμφανίζεται στο δείγμα SS12 (1148,7ppm), το οποίο είναι πιθανό να οφείλεται σε σημειακή ανθρωπογενή πηγή, ενώ την χαμηλότερη συγκέντρωση την εμφανίζει το δείγμα SS02 (162,5 ppm). Για το δείγμα SS10, το οποίο παρουσιάζει υψηλό συνολικό φορτίο, είναι πιθανά επηρεασμένο από παλαιά απορρίμματα ή μεταλλοφόρες θέσεις. Στον πίνακα 4.15 παρουσιάζεται το συνολικό φορτίο για κάθε θέση δειγματοληψίας όπως επίσης και το ρέμα από το οποίο έγινε η λήψη δείγματος. Γενικά, δεν παρατηρούμε υψηλή επιβάρυνση σε κάποια λεκάνη απορροής. Στο χάρτη της Εικόνας 4.15, παρουσιάζεται η γεωχημική διασπορά του συνολικού φορτίου για τα δείγματα των ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις, χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις. Η πρώτη κλάση έχει εύρος 162,5 – 491,2 ppm, η δεύτερη 491,2 – 819,9 ppm και η τρίτη 819,9 – 1148,7 ppm. Ταυτόχρονα, οι συνολικές συγκεντρώσεις διαχωρίστηκαν στα επιμέρους στοιχεία, για την αναγνώριση πιθανών μεταβολών μεταξύ των ποσοστών συμμετοχής των στοιχείων (Εικ. 4.16).

Κωδικός Δείγματος	Ρέμα	Συνολικό φορτίο δείγματος
SS01	Μαυρόλακκας	491
SS02	Μαυρόλακκας	162,5
SS03	Κοκκινόλακκας	395,4
SS04	Μπαξίνας	295,1
SS05	Μπαξίνας	371,8
SS06	Μπαξίνας	404,2
SS07	Μπασδέκης	186,4
SS08	Μαυρόλακκας	171,7
SS09	Μπασδέκης	416
SS10	Μαυρόλακκας	702,8
SS11	Μπασδέκης	163,5
SS12	Μπασδέκης	1148,7

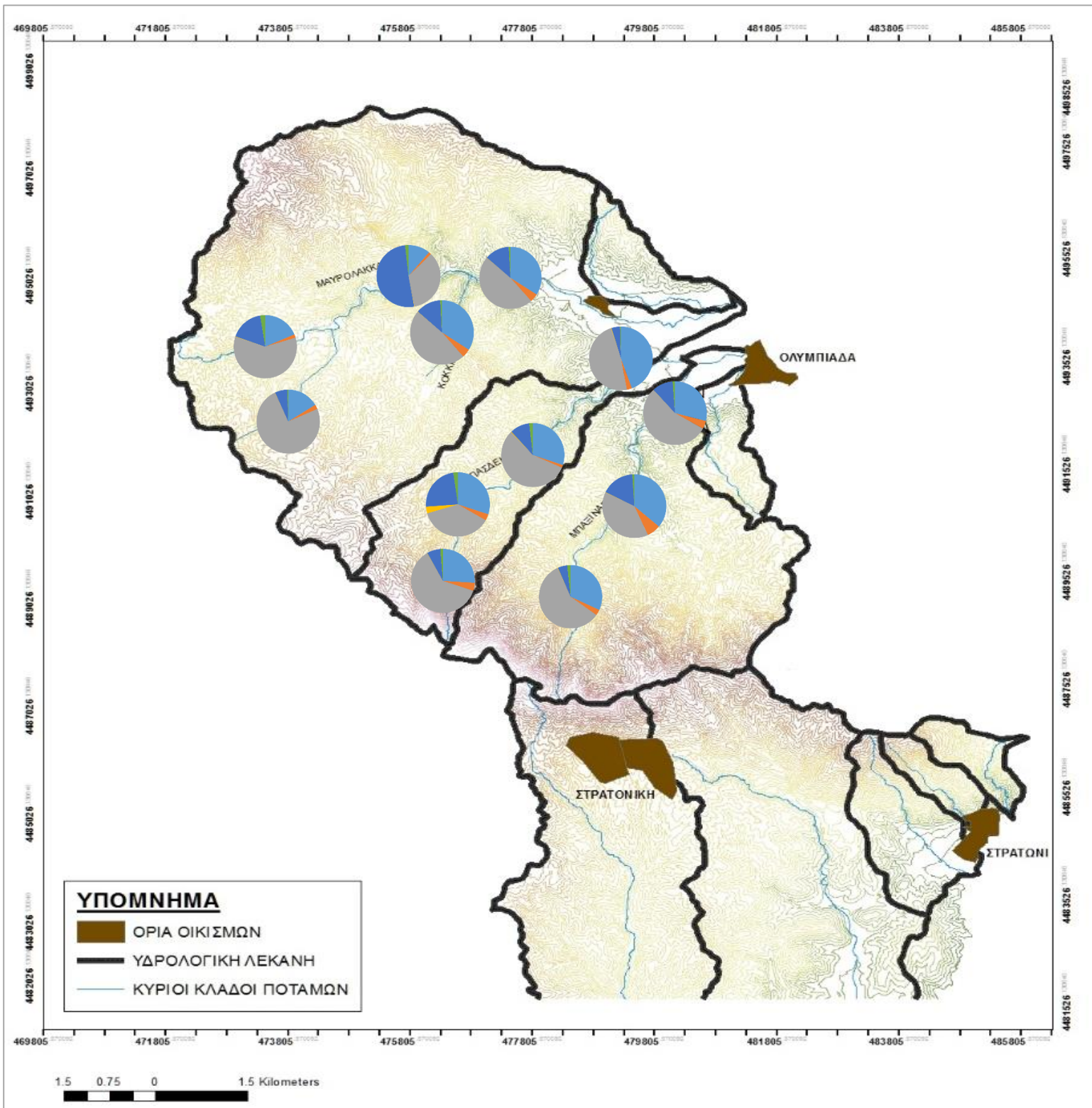
Πίνακας 4.15: Συνολικό φορτίο ( για τα στοιχεία Pb, Ni, As, Cd, Sb και Sn) δειγμάτων ιζημάτων

Κλάσεις	Εύρος κλάσης
●	162,5 – 491,2 ppm
●	491,2 – 819,9 ppm
●	819,9 – 1148,7 ppm

Πίνακας 4.16: Κλάσεις συγκέντρωσης συνολικού φορτίου στα δείγματα ιζημάτων ρεμάτων



Εικόνα 4.15: Χάρτης γεωχημικής διασποράς συνολικού φορτίου για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων

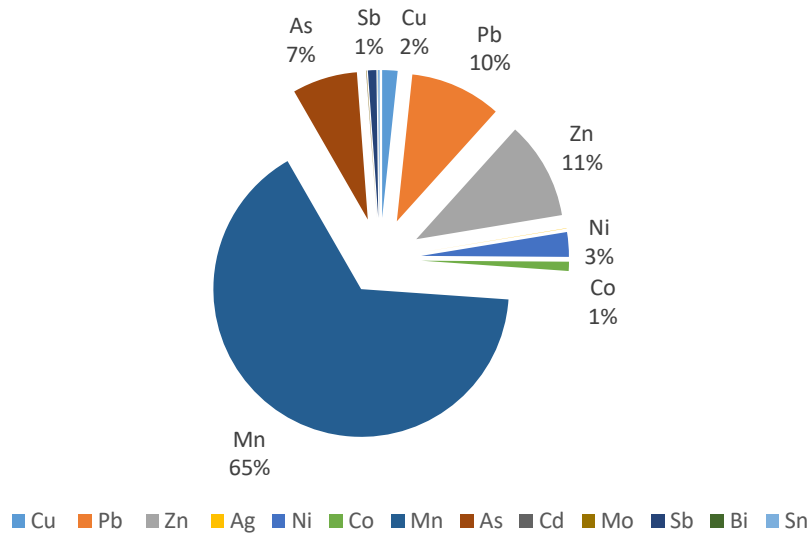


■ As ■ Sb ■ Pb ■ Cd ■ Ni ■ Sn

Εικόνα 4.16: Χάρτης γεωχημικής διασποράς συνολικού φορτίου για τα δείγματα των ιζημάτων ρεμάτων με διαχωρισμό των επιμέρους στοιχείων

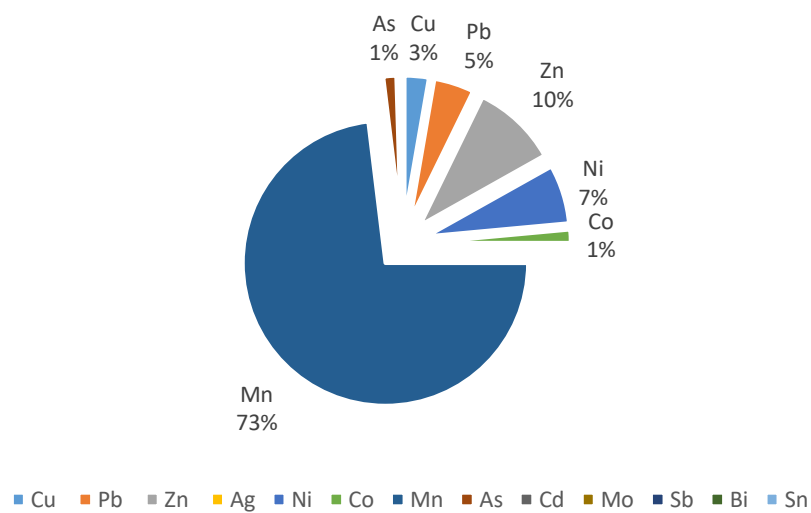


### Δείγμα ιζήματος SS01



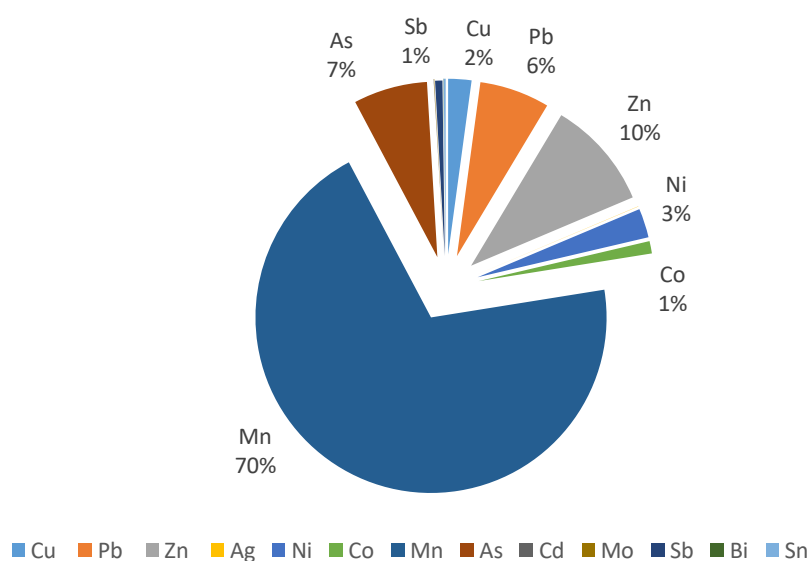
Διάγραμμα 4.1: Επί τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS01 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS02



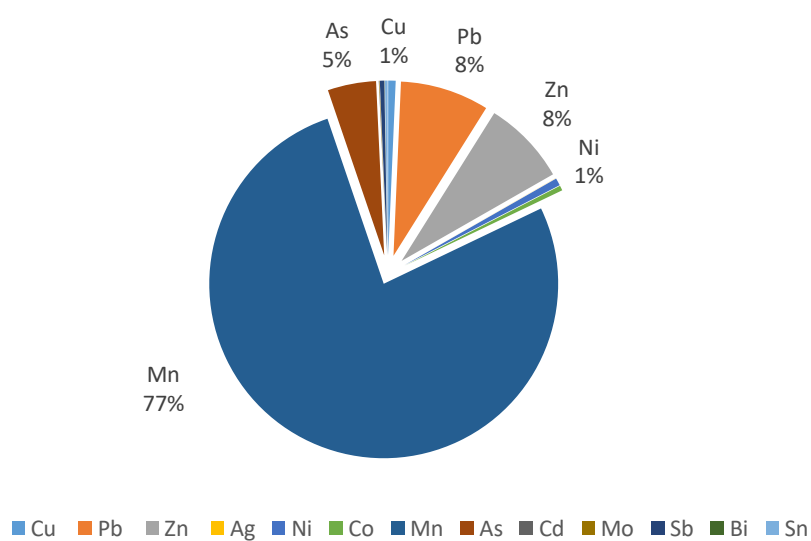
Διάγραμμα 4.2: Επί τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS02 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS03



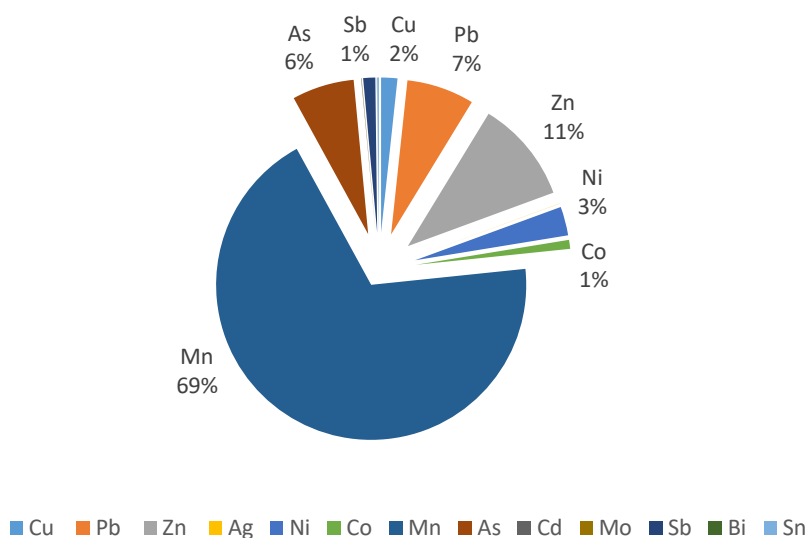
Διάγραμμα 4.3: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS03 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS04



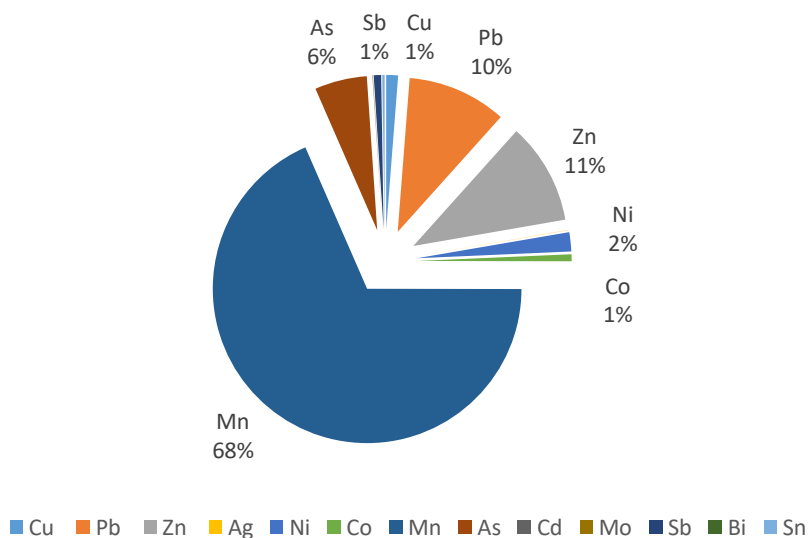
Διάγραμμα 4.4: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS04 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS05



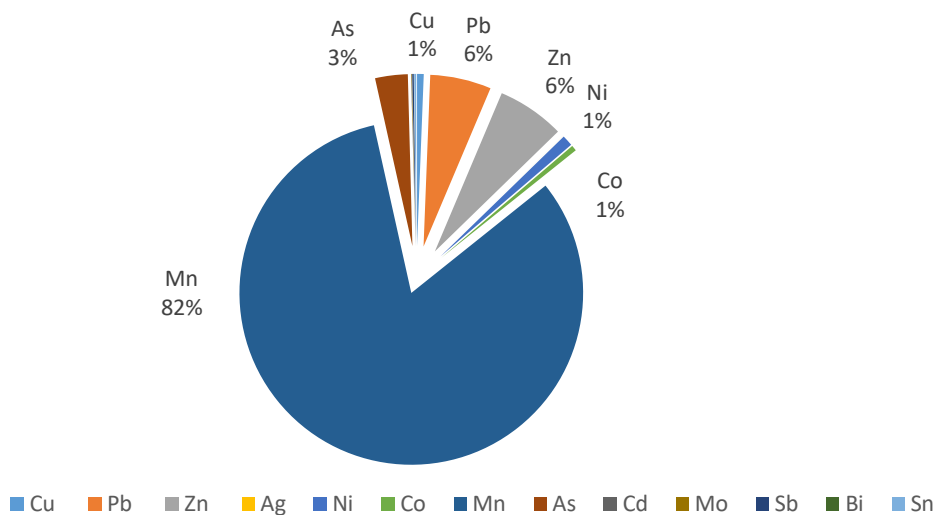
Διάγραμμα 4.5: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS05 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS06



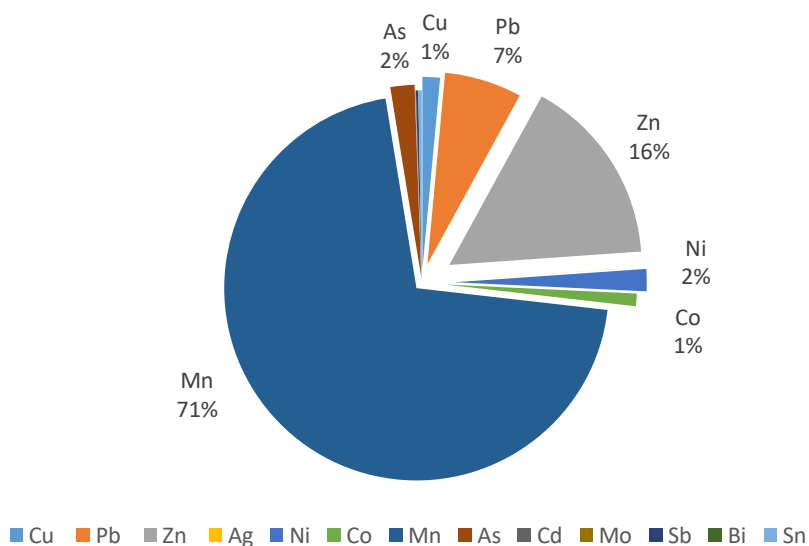
Διάγραμμα 4.6: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS06 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS07



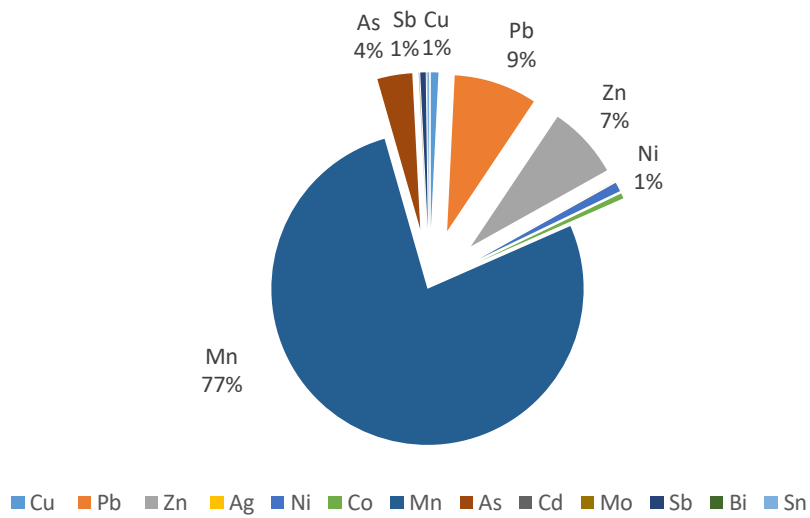
Διάγραμμα 4.7: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS07 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS08



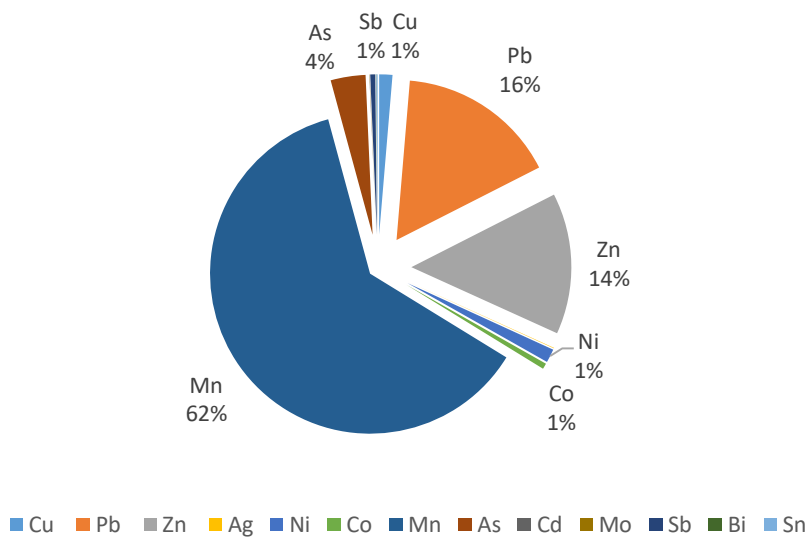
Διάγραμμα 4.8: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS08 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS09



