



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ - ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

## «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης»

Διπλωματική Εργασία

**Δέσποινα Ψαρράκη**

Επιβλέπουσα:  
Βασιλείου Ελένη Δρ. ΕΔΙΠ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, 2022





# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ - ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

## «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης»

Διπλωματική Εργασία

**Δέσποινα Ψαρράκη**

Επιβλέπουσα:  
Βασιλείου Ελένη Δρ. ΕΔΙΠ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, 2022





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα μου, την Δρ. ΕΔΙΠ Ελένη Βασιλείου, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, για τις υποδείξεις και τις συμβουλές σε οποιοδήποτε στάδιο και ζήτημα που ανέκυψε κατά καιρούς καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, αλλά και στον