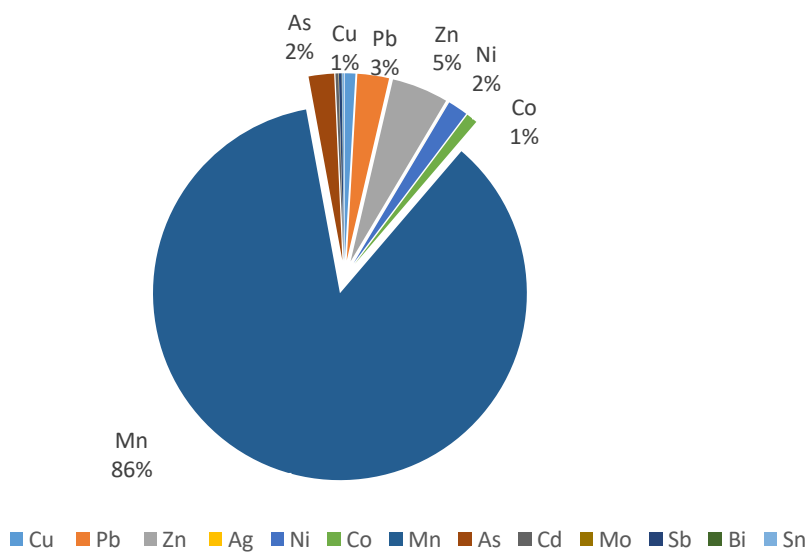
Διάγραμμα 4.9: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS09 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS10



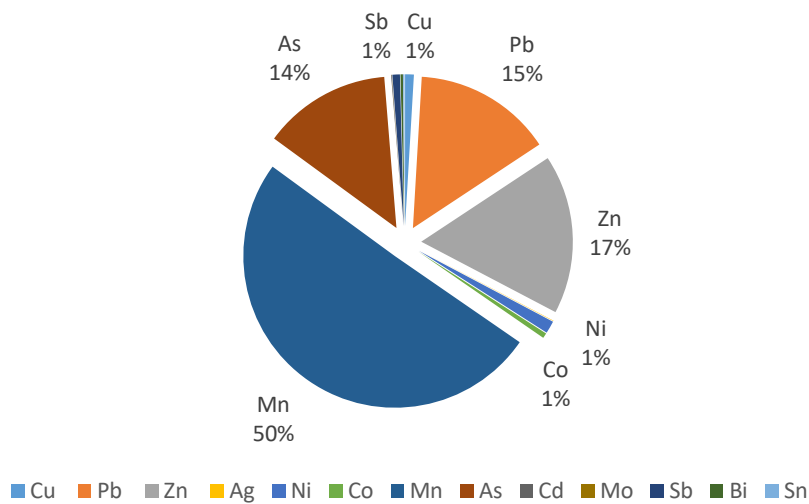
Διάγραμμα 4.10: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS10 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS11



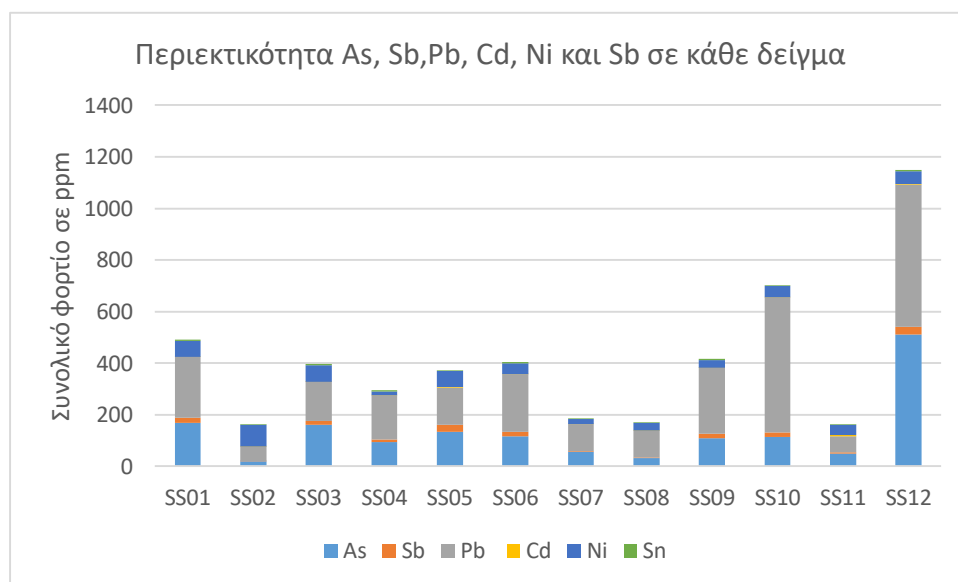
Διάγραμμα 4.11: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS11 (συνολικό φορτίο)

### Δείγμα ιζήματος SS12

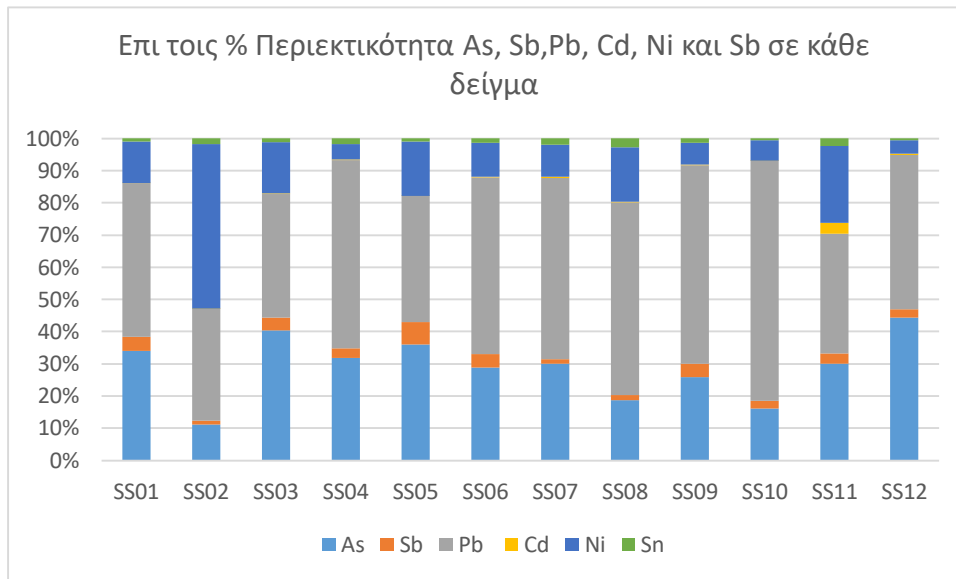


Διάγραμμα 4.12: Επι τοις % περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων στο δείγμα ιζήματος SS12 (συνολικό φορτίο)

Παρατηρούμε ότι το στοιχείο που επικρατεί σε κάθε δείγμα είναι το Mn με ποσοστό που κυμαίνεται από 86% (στο δείγμα SS11) μέχρι 50% (στο δείγμα SS12) στο σύνολο του φορτίου μετάλλων. Τα στοιχεία που ακολουθούν σε αφθονία στα δείγματα των ιζημάτων είναι ο Zn και Pb με ποσοστά που κυμαίνονται από 17% (στο δείγμα SS12) έως 5% (στο δείγμα SS11) 15% (στο δείγμα SS12) έως 3% (στο δείγμα SS11) αντίστοιχα. Με χαμηλότερα ποσοστά ακολουθούν τα στοιχεία As, Ni, Cu, Co, Sb, Sn, Bi, Cd, Mo και Ag. Στη συνέχεια, ακολουθεί συγκριτικό διάγραμμα (Διάγραμμα 4.13) που παρουσιάζει τις περιεκτικότητες των As, Sb, Pb, Cd, Ni και Sb σε κάθε δείγμα καθώς και το Διάγραμμα 4.14 το οποίο παρουσιάζει τις περιεκτικότητες % ίδιων στοιχείων σε κάθε δείγμα. Στα συγκεκριμένα διαγράμματα (όπως και στον χάρτη της εικόνας 4.16) έχουμε επιλέξει να μην τοποθετηθούν τα ολιγοστοιχεία Mn και Fe καθώς λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία δεν θα ήταν εύκολο να αποδοθούν τα αποτελέσματα με τρόπο που να μπορούν να συγκριθούν. Αντίστοιχα, δεδομένου των πολύ μικρών συγκεντρώσεων στα δείγματα, στα συγκριτικά διαγράμματα και στον χάρτη της εικόνας 4.16 δεν λαμβάνουν μέρος τα στοιχεία Ag, Co, Mo, Bi και Sn.



Διάγραμμα 4.13: Περιεκτικότητα As, Sb, Pb, Cd, Ni και Sb σε κάθε δείγμα



**Διάγραμμα 4.14: Επι τοις % Περιεκτικότητα As, Sb,Pb, Cd, Ni και Sb σε κάθε δείγμα**

Καταλήγοντας, το δείγμα SS12 εμφανίζει τη μεγαλύτερη επιβάρυνση και περιέχει περίπου 45% As και 45% Pb ενώ το δείγμα SS02 περιέχει περίπου 50% Ni και 35% Pb. Συνδέοντας τα ευρήματα αυτά με τα αποτελέσματα των συντελεστών συσχέτισης, προκύπτει ότι η υψηλή περιεκτικότητα As και Pb στο δείγμα SS12, είναι πιθανό να οφείλεται στην ύπαρξη θειοαλάτων του Pb όπως ο βουλανζερίτης. Όσον αφορά στο δείγμα SS02, ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ χαμηλός, συνεπώς δεν μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για πιθανή συσχέτισή μεταξύ των Ni και Pb.

#### 4.2 Ορυκτολογία ιζημάτων – Αποτελέσματα XRD

Βάσει των αποτελεσμάτων της Περιθλασιμετρίας Ακτίνων-Χ (Πίνακας 3.2), παρατηρούμε ότι τα ορυκτά που απαντώνται στα δείγματα ιζημάτων που εξετάστηκαν ανήκουν κυρίως στην κατηγορία των πυριτικών ορυκτών και προέρχονται από τη διάβρωση, την αποσάθρωση και μεταφορά υλικού από τα μητρικά πετρώματα της περιοχής (γνεύσιοι, αμφιβολίτες και σχιστόλιθοι). Όπως προκύπτει, στο σύνολο των δειγμάτων επικρατεί ο χαλαζίας ενώ σε μικρότερα ποσοστά απαντώνται κερροσίλβη, ενστατίτης, μοσχοβίτης, ανορθίτης, καολινίτης, γλαυκοφανής, ριβεκίτης και αλβίτης. Σε ίχνη (και με επιφύλαξη) τα δείγματα περιείχαν βαρίτη, σουλενβεργίτη, βουλανζερίτη, τενναντίτη βουρτσίτη, χλωρίτη, βιοτίτη, σοδάλιθο, ορθόκλαστο, ιλλίτη και λωμοντίτη.

Στα αποτελέσματα του XRD εντοπίσαμε πρωτογενή θειούχα ορυκτά, θειοάλατα (βουλανζερίτης, τενναντίτης και βουρτσίτης) και θειικά ορυκτά (σουλενβεργίτης), σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Παρόλ'αυτά συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με τα



απολέσματα του χημισμού των ιζημάτων ρεμάτων δεν φαίνεται να υπάρχει άμεση συσχέτιση της εμφάνισης πρωτογενών θειούχων και θειικών ορυκτών με την ποιότητα των δειγμάτων των ιζημάτων.

### 4.3 Συντελεστές Συσχέτισης

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.4, τα στοιχεία τα οποία έχουν καλή θετική συσχέτιση μεταξύ τους είναι τα: Cu – Ni (+0,77), Cu – Co (+0,82), Pb – As (+0,74), Pb – Sb (+0,67), Pb – Bi (+0,73), Zn – As (+0,84), Zn – Sb (+0,68), Zn – Bi (+0,85), Ag – As (+0,78), Ag – Sb (+0,72), Ag – Bi (+0,75) και Ni – Co (+0,72). Ενώ, αυτά που παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ τους είναι τα στοιχεία: Pb – Zn (+0,93), Pb – Ag (+0,98), Zn – Ag (+0,95), Co – Fe (+0,88) και As – Bi (+0,94).

Η υψηλή θετική τιμή συσχέτισης μεταξύ Pb – Ag, είναι πολύ πιθανό να συνδέεται γεωχημικά με την ύπαρξη γαληνίτη στην περιοχή. Ακόμα η καλή θετική συσχέτιση που παρουσιάζεται μεταξύ Pb – As, Pb – Sb και Pb – Bi είναι πιθανό να οφείλονται στην ύπαρξη θειοαλάτων του Pb, όπως βουλανζερίτης.

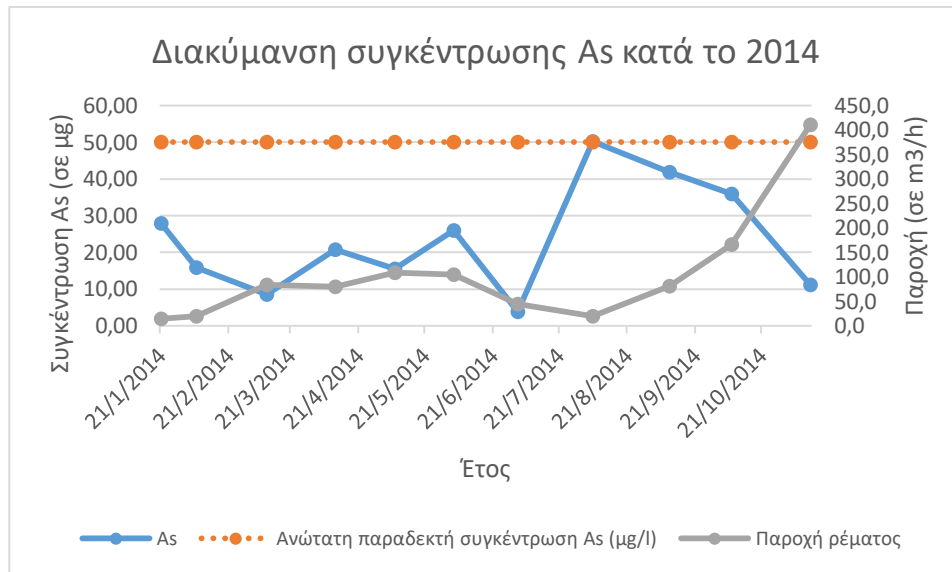
Η πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ Zn και Ag, καθώς και η καλή θετική συσχέτιση μεταξύ των Zn – Ag και Zn – Pb είναι πολύ πιθανό να οφείλονται στην ύπαρξη τενναντίτη στην περιοχή.

Τέλος, η πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ Co – Fe συνδέεται πιθανότατα με την παρουσία σιδηροπυρίτη ή οξειδίων/υδροξειδίων (π.χ. αιματίτης, φερριυδρίτης).

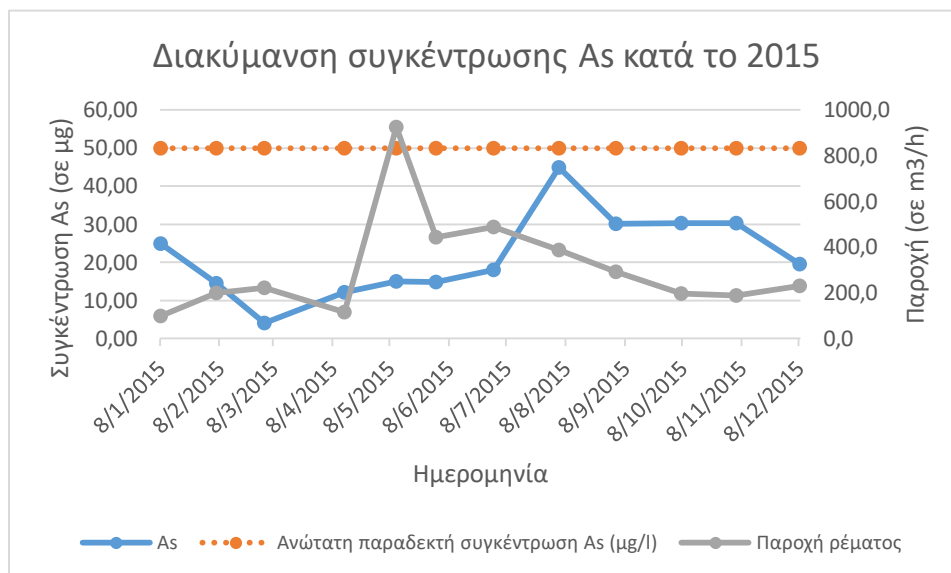
## 4.4 Αποτελέσματα γεωχημείας νερών

### 4.4.1 Ανάλυση δεδομένων

Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουν την μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε ιχνοστοχείου κατά τη διάρκεια του έτους. Επιλέχθηκαν τα έτη 2014 και 2015 καθώς για τα συγκεκριμένα έτη υπήρχε σημαντικός αριθμός μετρήσεων σε σχέση με άλλες περιόδους δειγματοληψίας (π.χ. 2007, 2008). Επιπλέον απεικονίζονται οι τιμές των ανώτατων αποδεκτά ορίων στα διαγράμματα, που ορίζονται βάσει της οδηγίας 98/83/EC (Πίνακας 2, Παράρτημα IV).



**Διάγραμμα 4.15: Διακύμανση συγκέντρωσης As κατά το 2014**



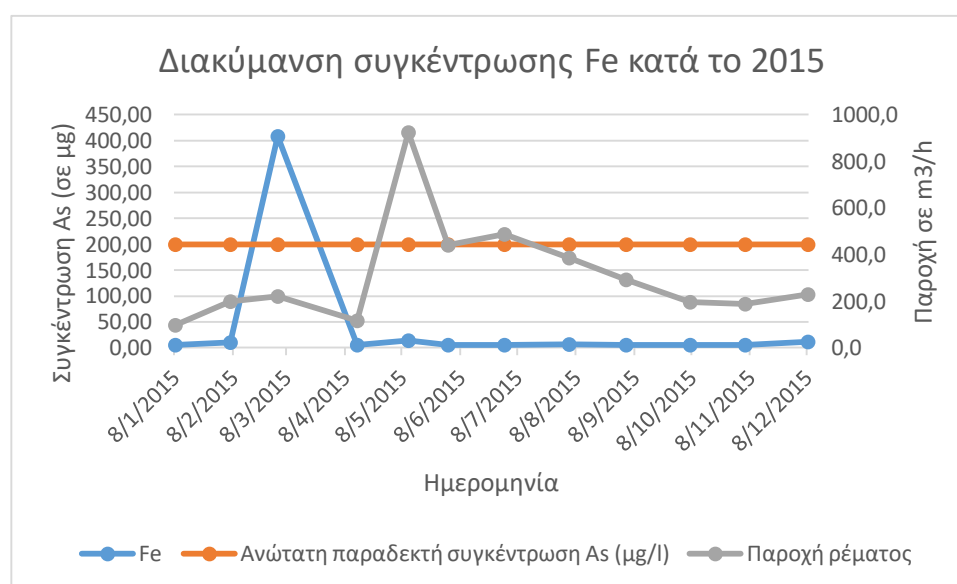
**Διάγραμμα 4.16: Διακύμανση συγκέντρωσης As κατά το 2015**

Στο διάγραμμα 4.15 παρατηρούμε ότι κατά τις μετρήσεις της 21/08/2014, η συγκέντρωση του As είναι η υψηλότερη και ισούται με τα ανώτατα αποδεκτά όρια βάσει της οδηγίας 98/83/EC ενώ την ίδια στιγμή η παροχή του ρέματος είναι αρκετά χαμηλή. Γενικά, στο διάγραμμα 4.15 η συγκέντρωση του As φαίνεται να συνδέεται με την παροχή του ρέματος. Αντίθετα, στην περίπτωση του διαγράμματος 4.16, δεν φαίνεται να υπάρχει η ίδια σύνδεση καθώς για κάποιο λόγο φαίνεται να υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις As ακόμα και σε περιόδους υψηλής παροχής του ρέματος. Το φαινόμενο αυτό, συνδέεται πιθανότατα με τη γεωχημική συμπεριφορά του As. Ως μεταλλοειδές μπορεί να δημιουργεί στα επιφανειακά και υπόγεια νερά τόσο κατιόντα, όσο και ανιόντα/οξυανιόντα, με

αποτέλεσμα να ευνοείται η διαλυτοποίησή του. Σε γενικές γραμμές οι συγκεντρώσεις As στο σημείο δειγματοληψίας, είναι κάτω από τα ανώτατα αποδεκτά όρια.

Όσον αφορά στην συγκέντρωση του Cd όπως και του Cu, όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.5, είναι σε κάθε περίπτωση χαμηλότερες των ανώτατων αποδεκτών ορίων που ορίζονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (5 µg/l και 2000 µg/l αντίστοιχα) και δεν φαίνεται να επηρεάζονται από την παροχή του ρέματος.

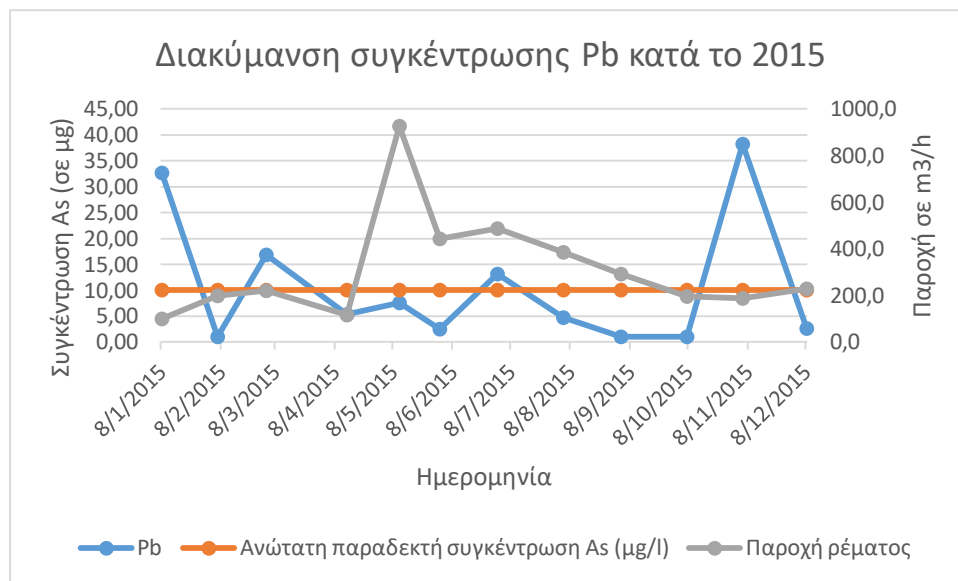
Το διάγραμμα 4.17 παρουσιάζει τη διακύμανση της συγκέντρωσης Fe κατά τη διάρκεια του έτους 2015. Δεν παρουσιάζεται αντίστοιχο διάγραμμα άλλης χρονιάς διότι σε κάθε περίπτωση η εικόνα της διακύμανσης είναι αντίστοιχη. Για κάποιο λόγο, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.5, οι συγκεντρώσεις Fe την περίοδο του Μαρτίου είναι ιδιαίτερα αυξημένες και υπερβαίνουν κατά μεγάλο βαθμό τα ανώτατα όρια (200 µg/l). Το γεγονός αυτό, ίσως συνδέονται με διαλυτοποίηση δευτερογενών φάσεων που περιέχουν Fe στη σύστασή τους



**Διάγραμμα 4.17: Διακύμανση συγκέντρωσης Fe κατά το 2015**

Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις Mn και Ni, η πλειονότητα των μετρήσεων δίνουν πολύ χαμηλές και κάτω του ορίου ανιχνευσιμότητας τιμές. Σε δύο μετρήσεις η συγκέντρωση του Mn υπερβαίνει τα ανώτατα αποδεκτά όρια (50 µg/l), ενώ στην περίπτωση του Ni μία μέτρηση υπερβαίνει τα ανώτατα αποδεκτά όρια (20 µg/l). Και στις δύο περιπτώσεις δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική επίδραση της παροχής του ρέματος λόγω των πολύ μικρών συγκεντρώσεων.

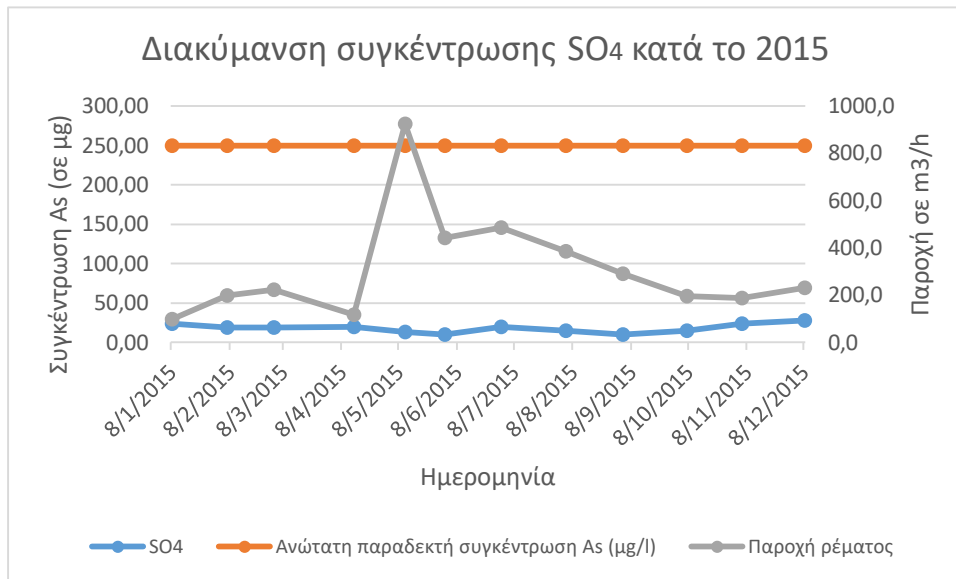
Το διάγραμμα 4.18 παρουσιάζει τη διακύμανση της συγκέντρωσης Pb κατά τη διάρκεια του έτους 2015. Δεν παρουσιάζεται αντίστοιχο διάγραμμα άλλης χρονιάς διότι σε κάθε περίπτωση η εικόνα της διακύμανσης είναι αντίστοιχη. Όπως είναι αναμενόμενο, τις περιόδους με χαμηλή παροχή νερού η συγκέντρωση του Pb είναι αυξημένη και αντίστροφα. Ακόμα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.18 αλλά και τον πίνακα 3.5, υπάρχουν αρκετές μετρήσεις που υπερβαίνουν τα ανώτατα αποδεκτά όρια (10 µg/l).



**Διάγραμμα 4.18: Διακύμανση συγκέντρωσης Pb κατά το 2015**

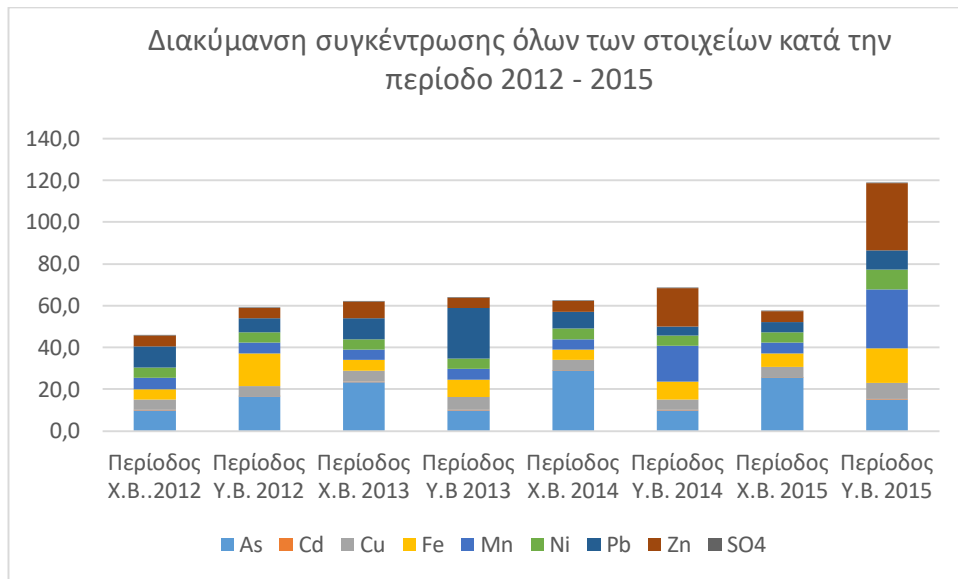
Για την περίπτωση του Zn, όπως προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις είναι κατά βάση αρκετά χαμηλότερες από τα ανώτατα αποδεκτά όρια της ΕΕ (100 µg/l). Επίσης, σημαντικό είναι να επισημάνουμε ότι από το 2013 και μετά, οι μετρήσεις είναι σχεδόν σε κάθε περίπτωση κάτω από τα όρια ανιχνευσιμότητας ανεξάρτητα της παροχής του ρέματος.

Όσον αφορά στα SO<sub>4</sub> όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.19, η συγκέντρωση είναι αρκετά κάτω από τα ανώτατα αποδεκτά όρια της ΕΕ (250 mg/l) ενώ η χρονιά 2015 θεωρείται μια με τις πιο αυξημένες τιμές συγκέντρωσης SO<sub>4</sub>.



**Διάγραμμα 4.19: Διακύμανση συγκέντρωσης SO<sub>4</sub> κατά το 2015**

Στο διάγραμμα 4.20 παρουσιάζεται η διακύμανση της ποιότητας νερών κατά την περίοδο χαμηλής και υψηλής βροχόπτωσης για τα έτη 2012 – 2015. Για την κατασκευή του διαγράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι της περιόδου χαμηλής βροχόπτωσης (Μάιος – Οκτώβριος) και υψηλής βροχόπτωσης (Νοέμβριος – Απρίλιος) για τα έτη 2012 – 2015. Ο διαχωρισμός των μετρήσεων με τον συγκεκριμένο τρόπο έγινε με σκοπό την ενδεχόμενη σύνδεση της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων με την εποχικότητα – παροχή νερού στο ρέμα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.20, δεν μπορούμε να συνδέσουμε πλήρως την συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων με την εποχικότητα καθώς ενώ θα ήταν λογικό την περίοδο χαμηλής βροχόπτωσης η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων να είναι υψηλότερη σε σχέση με την περίοδο υψηλής βροχόπτωσης (λόγω εξάτμισης) παρατηρούμε ότι ανεξαρτήτου περιόδου, για τα έτη 2012 – 2014 και την περίοδο χαμηλής βροχόπτωσης 2015, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων διατηρούνται σχετική σταθερές. Παρόλ'αυτά, κατά την βροχερή περίοδο 2015 παρατηρούνται σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις όλων των ιχνοστοιχείων καθώς και αρκετά υψηλό συνολικό φορτίο. Το φαινόμενο αυτό πιθανότατα συνδέεται με διαλυτοποίηση πρώιμα σχηματισμένων δευτερογενών φάσεων των μετάλλων. Στις μετρήσεις των Cd, SO<sub>4</sub>, και Ni δεν παρατηρείται κάποια επίδραση από τις διαφορές στην παροχή νερού στο ρέμα καθώς οι συγκεντρώσεις είναι σχεδόν σε κάθε περίπτωση κάτω από τα όρια ανιχνευσιμότητας.

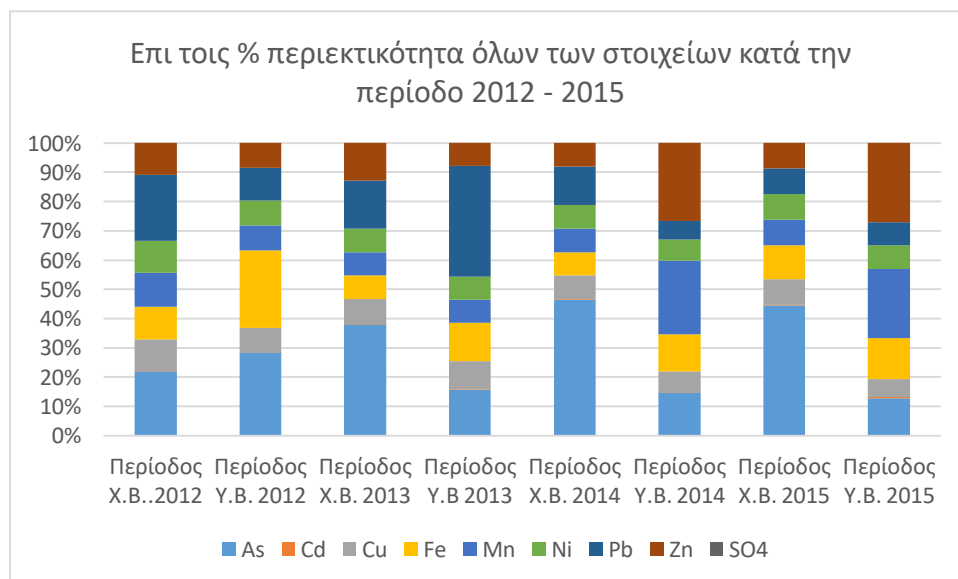


**Διάγραμμα 4.20:** Συγκριτικό διάγραμμα διακύμανσης της ποιότητας νερών κατά την περίοδο χαμηλής και υψηλής βροχόπτωσης για τα έτη 2012 – 2015 , σε mg/l

Όπου Περίοδος X.B.: Περίοδος χαμηλής βροχόπτωσης και

Περίοδος Y.B.: Περίοδος υψηλής βροχόπτωσης

Στο διάγραμμα 4.21 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η επί τοις % περιεκτικότητα όλων των ιχνοστοιχείων ανά περίοδο. Τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σχεδόν σε κάθε περίοδο έχει το As, ακολουθεί ο Pb, ο Zn, ο Fe, αντίστοιχες συγκεντρώσεις παρουσιάζει ο Cu, το Ni και το Mn ενώ το Cd και τα SO<sub>4</sub> έχουν πολύ μικρές συγκεντρώσεις.



**Διάγραμμα 4.21:** Επί τοις % περιεκτικότητα όλων των στοιχείων κατά την περίοδο χαμηλής και υψηλής βροχόπτωσης για τα έτη 2012 – 2015

Τέλος, ο Πίνακας 4.17, που ακολουθεί, παρουσιάζει τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της περιεκτικότητας των μετάλλων στα δείγματα νερών και ιζημάτων. Στον πίνακα αυτό έχουν τοποθετηθεί μόνο τα στοιχεία για τα οποία είχαμε μετρήσεις και για τα δείγματα νερών και ιζημάτων.

Περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων σε νερά							
	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Cu (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)
Ελάχιστη τιμή	3,8	0,1	5,0	5,0	5,0	1,0	5,0
Μέγιστη τιμή	60,0	2,2	19,8	131,8	22,8	70,5	145,0
Περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων σε ιζήματα							
	As (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Ελάχιστη τιμή	18,0	0,2	11,4	911,0	14,3	56,3	109,0
Μέγιστη τιμή	510,0	5,5	50,3	2302,0	83,0	551,3	634,0

Πίνακας 4.17: Σύγκριση μεταξύ εύρους περιεκτικότητας μετάλλων στα δείγματα νερών και ιζημάτων

#### 4.4.2 Αποτελέσματα PHREEQC

Τα μοντέλα «Άμεση καθίζηση» (direct precipitation), «Αραίωση με νερό βροχής» (mixing with rainwater) και «Εξάτμιση» (evaporation) χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό τον προσδιορισμό του γεωχημικού περιβάλλοντος σε διαφορετικές συνθήκες. Για να προσδιορίσουμε ποιές ορυκτές φάσεις καθιζάνουν, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες κορεσμού όπως υπολογίζονται από το πρόγραμμα PHREEQC. Χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες κορεσμού οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι από -1,5 (Ενότητα 3.4.2).

Οι πιο κοινές ορυκτές φάσεις που εμφανίζονται στην πλειοψηφία των αποτελεσμάτων μετά τη χρήση των μοντέλων με οποιεσδήποτε παραμέτρους είναι οι ακόλουθες: κυπρίτης, γκαιτίτης, αιματίτης, μαγνητίτης, λεπιδοκροκίτης, μαγνητίτης, μαγκεμίτης, λεπιδοκροκίτης, τενορίτης,  $PbO_2$ ,  $Fe_3OH_8$  και  $Cu(OH)_2$  ενώ σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις έχουμε  $Zn(OH)_2$ ,  $Ni(OH)_2$ , λανγκίτη, λαρνακίτη κ.α..

Με βάση τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των νερών των ρεμάτων (ουδέτερα έως ελαφρώς αλκαλικά, pH μεταξύ 7,8 έως 8,7) ευνοείται ο σχηματισμός δευτερογενών οξειδίων και υδροξειδίων των μετάλλων και ιδιαίτερα του Fe, τα οποία στις συνθήκες αυτές προσροφούν τα εν διαλύσει κατιόντα βαρέων μετάλλων. Τα μοντέλα PHREEQC που αναπτύχθηκαν επιβεβαιώνουν το σχηματισμό αυτών των φάσεων (π.χ. λεπιδοκροκίτης,

αιματίτης, φερριυδρίτης, μαγκεμίτης), αλλά δεν εντοπίστηκε η παρουσία τους στα ιζήματα των ρεμάτων με τη χρήση του XRD, πιθανότατα λόγω των πολύ μικρών συγκεντρώσεων, αλλά και του κακού βαθμού κρυστάλλωσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Ιζήματα ρεμάτων

Τα συμπεράσματα της έρευνας όσον αφορά στα ιζήματα ρεμάτων συνοψίζονται ως ακολούθως:

1. Το υψηλότερο συνολικό φορτίο των μετάλλων που αναλύθηκαν εμφανίζεται στο δείγμα SS12 (3.732 ppm) ενώ το χαμηλότερο φορτίο εμφανίζεται στο δείγμα SS02 (1.247 ppm).
2. Το φορτίο των μετάλλων Pb, Ni, As, Cd, Sb και Sn στα δείγματα ιζήματος στην περιοχή ενδιαφέροντος κυμαίνεται μεταξύ 162,5 ppm έως 1148,7 ppm. Το υψηλότερο συνολικό φορτίο εμφανίζεται στο δείγμα SS12 και σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές (Παπακωνσταντίνου et al., 1996) είναι επηρεασμένο από ανθρωπογενή σημειακή πηγή και παλαιές μεταλλευτικές εκκαμινεύσεις. Το δείγμα SS10 παρουσιάζει επίσης υψηλό συνολικό φορτίο που μπορεί να οφείλεται σε παλαιά απορρίμματα ή μεταλλοφόρες θέσεις. Δεν μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι κάποια λεκάνη απορροής είναι σημαντικά πιο επιβαρυνόμενη από τις υπόλοιπες.
3. Το κατιόν που επικρατεί σε όλα τα δείγματα είναι το Mn ενώ τα στοιχεία που ακολουθούν σε χαμηλότερες περιεκτικότητες είναι ο Zn και Pb, ενώ σε ακόμα μικρότερες συγκεντρώσεις ακολουθούν τα στοιχεία: As, Ni, Cu, Co, Sb, Sn, Bi, Cd, Mo και Ag.
4. Τα ορυκτά που απαντώνται στα δείγματα ιζημάτων ανήκουν στην κατηγορία των πυριτικών ορυκτών και προέρχονται από τη διάβρωση, την αποσάθρωση και μεταφορά υλικού από τα πετρώματα της περιοχής (γνεύσιοι, αμφιβολίτες και σχιστόλιθοι).
5. Στο σύνολο των δειγμάτων, επικρατεί ο χαλαζίας ενώ απαντώνται, σε μικρότερα ποσοστά κεροσίλβη, ενστατίτης, μοσχοβίτης, ανορθίτης, καολινίτης, βουλανζερίτης, γλαυκοφανής, τενναντίτης, ριβεκίτης και αλβίτης. Σε μικρότερες συγκεντρώσεις και σε ίχνη (με επιφύλαξη) εντοπίζονται στα ιζήματα βαρίτης, σουλενβεργίτης, βουρτσιτής, χλωρίτης, βιοτίτης, σοδάλιθος, ορθόκλαστο, ιλλίτης και λωμοντίτης.



6. Όσον αφορά στους συντελεστές συσχέτισης, προκύπτει ότι η πολύ καλή θετική τιμή συσχέτισης μεταξύ Pb – Ag, είναι πολύ πιθανό να συνδέεται γεωχημικά με την ύπαρξη γαληνίτη στην περιοχή. Ακόμα, η καλή θετική συσχέτιση που παρουσιάζεται μεταξύ Pb – As, Pb – Sb και Pb – Bi είναι πιθανό να οφείλεται στην ύπαρξη θειοαλάτων του Pb, όπως είναι ο βουλανζεριτής. Επιπλέον, η πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ Zn και Ag, καθώς και η καλή θετική συσχέτιση μεταξύ των Zn – Ag και Zn – Pb είναι πολύ πιθανό να οφείλονται στην ύπαρξη τενναντίτη στην περιοχή. Τέλος, η πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ Co – Fe συνδέεται πιθανότατα με την παρουσία σιδηροπυρίτη ή οξειδίων/υδροξειδίων (π.χ. αιματίτης, φερριυδρίτης).

## 5.2 Νερά ρεμάτων

Τα συμπεράσματα της έρευνας όσον αφορά στα νερά ρεμάτων συνοψίζονται ως ακολούθως:

1. Στο σύνολο των αναλύσεων των νερών ρεμάτων οι συγκεντρώσεις των στοιχείων είναι χαμηλότερες των ανώτατων αποδεκτών ορίων, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, εκτός από συγκεκριμένες μετρήσεις στις οποίες τα δείγματα εμφάνιζαν αυξημένες περιεκτικότητες για το As, τον Fe και τον Pb.
2. Οι ορυκτές φάσεις που εμφανίζουν τάση απόθεσης (συντελεστές κορεσμού > 0) με την εφαρμογή των μοντέλων PHREEQC είναι οι ακόλουθες: κυπρίτης, γκαιτίτης, αιματίτης, μαγνητίτης, λεπιδοκροκίτης, μαγνητίτης, μαγκεμίτης, λεπιδοκροκίτης, τενορίτης, PbO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>OH<sub>8</sub> και Cu(OH)<sub>2</sub> ενώ σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις έχουμε Zn(OH)<sub>2</sub>, Ni(OH)<sub>2</sub>, λανγκίτη, λαρνακίτη κ.α..
3. Το μοντέλο άμεσης καθίζησης (direct precipitation) έδειξε ότι κατά την περίοδο μειωμένης βροχόπτωσης (περίοδος Μαΐου – Οκτωβρίου), τα ορυκτά με αυξημένη πιθανότητα καθίζησης, είναι τα ακόλουθα ορυκτά: μαγνητίτης, αιματίτης, γκαιτίτης, μαγκεμίτης, λεπιδοκροκίτης, φερριυδρίτης, τενορίτης, Pb(OH)<sub>2</sub> και ο κυπρίτης. Για την περίοδο αυξημένης βροχόπτωσης (περίοδος Νοεμβρίου – Απριλίου) η φάση που έχει μεγαλύτερες πιθανότητες απόθεσης είναι η Fe<sub>3</sub>(OH)<sub>8</sub> και ακολουθούν τα ορυκτά της προηγούμενης περίπτωσης. Στις υψηλότερες μετρήσεις κάθε περιόδου, οι ορυκτές φάσεις που τείνουν να αποθεθούν είναι κοινές με της περιόδου υψηλής βροχόπτωσης αλλά

μεταβάλλονται ελαφρώς οι δείκτες κορεσμού και επομένως η πιθανότητα απόθεσης συγκεκριμένων ορυκτών.

4. Το μοντέλο εξάτμισης (evaporation) έδειξε ότι την περίοδο χαμηλής βροχόπτωσης σε συνθήκες εξάτμισης (x10 φορές) τα ορυκτά με αυξημένη πιθανότητα απόθεσης είναι τα ακόλουθα: μαγνητίτης, αιματίτης, γκαιτίτης, μαγκεμίτης, λεπιδοκροκίτης, φερριυδρίτης, τενορίτης,  $Pb(OH)_2$  και ο κυπρίτης. Στις ίδιες συνθήκες, την περίοδο υψηλής βροχόπτωσης, τα ορυκτά με αυξημένη πιθανότητα απόθεσης είναι τα ακόλουθα: μαγνητίτης, αιματίτης, μαγκεμίτης, γκαιτίτης, λεπιδοκροκίτης, φερριυδρίτης, βροχαντίτης,  $Fe_3(OH)_8$ , τενορίτης, κυπρίτης,  $Pb(OH)_2$ ,  $Cu(OH)_2$ , λαγκίτης, αντλερίτης,  $ZnO$ , λαρνακίτης, ζινκίτης,  $Pb_3O_2SO_4$ , μπουνσενίτης και  $Pb_4(OH)_6SO_4$ . Στην υψηλότερη μέτρηση της περιόδου χαμηλής βροχόπτωσης, τα ορυκτά που τείνουν να αποθεθούν είναι κοινά με αυτά της περιόδου υψηλής βροχόπτωσης αλλά δεν εμφανίζονται οι φάσεις  $Pb_4(OH)_6SO_4$  και  $Pb_3O_2SO_4$ . Στην υψηλότερη μέτρηση της περιόδου υψηλής βροχόπτωσης, τα ορυκτά που τείνουν να αποθεθούν είναι κοινά με αυτά της περιόδου χαμηλής βροχόπτωσης ενώ παρουσιάζει αυξημένες πιθανότητες απόθεσης και το  $Fe_3(OH)_8$ . Για συνθήκες εξάτμισης (x40 φορές) τα αποτελέσματα είναι σχετικά όμοια αλλά τείνουν να αποθεθο επιπλέον ορυκτές φάσεις όπως χαουσμανίτης, μανγκανίτης,  $Cu$  (αυτοφυής), μπιξιμίτης,  $Ni_4(OH)_6SO_4$  και  $Zn_4(OH)_6SO_4$ .
5. Το μοντέλο μίξης με νερό της βροχής (mixing with rainwater) έδειξε ότι σε συνθήκες μίξης με νερό βροχής (1/1 φορές) και (1/5 φορές), για όλες τις περιόδους, τα ορυκτά με αυξημένη πιθανότητα καθίζησης είναι τα ακόλουθα: μαγνητίτης, αιματίτης, γκαιτίτης, μαγκεμίτης, λεπιδοκροκίτης, φερριυδρίτης, τενορίτης,  $Pb(OH)_2$ ,  $Cu(OH)_2$  και ο κυπρίτης.
6. Βάσει των γεωχημικών χαρακτηριστικών των νερών και των μοντέλων PHREEQC που εφαρμόστηκαν, ευνοείται ο σχηματισμός δευτερογενών οξειδίων και υδροξειδίων των μετάλλων και ιδιαίτερα του  $Fe$ , τα οποία στις συνθήκες αυτές προσροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό των εν διαλύσει μετάλλων.
7. Παρά το γεγονός ότι τα μοντέλα PHREEQC επιβεβαιώνουν το σχηματισμό αυτών των φάσεων (π.χ. λεπιδοκροκίτης, αιματίτης, φερριυδρίτης, μαγκεμίτης), η παρουσία τους στα ιζήματα των ρεμάτων δεν προσδιορίστηκε με τη χρήση του XRD. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται πιθανότατα τόσο στις πολύ χαμηλές

συγκεντρώσεις των φάσεων αυτών στα ιζήματα των ρεμάτων, αλλά και στον πολύ χαμηλό βαθμό κρυστάλλωσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allison, J.D., Brown, D.S., & Novo-Gradac, K.J. (1990) MINTEQA2/PRODEFA2—A geochemical assessment model for environmental systems--version 3.0 user's manual: Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, 106 p.
- Appelo, C.A.J., and Postma, D. (1993) *Geochemistry, groundwater and pollution*: Rotterdam, A.A. Balkema, 536 p.
- Αργυράκη, Α. (2006) Προκαταρκτική Γεωχημική Διασκόπιση Εδαφών της Λεκάνης Πιάβιτσας, Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση για την Ελληνικός Χρυσός Α.Ε., Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, Αθήνα.
- Αργυράκη, Α. (2007) "Σημειώσεις του μαθήματος Αναλυτικής Γεωχημείας." Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας .
- Βαβελίδης, Μ. & Μέλφος, Β. (2012) Αρχαιομεταλλουργική έρευνα στην περιοχή Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας (Αρχαία Στάγειρα), ΒΑ Χαλκιδική. Επιστημονική Επετηρίδα, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τιμητική έκδοση στη μνήμη του ομότιμου καθηγητή Κ. Σολδάτου. Ειδικός Τόμος 101, 9-16
- Ball, J.W., & Nordstrom, D.K. (1991) User's manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of major, trace, and redox elements in natural waters: U.S. Geological Survey Open-File Report 91-183,189 p. (Revised and reprinted August 1992.)
- Borkovec, M. & Westall, J. (1983) Solution of the \Poisson-Boltzmann equation for surface excesses of ions in the diffuse layer at the oxide-electrolyte interface: *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 150, 325-337.
- Carroll D (1962) *Rainwater as a Chemical Agent of Geologic Processes – A Review*, U.S. Geological Survey, Washington, Water-Supply Paper 1535-G, 23pp
- Davis, J.A. & Kent, D.B (1990) Surface complexation modeling in aqueous geochemistry, in Hochella, M.F., and White, A.F., eds., *Mineral-Water Interface Geochemistry: Washington D.C., Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*, v. 23, Chapt. 5, 177-260.
- Dzombak, D.A. & Morel, F.M.M. (1990) *Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxide*, John Wiley and Sons, New York.
- Eliopoulos, D. G., & Economou-Eliopoulos, M. (1991) Platinum-group Elements (PGE) in Various Geotectonic Settings: Opportunities and Risks, *Economic Geology* 86, 81-105.
- ENVECO A.E. (2010) Εγκεκριμένη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων των Μεταλλευτικών – Μεταλλουργικών Εγκαταστάσεων της εταιρίας Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.Μ.Β.Χ., Αθήνα.

- Hutchinson, R.W. (1996) Regional metallogeny of carbonate-hosted ores by comparison of field relationships. In: Carbonate-hosted lead-zinc deposits, Sangster, D.F. (Ed.), Society of Economic Geologists, 1-887483-95, Littleton, 8-17.
- Kalogeropoulos, S. & Economou, G. (1987) A study of sphalerite from the carbonate – hosted Pb-Zn sulfide deposits of the Eastern Chalkidiki Peninsula, Northern Greece. *Canadian Mineralogist*, 25, 639–646.
- Kalogeropoulos, S. I., Kiliyas, S. P., Bitzios, D. C., Nicolaou, M., & Both, R. A. (1989) Genesis of the Olympias Carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) Sulfide Ore Deposit, Eastern Chalkidiki Peninsula, Northern Greece, *Economic Geology* 84,5, 1210-234.
- Καραμπάς, Ι. (2007) Ανάπτυξη μεθόδου για την ταυτοποίηση του πολύμορφου της ρισπεριδόνης σε εμπορικά δισκία, Τμήμα Φαρμακευτικής, Σχολή Επιστημών Υγείας. Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 91 p.
- Καταφιώτη, Μ. (2008) Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Συνθηκών στο Ν.Χαλκιδικής όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, Τομέας Περιβαλλοντική & Θαλάσσια Γεωχημεία, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα, 128 p.
- Κελεπερτζής, Α., Καρβούνης, Γ., & Ζωτιάδης, Β. (1999) Αποτίμηση της ποιότητας των εδαφών στην ευρύτερη περιοχή Στρατωνίου, Έκθεση Εφαρμοσμένου Περιβαλλοντικού Γεωχημικού Προγράμματος, ΕΚΠΑ, Αθήνα, 1098 p.
- Kelepertsis, A., Argyraki, A., & Alexakis, D. (2006) Multivariate Statistics and Spatial Interpretation of Geochemical Data for Assessing Soil Contamination by Potentially Toxic Elements in the Mining Area of Stratoní, North Greece." *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 6,4, 349-355.
- Kelepertzis, E., Argyraki, A., Daftsis, E. I., & Ballas, D. (2010) Geochemical Background Heavy Metal Concentrations of Stream Sediments at Mineralized Areas of NE Chalkidiki. *Hellenic Journal Of Geosciences* 45, 153-62.
- Kelepertzis, E., Argyraki, A. & Daftsis, E. (2012) Geochemical signature of surface water and stream sediments of a mineralized drainage basin at NE Chalkidiki, Greece: A pre-mining survey, *Journal of Geochemical Exploration*, 114, 70-81.
- Kiliyas, S. P., Kalogeropoulos, S. I., & Konnerup-Madsen, J. (1996) Fluid Inclusion Evidence for the Physicochemical Conditions of Sulfide Deposition in the Olympias Carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) Sulfide Ore Deposit, E. Chalkidiki Peninsula, N. Greece. *Mineralium Deposita* 31, 394-406.
- Kockel, F., Mollat, H., & Walther, H.W. (1977) Erläuterungen zur geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000 (Nord-Griechenland). Hannover, Bundesanstalt Geowiss. Rohstoffe, 119 p.

- Konstantinou, V.I. (2013) Groundwater Quality in a Part of Viotikos Kifisos River Basin, Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 139 p.
- Letient H. (1996) Water Study Kassandra Mines, Greece.
- Μανουσάκη Ορφανουδάκη, Α. (2005) Περιθλασιμετρία Ακτίνων Rontgen - Χ (XRD). Ορυκτολογία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 202 p.
- Melfos, V. & Bogdanov, K. (2012) A Field Guide to the Ore Deposits of NE Greece, 19th-22nd October 2012. In the frame of the cooperation between the Aristotle University of Thessaloniki, the Sofia University “St. Kliment Ohridski”, the Sofia University SEG Student Chapter and financially supported by the Society of Economic Geologists (SEG), Assarel-Medet JSC and GEOTECHMIN. 19 p.
- Nebel, M., Hutchinson, R. W., & Zartman, R. E. (1991). Metamorphism and polygenesis of the Madem Lakkos polymetallic sulphide deposit, Chalkidiki, Greece. *Economic Geology*, 86, 81–105.
- Νικολάου, Σ. (2007) Χωρική κατανομή δυνητικά τοξικών στοιχείων σε επιφανειακά εδάφη της ΝΑ Χαλκιδικής, Β. Ελλάδα. Διπλωματική Εργασία, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία, ΕΚΠΑ, Αθήνα.
- Nimfopoulos, M. K., Katirtzoglou, K. G., Polya, D. A., Veranis, N., & Anagnostaras, I., (2002) Quality and Pollution of surface and groundwater in the Chalkidiki district, Macedonia, N. Greece. In: *Proceedings 6th Hydrogeological Congress of the Geological Society of Greece*, 353-364, November 8, 2002
- Nordstrom, D.K., Plummer, L.N., Langmuir, D., Busenberg, E., May, H.M., Jones, B.F., & Parkhurst, D.L. (1990) Revised chemical equilibrium data for major water-mineral reactions and their limitations, in Melchior, D.C., and Bassett, R.L., eds., *Chemical modeling in aqueous systems II: Washington D.C., American Chemical Society Symposium Series 416*, 398-413.
- Οικονόμου, Μ. (1993) Φασματοσκοπία Εκπομπής με διέγερση Πλάσματος (I.C.P. Inductively Coupled Plasma) Μέθοδοι Ανάλυσης Πετρωμάτων και Μεταλλευμάτων, Αθήνα, 90 p.
- Ουλάσογλου, Ε. (2014) Ιζηματολογική και ορυκτολογική μελέτη της κατανομής των βαρέων ορυκτών στις άμμους του κόλπου Ιερισσού, Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 153 p.
- Παπαζησίμου, Σ., & Καλαϊτζίδης, Σ., (2004) Ποσοτικός προσδιορισμός Ορυκτών σε λιγνίτη με Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ και χρήση ανιχνευτή σταθερής θέσης (XRD-PSD), Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 10 p.

- Παπακωνσταντίνου Α., Βεράνης Ν. & Πολυζώνης Ε. (1996) Υδροχημική – Υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής Ολυμπιάδας – Στρατωνίου, ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη, 58 p.
- Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C., & Plummer, L.N., (1980) PHREEQC—A computer program for geochemical calculations. U.S. Geol. Survey, Water Resources Investigations, Report 80-96.
- Parkhurst, D.L., (1995) User's guide to PHREEQC--A computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4227, 143 p.
- Parkhurst, D.L., and C.A.J. Appelo. 1999. User's guide to PHREEQC (Version 2)—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. Water Resources Investigation Report 99-4259. U.S. Geol. Surv., Denver, CO.
- Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., 2013, Description of input and examples for PHREEQC version 3--A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p.
- Plumlee, G.S. (1999). The environmental geology of mineral deposits. In: Plumlee, G.S. & M.J. Logsdon (Eds), The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A. Processes, Techniques, and Health Issues, Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, 6A, 71-116.
- Reimann, C. and Garrett, R.G. (2005) "Geochemical Background—concept and Reality." *Science of the Total Environment*, 350, 12-27.
- Russell, M.J & Skauli, H. (1991). A history of theoretical development in carbonate-hosted base metal deposits and a new tri-level enthalpy classification. In: Historical perspectives of genetic concepts and case histories of famous discoveries, *Economic Geology Monograph 8*, Hutchinson, R.W. Grauch, R.I., (eds.), Economic Geology Publishing Company, No. 91-073091, New Haven, 96-116.
- Sillitoe, R.H., (2010). *Economic Geology*, 105, 3-41.
- Siron, C. R., & Thompson, T. B. (2014). Structural Framework of Au-rich Porphyry and Carbonate-hosted Replacement Deposits of the Kassandra Mining District, Northern Greece, SEG Conference 2014 – Building Exploration Capabilities for the 21<sup>st</sup> century, Keystone, USA, 27-30 September
- Stergiou, C., (2016) Mineralogical, geochemical and structural control study of the hydrothermal alterations and the ore mineralization at Vathi porphyry –Cu-Au±U±Mo, N. Greece, M.Sc Thesis (unpubl.), Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), Thessaloniki, 120p.

- Τριανταφυλλίδης, Σ. (2002) Περιβαλλοντική μελέτη περιοχής μεταλλείου και εργοστασίου εμπλουτισμού Αγίου Φιλίππου Κίρκης, Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Vavelidis M., (1989) Das Seifengoldvorkommen im Gebiet von Chimaros, Praefektur Serres (Nordgriechenland). Naturwiss. 76, 521-522.
- Vavelidis M., Pernicka, E. & Wagner, G.A. (1983) Untersuchungen in den Pb-Ag- und AuVorkommen von NE-Chalkidiki (Nordgriechenland). Beihefte zum Europ. J. Miner., 61, 212- 213.
- Veranis N. & Meladiotis I. (2002) The impacts of mining to the surface and groundwaters of Stratoni mining area, Chalkidiki Province, Northern Greece, 6<sup>th</sup> Hydrogeological Congress of Geological Society, Greece, Xanthi, pp 10.
- Wagner G.A., Pernicka E., Vavelidis M., Baranyi I. & Bassiakos I. (1986) Archaeometallurgische untersuchungen auf Chalkidiki. Anschnitt, 38, 5-6, 166-186.
- Χατζηθεοδωρίδης, Η. (2007) Σημειώσεις Πετρολογίας: Πυριτικά ορυκτά, *Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι:

# Πρωτόκολλο Δειγματοληψίας ιζήματος ρέματος

## **Κατάλογος υλικών δειγματοληψίας ιζημάτων**

- GPS
- Μετροταινία
- Γεωλογικό σφυρί, πλαστική σέσουλα/ ανοξείδωτο φτυάρι
- Πλαστικά δοχεία χωρητικότητας 2-5 L
- Πανί και βούρτσα για καθαρισμό των εργαλείων συλλογής
- Σακούλες δειγματοληψίας από ανθεκτικό πλαστικό
- Σύρμα ή δέστρες καλωδίων για ασφαλή κλείσιμο των σακουλών δειγματοληψίας
- Ανεξίτηλοι, αδιάβροχοι μαρκαδόροι
- Αδιάβροχες γαλότσες
- Αντίγραφα φύλλου δεδομένων υπαίθριας δειγματοληψίας ιζήματος
- Στυλό, μολύβια
- Φωτογραφική μηχανή

## **Διαδικασία συλλογής ιζημάτων**

1. Τα ρέματα στα οποία θα ληφθούν τα δείγματα είναι τα: Ρ. Κηπουρίστρας, Ρ. Μασδέκη, Ρ. Κοκκινόλακα- ανάντη των μεταλλευτικών έργων. Οι ακριβείς θέσεις λήψης των δειγμάτων θα καθοριστούν μετά από επιτόπου έρευνα των περιοχών ώστε να διασφαλιστεί ότι είναι εκτός της ακτίνας επίδρασης ανθρωπογενών διαταράξεων.
2. Ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας σε κάθε ρέμα είναι 5. Οι θέσεις δειγματοληψίας βρίσκονται κατά μήκος του κύριου κλάδου του ρέματος και σε απόσταση τουλάχιστο 100 m ανάντη δρόμων, οικισμών ή έργων.
3. Σε κάθε θέση δειγματοληψίας λαμβάνεται δείγμα ενεργού ιζήματος κοίτης, δηλαδή δείγμα λεπτόκοκκου μεταφερόμενου υλικού όσο το δυνατό πιο κεντρικά στο πλάτος της κοίτης ώστε να αποφεύγεται η συλλογή υλικού από τις όχθες και τα πρηνή.
4. Κάθε δείγμα αποτελείται από σύνθεση υλικού το οποίο συλλέγεται από 5-10 σημεία κατά μήκος απόστασης 100-200 m εντός της ενεργής κοίτης. Η δειγματοληψία αρχίζει πάντα από το κατώτερο σημείο και εξελίσσεται προς τα ανάντη του ρέματος. Στο GPS σημειώνεται η ακριβής θέση του πρώτου και του τελευταίου υπο-δείγματος.

5. Η συλλογή των υπο-δειγμάτων γίνεται με πλαστική σέσουλα ή ανοξείδωτο φτυάρι εντός πλαστικού δοχείου. Το σύνθετο δείγμα αφήνεται σε ηρεμία μέχρι να καθιζάνουν όλα τα αιωρούμενα και στη συνέχεια στραγγίζεται προσεκτικά και μεταφέρεται σε ανθεκτική πλαστική σακούλα μετά από ανάμιξη και χειροδιαλογή τεμαχίων διαμέτρου > 2.0 cm.
6. Η ποσότητα του τελικού σύνθετου δείγματος από κάθε θέση δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι 3-5 kg, ώστε να διασφαλίζεται επαρκής ποσότητα μετά την ξήρανση και κοσκίνιση του δείγματος στο εργαστήριο (τουλάχιστο 500 g ξηρού δείγματος κοκκομετρίας <150 μm ).
7. Σε περίπτωση που η κοίτη είναι ξηρή ενδέχεται να χρειαστεί να σκαφτεί με γεωλογικό σφυρί, ελαφρά το επιφανειακό στρώμα, το οποίο μπορεί να περιέχει πεσμένα τεμάχια από τα πρανή, ώστε να αποκαλυφθεί και να συλλεχθεί το λεπτόκοκκο υλικό του ενεργού ιζήματος.
8. Η ποσότητα του δείγματος συλλέγεται σε ανθεκτική πλαστική σακούλα στην οποία έχει προσημειωθεί με αδιάβροχο μαρκαδόρο ο κωδικός του δείγματος- θέσης και η ημερομηνία συλλογής (π.χ. 2016BGSS01). Το πάνω μέρος της σακούλας θα πρέπει κλείνει με ασφάλεια πριν τη μεταφορά του δείγματος.
9. Σημειώσεις υπαίθρου καταχωρούνται στο φύλλο δεδομένων υπαίθριας δειγματοληψίας σε κάθε θέση. Οι σημειώσεις αφορούν την καταγραφή των καιρικών συνθηκών, την περιγραφή της θέσης και τις ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες του πρώτου και τελευταίου υπο-δείγματος. Γίνεται φωτογραφική τεκμηρίωση της κατάστασης της θέσης και καταγράφονται οι φωτογραφίες που τραβήχτηκαν. Λαμβάνονται τουλάχιστον δύο φωτογραφίες, μία από τη θέση του πρώτου υπο-δείγματος κατόπιν η οποία δείχνει γενικό πλάνο της κοίτης και την τοπογραφία προς τα ανάντη και μία στο καλύτερο σημείο λήψης υπο-δείγματος ώστε να φαίνεται καθαρά η φύση και κατάσταση της κοίτης. Στα σχόλια και τις παρατηρήσεις σημειώνονται στοιχεία που αφορούν τη γεωμετρία της κοίτης και της ροής του ρέματος (πλάτος, βάθος, κλπ.) και η ημερομηνία τελευταίας βροχοπτώσης. Εάν υπάρχουν εμφανίσεις του γεωλογικού υποβάθρου εντός της κοίτης και στα πρανή σημειώνεται ο τύπος του πετρώματος.

10. Η μεταφορά των δειγμάτων γίνεται με τρόπο που διασφαλίζει την αποφυγή της μόλυνσης ή αλλοίωσης των δειγμάτων και αποκλείει το ενδεχόμενο φθοράς του περιέκτη των δειγμάτων (πλαστικές σακούλες) και αλλοίωσης των κωδικών των δειγμάτων. Είναι σημαντικό να γίνεται καταμέτρηση των δειγμάτων πριν την απομάκρυνση από την περιοχή της δειγματοληψίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ:  
ΦΟΡΜΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**Κωδικός θέσης:  Ημερομηνία: Προσωπικό Δειγματοληψίας (Όνομ/μα): ΟΛΟΙΚαιρικές συνθήκες: Ηλιοφάνεια  Νέφωση  Βροχή **Θέση GPS:  
Σημείο κατάντη**ΕΓΣΑ Χ (m): 477258 ΕΓΣΑ Υ (m): 4495283

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

**Σημείο ανάντη**ΕΓΣΑ Χ (m): 477182 ΕΓΣΑ Υ (m): 4495243

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

Υψόμετρο θέσης (m): \_\_\_\_\_

**Περιγραφή θέσης:**Τοπογραφία: Ημιορεινή  Πεδινή  Λοφώδης   
Κλίση: 0-5%  5-15%  15-30%  >30% Βλάστηση/χρήση γης: Πλατάνια - Πουρνάρια  
Ανθρωπογενής διατάραξη: Εμφανής  Μη εμφανής **Περιγραφή κοίτης:**Μητρικό πέτρωμα εμφανές: Όχι  Ναι  : ΓνεύσιοςΔιαμόρφωση κοίτης: Φυσική  Διευθετημένη  Κανάλι Βάθος (cm): 20-30Πλάτος (m): 4Παροχή: Χαμηλή  Μέση  Υψηλή Επικρατές υπόστρωμα: Κροκάλες  Χαλίκι και άμμος Άμμος-ιλύς  Άργιλος  Βλάστηση εντός κοίτης Αριθμός υπο-δειγμάτων: 8Φωτονραφίες θέσης (θέση, αριθμός): 9500 ΕΩΣ 05(ΧΡ)Σχόλια/ παρατηρήσεις: Άμεση επαφή με το πέτρωμα(μέσα στην κοίτη). Είναι σε σημείο τομής με τον δρόμο που έρχεται από το μεταλλείο Ολυμπιάδας, κατά μήκος του οποίου έχει πολλές σκωρίες. Ανάντη του μεταλλείου πλησίον του δείγματος εδάφους SO116.



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης:

SS02

Ημερομηνία:

06/04/2016

Προσωπικό Δειγματοληψίας (Όνομ/μα): Κελεπερτζής, Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες:

Ηλιοφάνεια

Νέφωση

Βροχή

**Θέση GPS:**

**Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

476529

ΕΓΣΑ Υ (m):

4495373

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος (ddmmss):

**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

476417

ΕΓΣΑ Υ (m):

4495250

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος (ddmmss):

Υψόμετρο θέσης (m):

103

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία:

Ημιορεινή

Πεδινή

Λοφώδης

Κλίση:

0-5%

5-15%

15-30%

>30%

Βλάστηση/χρήση γης:

Ανθρωπογενής διατάραξη:

Εμφανής

Μη εμφανής

**Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές:

Όχι

Ναι

Διαμόρφωση κοίτης:

Φυσική

Διευθετημένη

Κανάλι

Βάθος (cm):

Πλάτος (m):

Παροχή:

Χαμηλή

Μέση

Υψηλή

Επικρατές υπόστρωμα:

Κροκάλες

Χαλίκι και άμμος

Άμμος-ιλύς

Άργιλος

Βλάστηση εντός κοίτης

Αριθμός υπο-δειγμάτων:

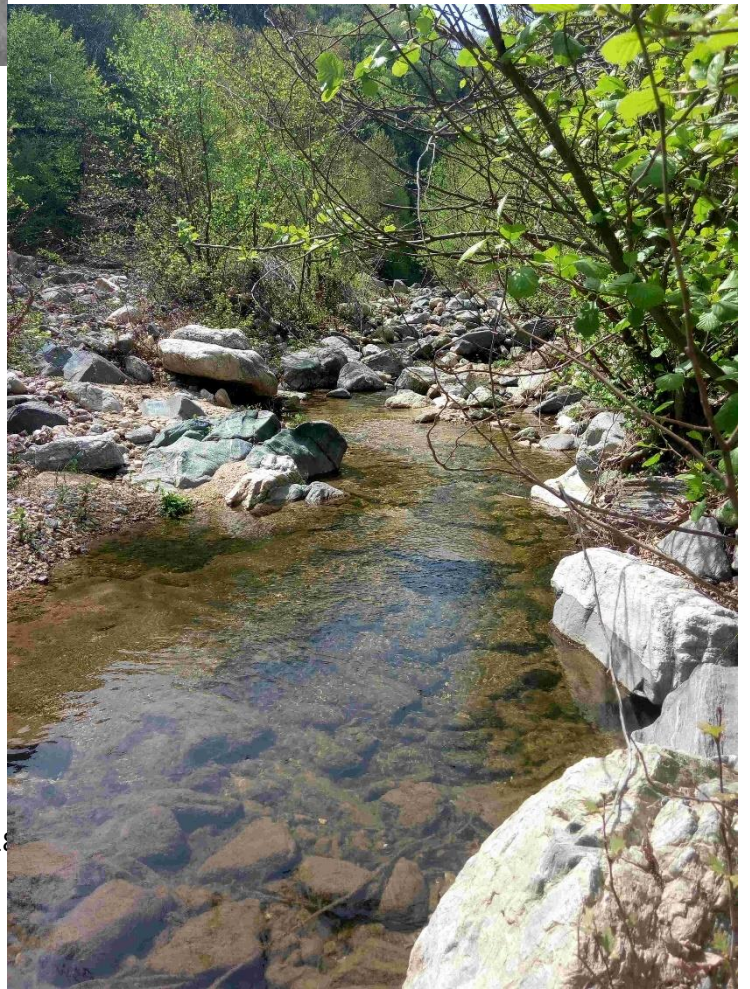
6

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός):

SS02a 893-191 SS02b 868-677

Σχόλια/ παρατηρήσεις:





**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης:

SS03

Ημερομηνία:

06/04/2016

Προσωπικό Δειγματοληψίας  
(Όνομ/μα):

Όλοι εκτός (Κελεπερτζή, Πασιόπουλου)

Καιρικές συνθήκες:

Ηλιοφάνεια Νέφωση Βροχή **Θέση GPS:****Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

476497

ΕΓΣΑ Υ (m):

4494272

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

476485

ΕΓΣΑ Υ (m):

4494252

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):

Υψόμετρο θέσης (m):

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία:

Ημιορεινή Πεδινή Λοφώδης 

Κλίση:

0-5% 5-15% 15-30% >30% 

Βλάστηση/χρήση γης:

Πλατάνια, Πουρνάρια

Ανθρωπογενής διατάραξη:

Εμφανής Μη εμφανής **Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές:

Όχι Ναι 

Γνεύσιος

Διαμόρφωση κοίτης:

Φυσική Διευθετημένη Κανάλι 

Βάθος (cm):

20-30

Πλάτος (m):

2

Παροχή:

Χαμηλή Μέση Υψηλή 

Επικρατές υπόστρωμα:

Κροκάλες Χαλίκι και άμμος Άμμος-ιλύς Άργιλος Βλάστηση εντός κοίτης 

Αριθμός υπο-δειγμάτων:

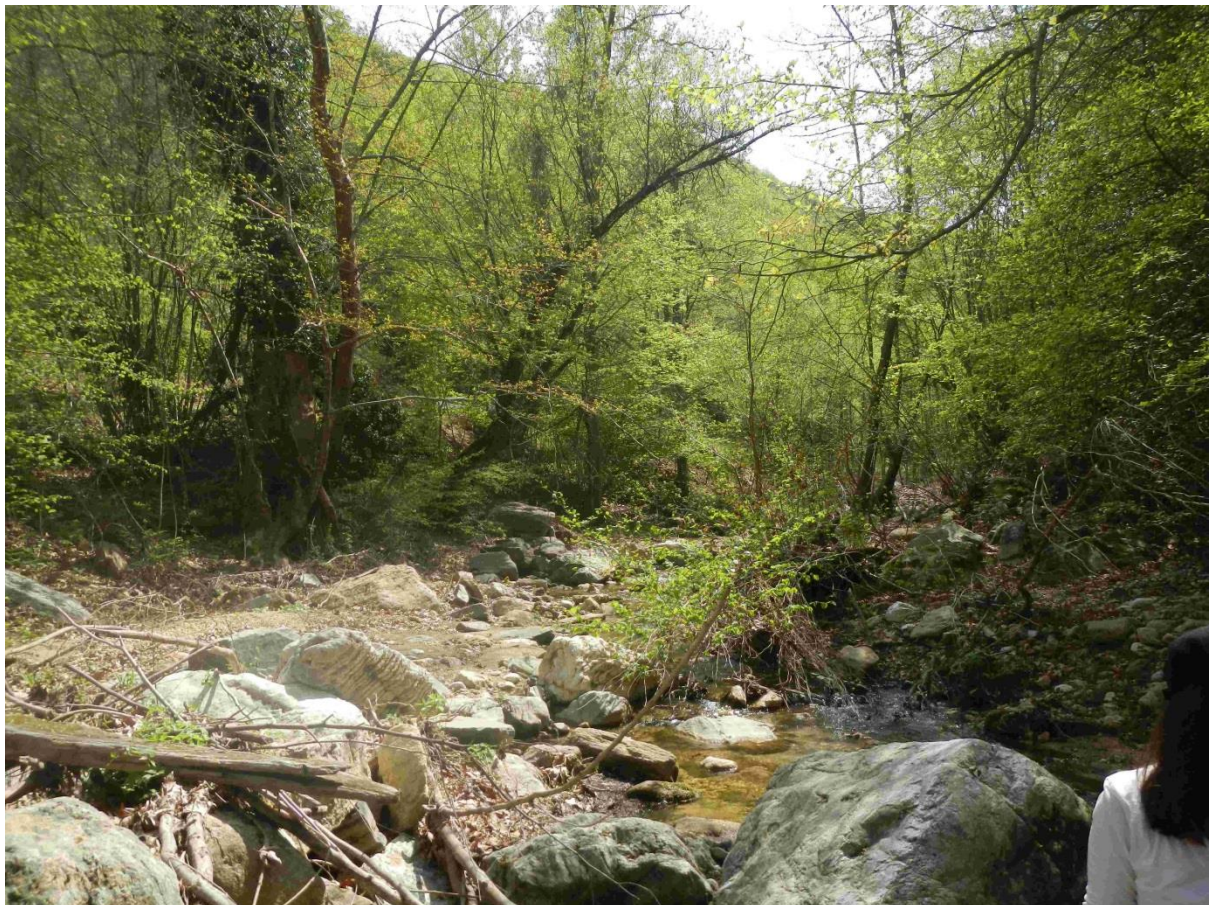
10

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός):

9532 ΕΩΣ 44(ΧΡ)

Σχόλια/ παρατηρήσεις:

Από ρέμα Κηπουρίστρας. Βλέπουμε χαράδρα στο πρανές.



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης:

SS04

Ημερομηνία:

07/04/2016

Προσωπικό Δειγματοληψίας  
(Όνομ/μα):

Κελεπερτζής, Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες:

Ηλιοφάνεια Νέφωση Βροχή **Θέση GPS:****Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

478625

ΕΓΣΑ Υ (m):

4489577

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

478607

ΕΓΣΑ Υ (m):

4489518

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):

Υψόμετρο θέσης (m):

293

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία:

Ημιορεινή Πεδινή Λοφώδης 

Κλίση:

0-5% 5-15% 15-30% >30% 

Βλάστηση/χρήση γης:

Ανθρωπογενής διατάραξη:

Εμφανής Μη εμφανής **Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές:

Όχι Ναι 

Διαμόρφωση κοίτης:

Φυσική Διευθετημένη Κανάλι 

Βάθος (cm):

40

Πλάτος (m):

2

Παροχή:

Χαμηλή Μέση Υψηλή 

Επικρατές υπόστρωμα:

Κροκάλες Χαλίκι και άμμος Άμμος-ιλύς Άργιλος Βλάστηση εντός κοίτης 

Αριθμός υπο-δειγμάτων:

6

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός):

SS04a593-000 SS04b 079-573 (NEK) DSC0082-83(ΣΤΡ)

Σχόλια/ παρατηρήσεις:



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης: SS05 Ημερομηνία: 07/04/2016

Προσωπικό Δειγματοληψίας  
(Όνομ/μα): Κελεπερτζής, Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες: Ηλιοφάνεια  Νέφωση  Βροχή

**Θέση GPS:  
Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m): 479453 ΕΓΣΑ Υ (m): 4491259

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m): 479411 ΕΓΣΑ Υ (m): 4491266

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

Υψόμετρο θέσης (m): 140

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία: Ημιορεινή  Πεδινή  Λοφώδης

Κλίση: 0-5%  5-15%  15-30%  >30%

Βλάστηση/χρήση γης: \_\_\_\_\_

Ανθρωπογενής διατάραξη: Εμφανής  Μη εμφανής

**Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές: Όχι  Ναι

Διαμόρφωση κοίτης: Φυσική  Διευθετημένη  Κανάλι

Βάθος (cm): 20

Πλάτος (m): 2

Παροχή: Χαμηλή  Μέση  Υψηλή

Επικρατές υπόστρωμα: Κροκάλες  Χαλίκι και άμμος

Άμμος-ιλύς  Άργιλος  Βλάστηση εντός κοίτης

Αριθμός υπο-δειγμάτων: 5

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός): SS05a 955-662 SS05b 252-165 (NEK)

Σχόλια/ παρατηρήσεις: Πιθανή παρουσία σκωριών εντός της κοίτης του ρέματος.



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης:  Ημερομηνία:

Προσωπικό Δειγματοληψίας (Όνομ/μα): Κελεπερτζής, Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες: Ηλιοφάνεια  Νέφωση  Βροχή

**Θέση GPS:  
Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m): 479933 ΕΓΣΑ Υ (m): 4492605

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

**Σημείο ανάντη**  
ΕΓΣΑ Χ (m): 479881 ΕΓΣΑ Υ (m): 4492546

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

Υψόμετρο θέσης (m): 51

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία: Ημιορεινή  Πεδινή  Λοφώδης   
Κλίση: 0-5%  5-15%  15-30%  >30%

Βλάστηση/χρήση γης: Πλατάνια  
Ανθρωπογενής διατάραξη: Εμφανής  Μη εμφανής

**Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές: Όχι  Ναι

Διαμόρφωση κοίτης: Φυσική  Διευθετημένη  Κανάλι

Βάθος (cm): 20

Πλάτος (m): 3,5

Παροχή: Χαμηλή  Μέση  Υψηλή

Επικρατές υπόστρωμα: Κροκάλες  Χαλίκι και άμμος   
Άμμος-ιλύς  Άργιλος  Βλάστηση εντός κοίτης

Αριθμός υπο-δειγμάτων: 6

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός): SS06a 993-925 SS06b 074-178

Σχόλια/ παρατηρήσεις: Συλλογή δείγματος ακριβώς εκεί που κατασκευάζουν το βιολογικό καθαρισμό. Βλάστηση εντός του ρέματος.





**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**Κωδικός θέσης: Ημερομηνία: Προσωπικό Δειγματοληψίας  
(Όνομ/μα):Κελεπερτζής, Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες:

Ηλιοφάνεια Νέφωση Βροχή **Θέση GPS:****Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

477827

ΕΓΣΑ Υ (m):

4492117

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

477781

ΕΓΣΑ Υ (m):

4492089

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):

Υψόμετρο θέσης (m):

215**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία:

Ημιορεινή Πεδινή Λοφώδης 

Κλίση:

0-5% 5-15% 15-30% >30% 

Βλάστηση/χρήση γης:

Πλατάνια

Ανθρωπογενής διατάραξη:

Εμφανής Μη εμφανής **Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές:

Όχι Ναι Γνεύσιος

Διαμόρφωση κοίτης:

Φυσική Διευθετημένη Κανάλι 

Βάθος (cm):

20

Πλάτος (m):

3

Παροχή:

Χαμηλή Μέση Υψηλή 

Επικρατές υπόστρωμα:

Κροκάλες Χαλίκι και άμμος Άμμος-ιλύς Άργιλος Βλάστηση εντός κοίτης 

Αριθμός υπο-δειγμάτων:

5

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός):

SS07a264-611 SS07b946-176

Σχόλια/ παρατηρήσεις:

Μικρό πλάτος με πολύ χαμηλή ροή. Δεν υπάρχει βλάστηση εντός της κοίτης.



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης:

SS08

Ημερομηνία:

11/04/2016

Προσωπικό Δειγματοληψίας  
(Όνομ/μα):

Κελεπερτζής, Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες:

Ηλιοφάνεια Νέφωση Βροχή **Θέση GPS:****Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

474191

ΕΓΣΑ Υ (m):

4493874

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

474194

ΕΓΣΑ Υ (m):

4493834

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):

Υψόμετρο θέσης (m):

203

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία:

Ημιορεινή Πεδινή Λοφώδης 

Κλίση:

0-5% 5-15% 15-30% >30% 

Βλάστηση/χρήση γης:

Οξιά

Ανθρωπογενής διατάραξη:

Εμφανής Μη εμφανής **Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές:

Όχι Ναι 

Γνεύσιος με Πηγματοειδής φλέβες

Διαμόρφωση κοίτης:

Φυσική Διευθετημένη Κανάλι 

Βάθος (cm):

10

Πλάτος (m):

3

Παροχή:

Χαμηλή Μέση Υψηλή 

Επικρατές υπόστρωμα:

Κροκάλες Χαλίκι και άμμος Άμμος-ιλύς Άργιλος Βλάστηση εντός κοίτης 

Αριθμός υπο-δειγμάτων:

6

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός):

SS08a396-508 SS08b035-610 (NEK)

Σχόλια/ παρατηρήσεις:

Πέτρωμα έντονα διακλασμένο και εξαλλοιωμένο. Δημιουργείται σφήνα λόγω 2 ομάδων διακλάσεων ΝΝΔ-ΒΒΑ και Δ-Α. Απόσταση τα ανάντη απο το χωματόδρομο περίπου 100m.



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης:

SS09

Ημερομηνία:

12/04/2016

Προσωπικό Δειγματοληψίας  
(Όνομ/μα):

Γιούρη-Στεργίου

Καιρικές συνθήκες:

Ηλιοφάνεια

Νέφωση

Βροχή

**Θέση GPS:**

**Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

476526

ΕΓΣΑ Υ (m):

4489474

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):

**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

476499

ΕΓΣΑ Υ (m):

4489474

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):

Υψόμετρο θέσης (m):

579

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία:

Ημιορεινή

Πεδινή

Λοφώδης

Κλίση:

0-5%

5-15%

15-30%

>30%

Βλάστηση/χρήση γης:

Οξιά

Ανθρωπογενής διατάραξη:

Εμφανής

Μη εμφανής

**Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές:

Όχι

Ναι

Γνεύσιος

Διαμόρφωση κοίτης:

Φυσική

Διευθετημένη

Κανάλι

Βάθος (cm):

10-15

Πλάτος (m):

2

Παροχή:

Χαμηλή

Μέση

Υψηλή

Επικρατές υπόστρωμα:

Κροκάλες

Χαλίκι και άμμος

Άμμος-ιλύς

Άργιλος

Βλάστηση εντός κοίτης

Αριθμός υπο-δειγμάτων:

7

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός):

9830 εως 9833 (Χρ)

Σχόλια/ παρατηρήσεις:

Είναι στο σημείο που κόβει τον Μπασδέκη ο δρόμος προς Κρυονέρι  
(Αριστερά απο τον δρόμο Ολυμπιάδα-Βαρβάρα)



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**Κωδικός θέσης:  Ημερομηνία: Προσωπικό Δειγματοληψίας  
(Όνομ/μα): Πασιόπουλος-ΚαρέτουΚαιρικές συνθήκες: Ηλιοφάνεια  Νέφωση  Βροχή **Θέση GPS:  
Σημείο κατάντη**ΕΓΣΑ Χ (m): 473286 ΕΓΣΑ Υ (m): 4492168

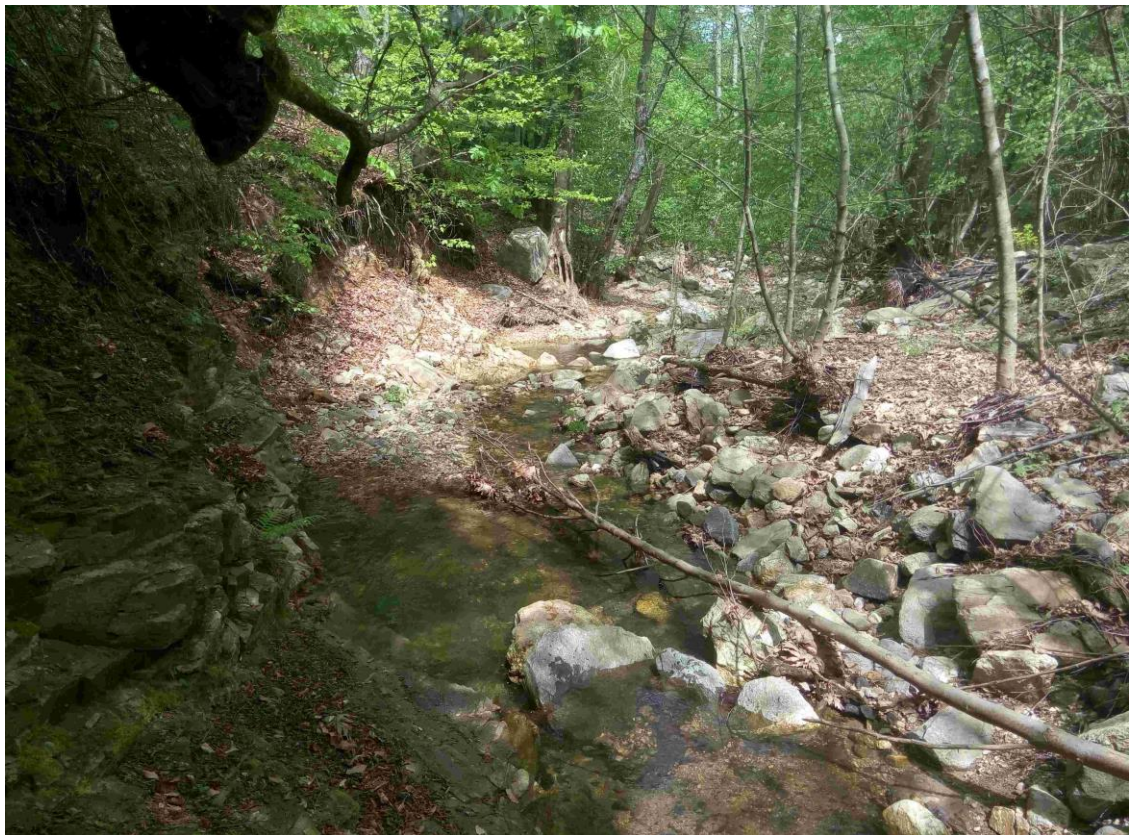
Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

**Σημείο ανάντη**ΕΓΣΑ Χ (m): 473309 ΕΓΣΑ Υ (m): 4492142

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

Υψόμετρο θέσης (m): 438**Περιγραφή θέσης:**Τοπογραφία: Ημιορεινή  Πεδινή  Λοφώδης   
Κλίση: 0-5%  5-15%  15-30%  >30% Βλάστηση/χρήση γης: Οξυά-Οστριά-Καστανιά-ΦτέρεςΑνθρωπογενής διατάραξη: Εμφανής  Μη εμφανής **Περιγραφή κοίτης:**Μητρικό πέτρωμα εμφανές: Όχι  Ναι  ΓρανίτηςΔιαμόρφωση κοίτης: Φυσική  Διευθετημένη  Κανάλι Βάθος (cm): 20Πλάτος (m): 4Παροχή: Χαμηλή  Μέση  Υψηλή Επικρατές υπόστρωμα: Κροκάλες  Χαλίκι και άμμος   
Άμμος-ιλύς  Άργιλος  Βλάστηση εντός κοίτης Αριθμός υπο-δειγμάτων: 6Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός): SS09a853-267-963 SS09b846-618 (NEK)Σχόλια/ παρατηρήσεις: Το ρέμα το κόβει ο χωματόδρομος.(Μαυρόλακκας. Όχι βλάστηση εσωτερική).





**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης: SS11 Ημερομηνία: 17/04/2016  
 Προσωπικό Δειγματοληψίας  
 (Όνομ/μα): Καρέτου-Γιούρη-Στεργίου-Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες: Ηλιοφάνεια  Νέφωση  Βροχή

**Θέση GPS:  
Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m): 476611 ΕΓΣΑ Υ (m): 4490584

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m): 476596 ΕΓΣΑ Υ (m): 4490642

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss): \_\_\_\_\_ Γεωγ. Μήκος (ddmmss): \_\_\_\_\_

Υψόμετρο θέσης (m): 399

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία: Ημιορεινή  Πεδινή  Λοφώδης   
 Κλίση: 0-5%  5-15%  15-30%  >30%

Βλάστηση/χρήση γης: Καστανιά-πλατάνι-φτέρη-οξυλα  
 Ανθρωπογενής διατάραξη: Εμφανής  Μη εμφανής

**Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές: Όχι  Ναι  Γνεύσιος-Αμφιβολίτες-Μάρμαρα

Διαμόρφωση κοίτης: Φυσική  Διευθετημένη  Κανάλι

Βάθος (cm): 25

Πλάτος (m): 1-1,5

Παροχή: Χαμηλή  Μέση  Υψηλή

Επικρατές υπόστρωμα: Κροκάλες  Χαλίκι και άμμος   
 Άμμος-ιλύς  Άργιλος  Βλάστηση εντός κοίτης

Αριθμός υπο-δειγμάτων: 7

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός): 9957 εως 9968 (εως 60 ανάντη) (Χρ)

Σχόλια/ παρατηρήσεις: Κόντα στην ανάντη θέση παρατηρήθηκε η οσμή θείου, κυρίως όταν σπάσαμε κομμάτια μαρμάρου. Η θέση είναι στο σημείο που κόβει το ρέμα ο χωματόδρομος(Μπασδέκης) Σκαμνί Πάσχο.



**ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΡΕΜΑΤΟΣ**

Κωδικός θέσης:

SS12

Ημερομηνία:

17/04/2016

Προσωπικό Δειγματοληψίας

(Όνομ/μα):

Καρέτου-Γιούρη-Στεργίου-Πασιόπουλος

Καιρικές συνθήκες:

Ηλιοφάνεια Νέφωση Βροχή **Θέση GPS:****Σημείο κατάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

478974

ΕΓΣΑ Υ (m):

4492984

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):**Σημείο ανάντη**

ΕΓΣΑ Χ (m):

479025

ΕΓΣΑ Υ (m):

4492989

Γεωγ. Πλάτος (ddmmss):

Γεωγ. Μήκος  
(ddmmss):

Υψόμετρο θέσης (m):

68

**Περιγραφή θέσης:**

Τοπογραφία:

Ημιορεινή Πεδινή Λοφώδης 

Κλίση:

0-5% 5-15% 15-30% >30% 

Βλάστηση/χρήση γης:

Πλατάνι-Βάτα

Ανθρωπογενής διατάραξη:

Εμφανής Μη εμφανής **Περιγραφή κοίτης:**

Μητρικό πέτρωμα εμφανές:

Όχι Ναι 

Γνεύσιος με Χαλαζιακές Φλέβες

Διαμόρφωση κοίτης:

Φυσική Διευθετημένη Κανάλι 

Βάθος (cm):

20

Πλάτος (m):

1

Παροχή:

Χαμηλή Μέση Υψηλή 

Επικρατές υπόστρωμα:

Κροκάλες Χαλίκι και άμμος Άμμος-ιλύς Άργιλος Βλάστηση εντός κοίτης 

Αριθμός υπο-δειγμάτων:

6

Φωτογραφίες θέσης (θέση, αριθμός):

9978 εως 9987 (Χρ)

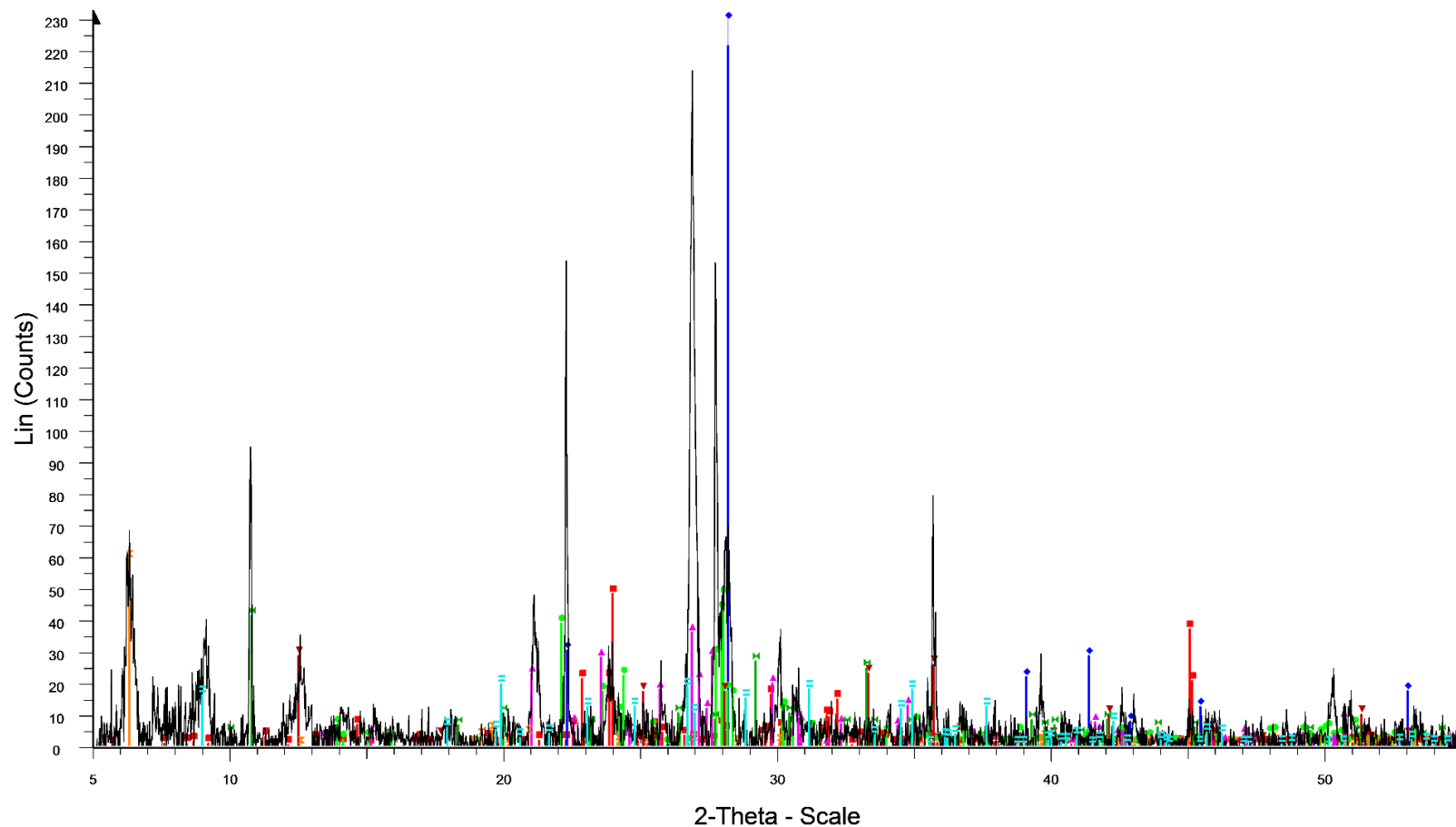
Σχόλια/ παρατηρήσεις:

Στα ανάντη σε απόσταση 10m έχει παλιό υδρομαστευτικό έργο (σκουριασμένη δεξαμενή). Σε όλη την κοίτη υπάρχουν σκουπίδια, σκουριασμένα σίδερα, ιδίως κατά το μήκος των εγκαταστάσεων της εταιρείας. Η θέση είναι ακριβώς ανάντη των εγκαταστάσεων της Ολυμπιάδας.



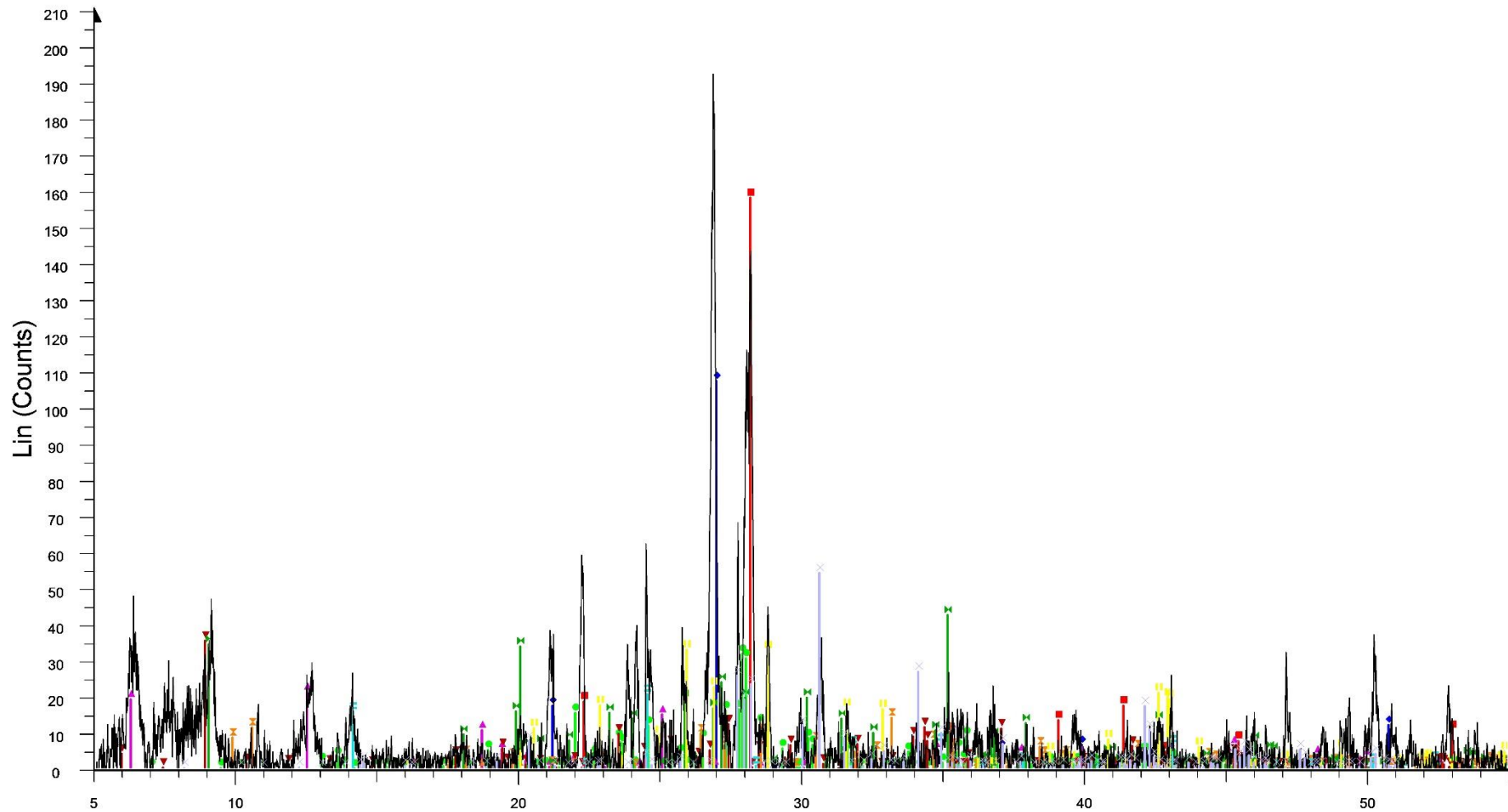
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ  
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ  
ΑΚΤΙΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΧRD

# Δείγμα ιζήματος SS06



File: SS\_06.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 00-020-0453 (I) - Glaucofanite - Na<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> - Y: 17.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
Operations: Background 1.000,1.000 | Import 01-085-1855 (C) - Muscovite 3T Si-rich - KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F) - Y: 8.41 % - d x by: 1. - WL: 1.54  
01-084-2222 (C) - Boulangerite O, syn - Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub> - Y: 20.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Ortho  
01-081-0067 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 111.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -  
01-089-6423 (C) - Albite - Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) - Y: 20.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.1330  
01-076-0823 (C) - Orthoclase - (K<sub>0.94</sub>Na<sub>0.06</sub>)(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) - Y: 15.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tr  
00-047-1800 (I) - Schulenbergite, cuprian - Cu<sub>6</sub>Zn(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>10</sub>·3H<sub>2</sub>O - Y: 12.26 % - d x by: 1. -  
01-089-6455 (C) - Clinocllore Ilb-2 (Cr-bearing, dehydrated) - Mg<sub>3</sub>(Mg<sub>2</sub>Al)((Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH))<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -

# Δείγμα ιζημάτος SS04

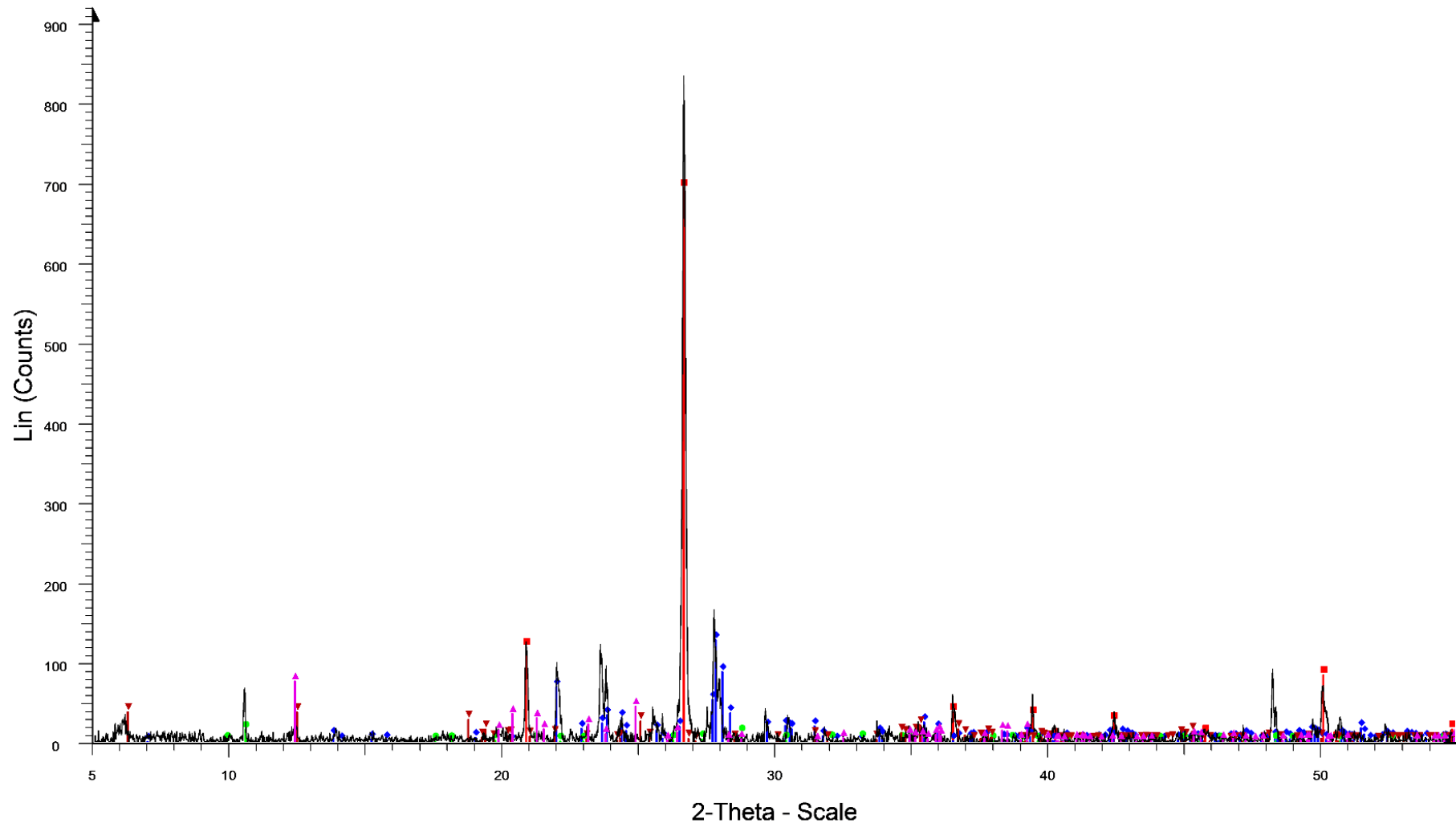


2-Theta - Scale

- File: SS\_04.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: Operations: Background 1.000,1.000 | Import
- 01-081-0067 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 75.26 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -
  - 01-078-1255 (A) - Quartz alpha, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 51.12 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a
  - 01-070-0287 (C) - Anorthite - CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> - Y: 15.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.18
  - 00-046-1322 (I) - Clinocllore-1M11b - Mg<sub>5</sub>Al(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 10.13 % - d x by: 1. - WL: 1.540
  - 01-073-1661 (C) - Biotite - KMg<sub>3</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>OHF - Y: 16.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a
  - 01-087-0611 (C) - Pargasitic hornblende - (Na,K)<sub>0.72</sub>(Ca,Fe)<sub>2</sub>(Mg,Fe,Al)<sub>5</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> - Y: 6
  - 01-085-2147 (C) - Muscovite 2M1 - (Na<sub>0.37</sub>K<sub>0.60</sub>)(Al<sub>1.84</sub>Ti<sub>0.02</sub>Fe<sub>0.10</sub>Mg<sub>0.06</sub>)(Si<sub>3.03</sub>Al<sub>0.97</sub>)O<sub>10</sub>
  - 01-076-1639 (C) - Sodalite, syn - Na<sub>8</sub>Al<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>24</sub>(OH)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> - Y: 9.81 % - d x by: 1. - WL: 1.540
  - 01-080-0512 (C) - Barite, syn - Ba(SO<sub>4</sub>) - Y: 15.62 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a
  - 01-077-1990 (C) - Enstatite - Mg<sub>31.88</sub>Sc<sub>2.72</sub>Si<sub>32.04</sub>O<sub>100</sub> - Y: 25.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -



# Δείγμα ιζήματος SS05



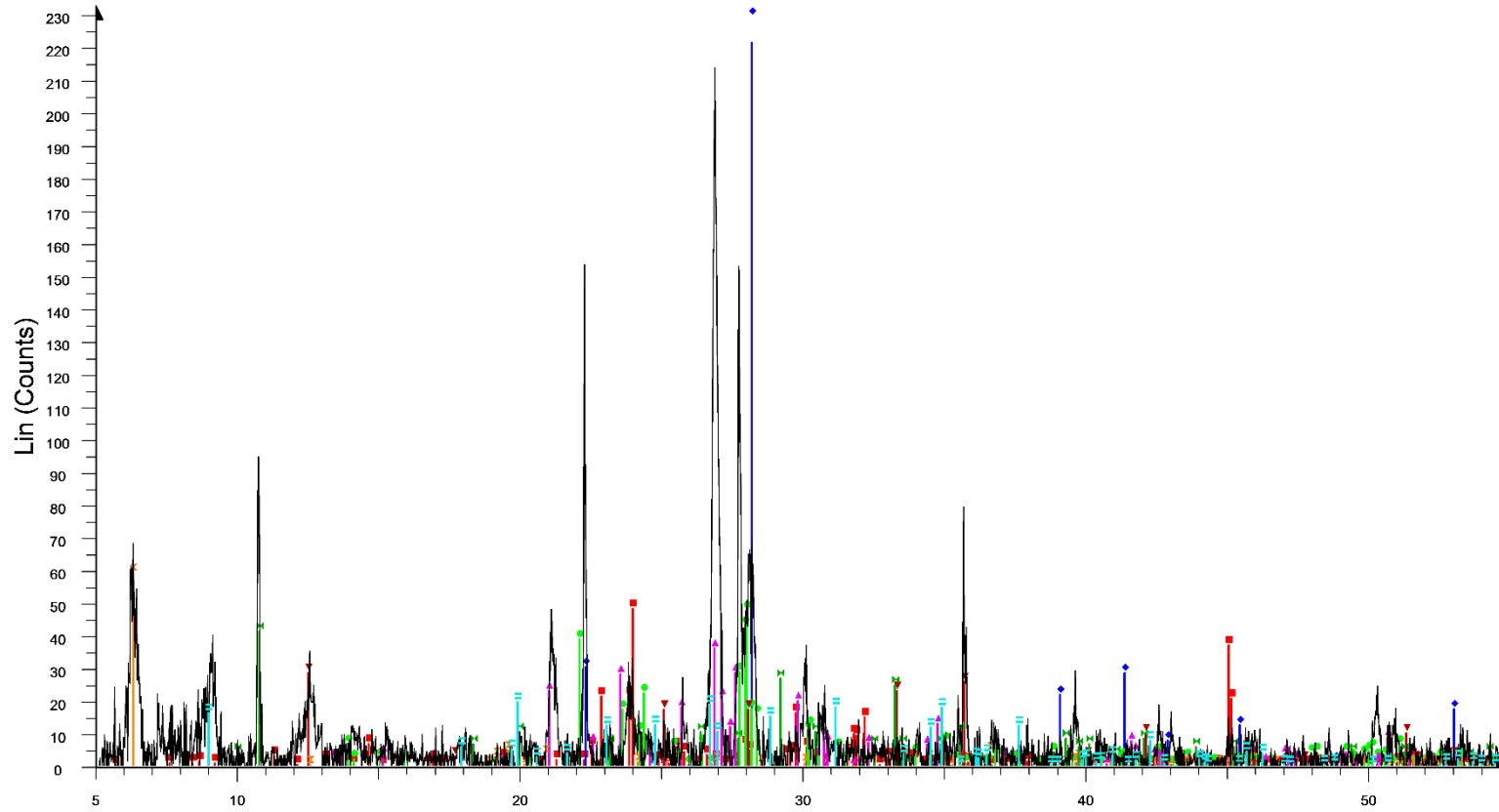
File: SS\_05.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 10 s - 2-Theta: 5.000 ° - Theta: 2.500 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0

Operations: Background 1.000,1.000 | Import

- 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 81.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) -
- ◆ 01-085-0878 (C) - Anorthite sodian - Na<sub>0.48</sub>Ca<sub>0.52</sub>Al<sub>1.52</sub>Si<sub>2.48</sub>O<sub>8</sub> - Y: 14.86 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17600 - b 12.84100 - c 14.20700 - alpha 93.530 - beta 116.270 - gamma 89.770 -
- 00-020-0481 (I) - Magnesiohornblende - (Ca,Na)<sub>2.26</sub>(Mg,Fe,Al)<sub>5.15</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> - Y: 1.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.78300 - b 17.93500 - c 5.29700 - alpha 90.000 - beta 104.600 -
- ▲ 01-080-0885 (C) - Kaolinite 1A - Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)(OH)<sub>4</sub> - Y: 8.82 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.15550 - b 8.94380 - c 7.40510 - alpha 91.700 - beta 104.840 - gamma 89.830 - Base-centered - C1 (
- ▼ 01-087-2496 (C) - Clinocllore (Ilb-4) - Mg<sub>4.882</sub>Fe<sub>0.22</sub>Al<sub>1.881</sub>Si<sub>2.960</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> - Y: 4.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.32620 - b 9.22600 - c 14.33400 - alpha 90.560 - beta 97.470 - gamma 8



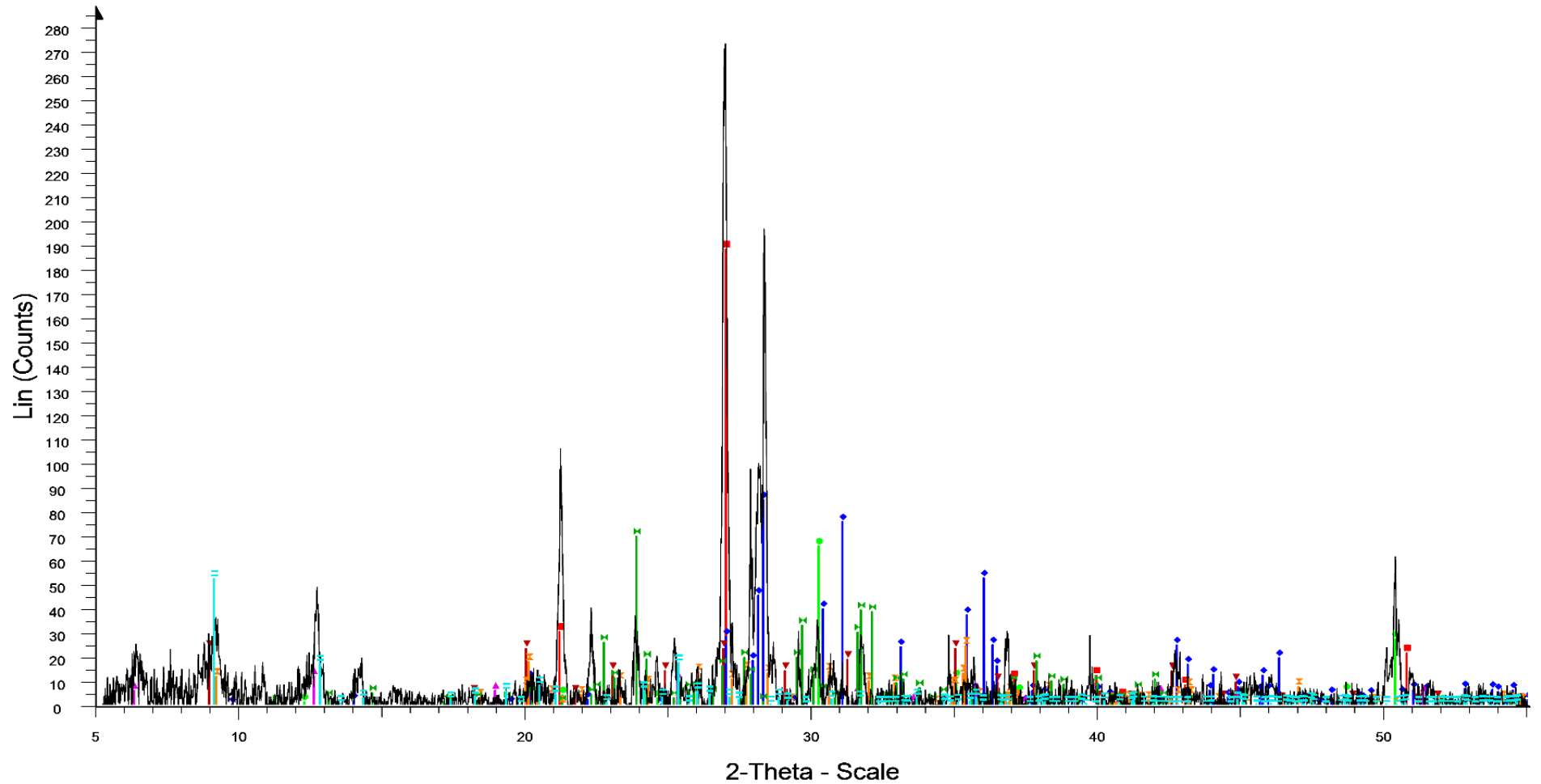
# Δείγμα ιζήματος SS06



2-Theta - Scale

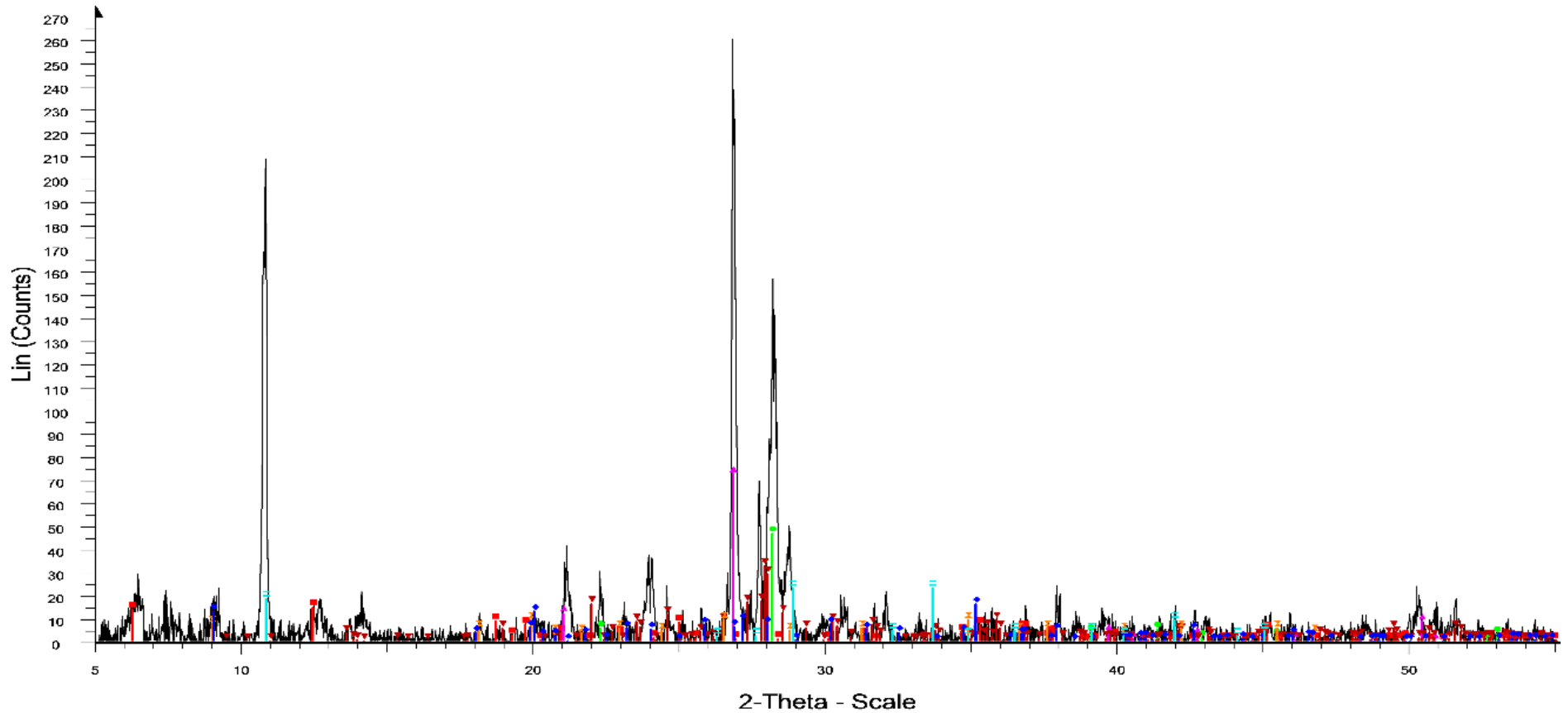
- File: SS\_06.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1.000 s
00-020-0453 (I) - Glaucofanite - Na<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> - Y: 17.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
Operations: Background 1.000,1.000 | Import
01-085-1855 (C) - Muscovite 3T Si-rich - KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F) - Y: 8.41 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
- 01-084-2222 (C) - Boulangerite O, syn - Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub> - Y: 20.69 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Ortho
  - 01-081-0067 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 111.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -
  - 01-089-6423 (C) - Albite - Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) - Y: 20.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.1330 -
  - 01-076-0823 (C) - Orthoclase - (K<sub>0.94</sub>Na<sub>0.06</sub>)(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) - Y: 15.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tr
  - 00-047-1800 (I) - Schulenbergite, cuprian - Cu<sub>6</sub>Zn(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>10</sub>·3H<sub>2</sub>O - Y: 12.26 % - d x by: 1. -
  - 01-089-6455 (C) - Clinocllore IIb-2 (Cr-bearing, dehydrated) - Mg<sub>3</sub>(Mg<sub>2</sub>Al)(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -

# Δείγμα ιζήματος SS07



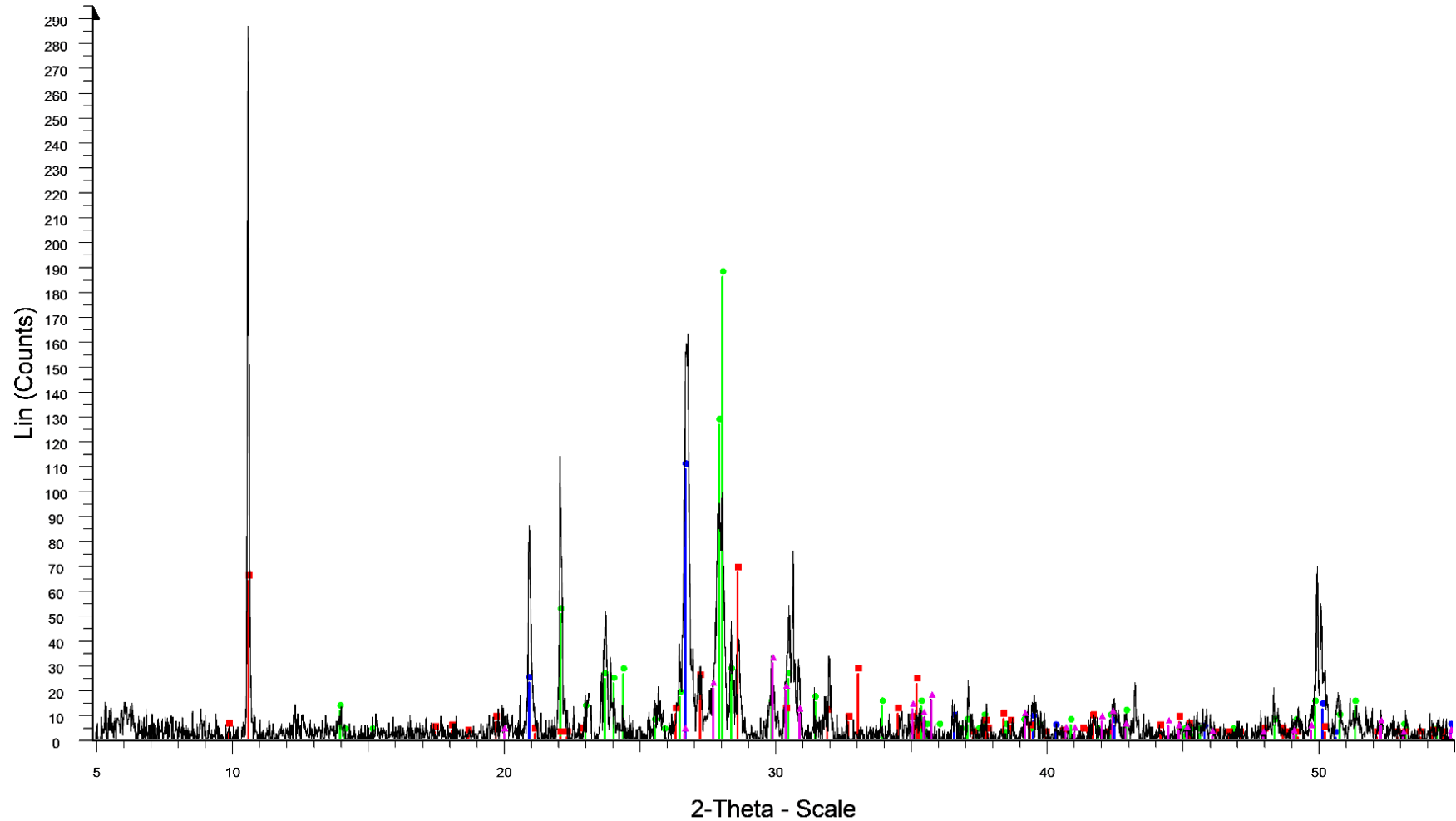
File: SS\_07.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 00-042-0562 (C) - Boulangerite, syn - Pb5S11Sb4 - Y: 24.22 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorh  
 Operations: X Offset 0.117 | Background 1.000,1.000 | Import 01-072-2194 (C) - Laumontite - CaAl2Si4O12(H2O)2 - Y: 18.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mon  
 01-078-1257 (A) - Quartz alpha, syn - SiO2 - Y: 65.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a  
 01-086-0430 (C) - Enstatite - Mg2(Si2O6) - Y: 29.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic -  
 01-074-1071 (C) - Tennantite - Cu12As3.40Sb.60S13 - Y: 22.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubi  
 00-012-0243 (D) - Clinocllore - Mg-Fe-Fe-Al-Si-O-OH - Y: 4.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Ortho  
 00-002-0057 (D) - Biotite - H4K2Mg6Al2Si6O24 - Y: 8.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic  
 01-082-2451 (C) - Muscovite 2M1 - (Na0.07K0.90Ba0.01)(Al1.84Ti0.04Fe0.07Mg0.04)(Si3.02Al0.

# Δείγμα ιζήματος SS09



■ File: SS\_09.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: ■ 00-004-0614 (D) - Riebeckite -  $2\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2 \cdot \text{FeSiO}_3$  - Y: 8.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
 Operations: Background 1.000,1.000 | Import  
■ 01-079-0761 (C) - Clinocllore 11b-2 -  $(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  - Y: 5.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -  
■ 01-081-0067 (C) - Quartz -  $\text{SiO}_2$  - Y: 16.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -  
■ 01-078-1254 (A) - Quartz alpha, syn -  $\text{SiO}_2$  - Y: 26.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -  
■ 01-089-1476 (C) - Anorthite, annealed -  $(\text{Ca}_{0.98}\text{Na}_{0.02})(\text{Al}_{1.98}\text{Si}_{0.02})\text{Si}_2\text{O}_8$  - Y: 11.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 1.00000 - b 0.70000 - c 0.70000 - beta 90.00000 -  
■ 00-009-0334 (D) - Illite 2M1 -  $\text{K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H}_2\text{O}$  - Y: 3.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 0.70000 - b 0.70000 - c 0.70000 - beta 90.00000 -  
■ 01-085-2147 (C) - Muscovite 2M1 -  $(\text{Na}_{0.37}\text{K}_{0.60})(\text{Al}_{1.84}\text{Ti}_{0.02}\text{Fe}_{0.10}\text{Mg}_{0.06})(\text{Si}_{3.03}\text{Al}_{0.97})\text{O}_{10}$  - Y: 1.5406 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 0.70000 - b 0.70000 - c 0.70000 - beta 90.00000 -

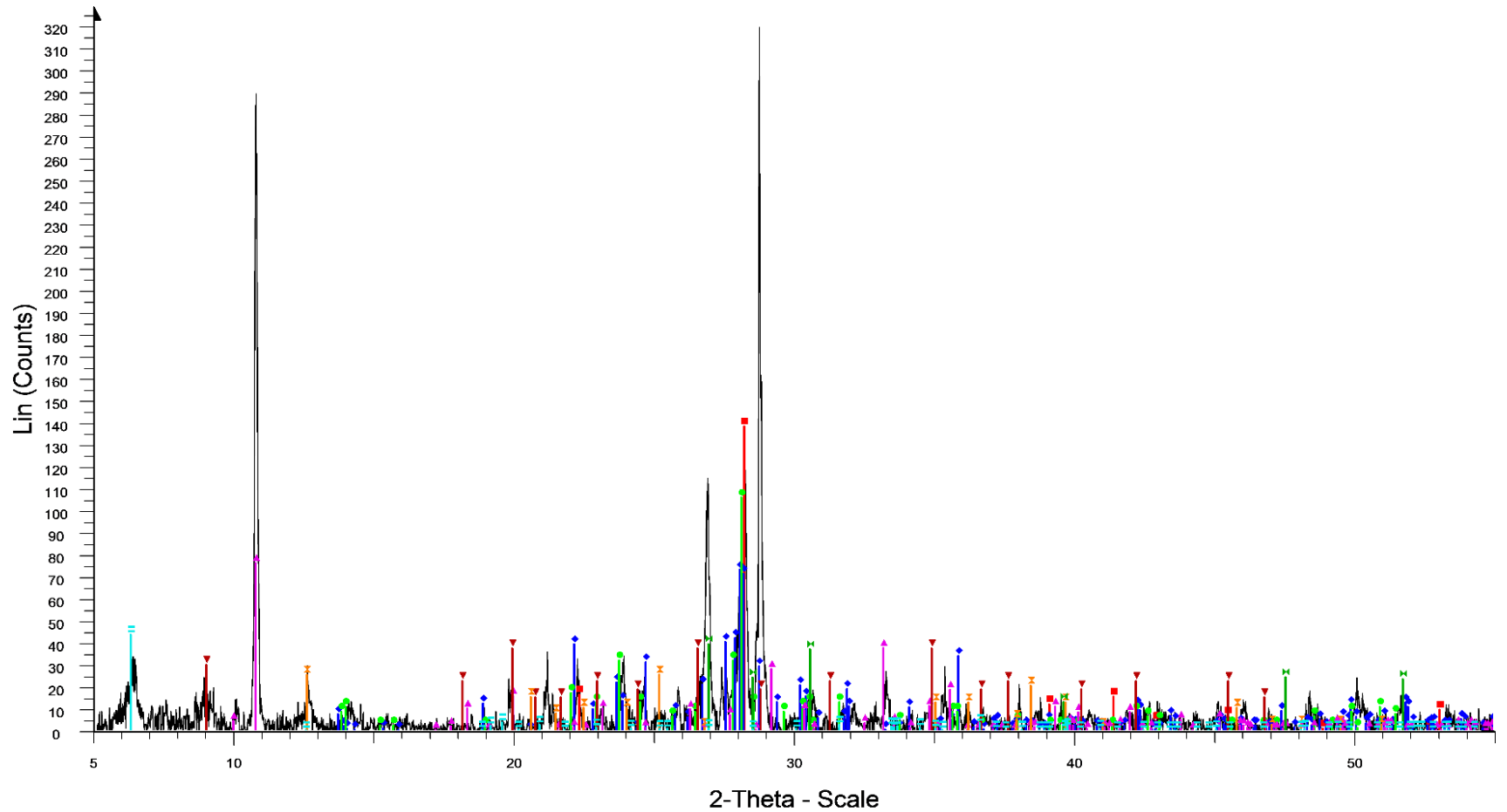
# Δείγμα SS10



File: SS\_10.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 12 s - 2-Theta: 5.000 ° - Theta: 2.500 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.0  
Operations: X Offset -0.158 | Background 1.000,1.000 | Import

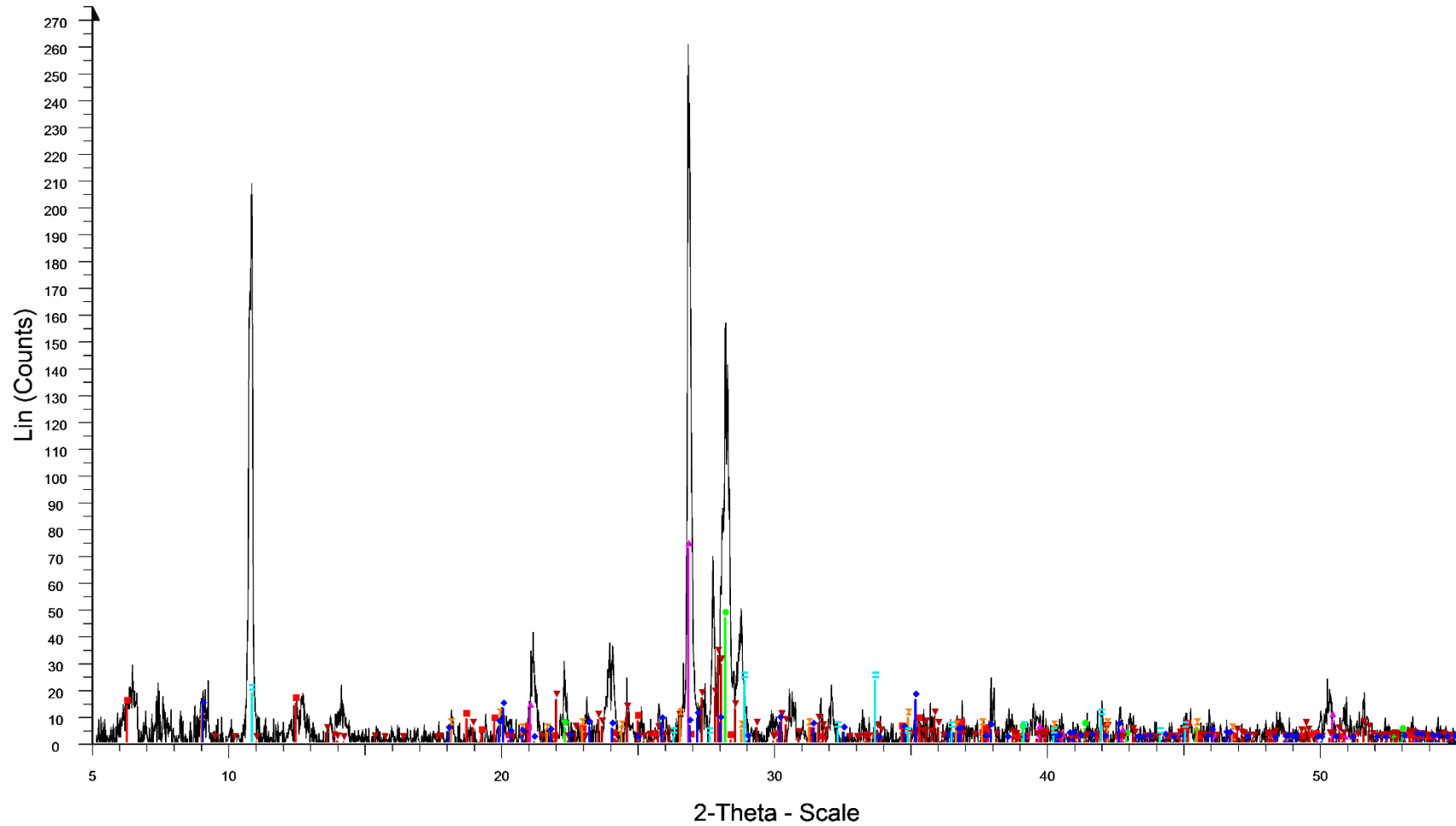
- 01-078-2315 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 36.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91239 - b 4.91239 - c 5.40385 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 112.9
- 00-041-1480 (I) - Albite, calcian, ordered - (Na,Ca)Al(Si,Al)<sub>3</sub>O<sub>8</sub> - Y: 63.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.16100 - b 12.85800 - c 7.11200 - alpha 93.680 - beta 116.420 - gamma 89.390 - Base
- 00-045-1371 (I) - Magnesiohornblende, ferroan - Ca<sub>2</sub>(Mg,Fe+2)4Al(Si7Al)O<sub>22</sub>(OH,F)<sub>2</sub> - Y: 22.77 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.85000 - b 18.07200 - c 5.30700 - alpha 90.000 - beta 104.9
- 00-041-1483 (I) - Augite, aluminian - Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> - Y: 10.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.74280 - b 8.89420 - c 5.27230 - alpha 90.000 - beta 106.111 - gamma 90.000 - Base

# Δείγμα ιζήματος SS11



■ File: SS\_11.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: ■ 01-079-2204 (C) - Wurtzite, syn - ZnS - Y: 11.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.822  
 Operations: Background 1.000,1.000 | Import ■ 01-089-6455 (C) - Clinocllore IIb-2 (Cr-bearing, dehydrated) - Mg3(Mg2Al)((Si3Al)O10)(OH)2O3 -  
■ 01-081-0067 (C) - Quartz - SiO2 - Y: 42.12 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -  
■ 01-087-1832 (C) - Anorthite (Mn-bearing), syn - (Ca0.715Mn0.196Na0.045)(Al1.911Si2.089O8) -  
■ 00-010-0393 (\*) - Albite, disordered - Na(Si3Al)O8 - Y: 32.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic  
■ 01-074-1866 (C) - Ferroglaucophane - Na1.72Ca.15Mg1.03Fe1.965Fe.312Al1.88Si7.94O22(OH)2  
■ 00-009-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H2O - Y: 11.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - M  
■ 00-003-0058 (D) - Kaolinite - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 7.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.

# Δείγμα ιζήματος SS09



File: SS\_09.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 55.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 00-004-0614 (D) - Riebeckite -  $2\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2\text{FeSiO}_3$  - Y: 8.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -  
Operations: Background 1.000,1.000 | Import

- 01-079-0761 (C) - Clinocllore IIb-2 -  $(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  - Y: 5.28 % - d x by: 1. - WL: 1.
- 01-081-0067 (C) - Quartz -  $\text{SiO}_2$  - Y: 16.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.60400 -
- 01-078-1254 (A) - Quartz alpha, syn -  $\text{SiO}_2$  - Y: 26.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a
- 01-089-1476 (C) - Anorthite, annealed -  $(\text{Ca}_{0.98}\text{Na}_{0.02})(\text{Al}_{1.98}\text{Si}_{0.02})\text{Si}_2\text{O}_8$  - Y: 11.81 % - d x by
- 00-009-0334 (D) - Illite 2M1 -  $\text{K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H}_2\text{O}$  - Y: 3.40 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Mo
- 01-085-2147 (C) - Muscovite 2M1 -  $(\text{Na}_{0.37}\text{K}_{0.60})(\text{Al}_{1.84}\text{Ti}_{0.02}\text{Fe}_{0.10}\text{Mg}_{0.06})(\text{Si}_{3.03}\text{Al}_{0.97})\text{O}_{10}$



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Στον Πίνακα 1, δίνονται τα όρια ανιχνευσιμότητας της μεθόδου ICP – MS (Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης με διέγερση πλάσματος) για κάθε ιχνοστοιχείο. Τα όρια είναι υπολογισμένα σε ppm.

Χημικό στοιχείο	Όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου (MDL)
Cu	0,10
Pb	1,00
Zn	0,10
Ag	0,10
Ni	0,10
Co	0,20
Mn	1,00
Fe	0,01
As	1,00
Cd	0,10
Mo	0,10
Sb	0,10
Bi	0,10
Sn	0,10

Πίνακας 1: Όρια ανιχνευσιμότητας μεθόδου ICP – MS

Στον Πίνακα 2, παρουσιάζονται οι ανώτατες αποδεκτές συγκεντρώσεις των:SO<sub>4</sub>, Fe, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Mn, As, Sb όπως και το εύρος του pH για το πόσιμο νερό όπως ορίζονται βάσει της οδηγίας 98/83/EC.

Παράμετροι	Ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση
SO <sub>4</sub>	250 mg/L
Fe	200 µg/L
Pb	10 µg/L
Zn	0,1 mg/L
Cu	2 mg/L
Cd	0.005 mg/L
Ni	0.02 mg/L
Mn	0.05 mg/L
As	0.05 mg/L
Sb	5 µg/L
pH	6.5 - 8.5

Πίνακας 2: Ανώτερα επιτρεπτά όρια των μετάλλων και των θεϊκών στα επιφανειακά νερά σύμφωνα με οδηγία της ΕΕ

Στον Πίνακα 3, δίνονται οι χημικοί τύποι όλων των ορυκτών – ορυκτών φάσεων για τα οποία γίνεται λόγος στην παρούσα εργασία.

Ορυκτό	Χημικός Τύπος
Αιματίτης (Hematite)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Αλβίτης (Albite)	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Αγκλεσίτης (Anglesite)	$\text{PbSO}_4$
Ανορθίτης (Anorthite)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Αντλερίτης (Antlerite)	$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$
Αρσеноπυρίτης (Arsenopyrite)	$\text{FeAsS}$
Αυτοφυής χρυσός	$\text{Au}$
Βαρίτης (Barite)	$\text{BaSO}_4$
Βιοτίτης (Biotite)	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Βουλανζερίτης (Boulangerite)	$\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$
Βουρτσιίτης (Wurtzite)	$(\text{Zn,Fe})\text{S}$
Βροχαντίτης (Brochantite)	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}$
Γαληνίτης (Galena)	$\text{PbS}$
Γκαιτίτης (Goethite)	$\text{FeOOH}$
Γλαυκοφανής (Glaucophane)	$\text{Na}_2(\text{Mg}_3\text{Al}_2)\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Ενστατίτης (Enstatite)	$\text{MgSiO}_3$
Ζινκίτης (Zincite)	$\text{ZnO}$
Ζινκοσίτης (Zincosite)	$\text{ZnSO}_4$
Ιλλίτης (Illite)	$(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,\text{H}_2\text{O}]$
Καολινίτης (Kaolinite)	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Κεροσιίβη (Pargasitic hornblende)	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Κερουσίτης (Cerussite)	$\text{PbCO}_3$
Κλινόχλωρο (Chlinochlore)	$(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}$
Κοβελλίνης (Covellite)	$\text{CuS}$
Κυπρίτης (Cuprite)	$\text{Cu}_2\text{O}$
Λανγκίτης (Langite)	$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Λαρνακίτης (Larnacite)	$\text{PbO}:\text{PbSO}_4$
Λεπιδοκροκίτης (Lepidocrocite)	$\text{FeOOH}$
Λωμοντίτης (Laumontite)	$\text{Ca}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Μαγκεμίτης (Maghemite)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Μαγνητίτης (Magnetite)	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Μαγνητοπυρίτης (Magnetopyrite)	$\text{FeS}$

Ορυκτό	Χημικός Τύπος
Μανγκανίτης (Magnanite)	MnOOH
Μαρκασίτης (Marcasite)	FeS <sub>2</sub>
Μοσχοβίτης (Muscovite)	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(F,OH) <sub>2</sub>
Βιξβίτης (Bixbyite)	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Μπουνσενίτης (Bunsenite)	NiO
Ορθόκλαστο (Orthoclase)	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Ριβεκίτης (Riebeckite)	Na <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> )Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>
Ροδοχρωσίτης (Rhodochrosite)	MnCO <sub>3</sub>
Σελλιγμανίτης (Sillimanite)	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>
Σερικίτης (Sericite)	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Σιδηρίτης (Siderite)	FeCO <sub>3</sub>
Σιδηροπυρίτης (Pyrite)	FeS <sub>2</sub>
Σοδάλιθος (Sodalite)	Na <sub>8</sub> (Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub> )Cl <sub>2</sub>
Σουλενβεργίτης (Schulenbergite)	(Cu, Zn) <sub>7</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>10</sub> • 3H <sub>2</sub> O
Σφαλερίτης (Sphalerite)	ZnS
Τενναντίτης (Tennantite)	Cu <sub>6</sub> [Cu <sub>4</sub> (Fe,Zn) <sub>2</sub> ]As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
Τενορίτης (Tenorite)	CuO
Τετραεδρίτης (Tetrahedrite)	(Cu,Fe,Ag,Zn) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
Φερριυδρίτης (Ferrihydrite)	Fe(OH) <sub>3</sub>
Χαλαζία (Quartz)	SiO <sub>2</sub>
Χαλκοπυρίτης (Chalcopyrite)	CuFeS <sub>2</sub>
Χαλκοσίνης (Chalcocite)	Cu <sub>2</sub> S
Χαουσμανίτης (Hausmannite)	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Χλωρίτης (Chlorite)	(Al,Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> ,Li,Mg,Mn,Ni) <sub>5-6</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> ,Si) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

Πίνακας 3: Χημικοί τύποι των ορυκτών – ορυκτών φάσεων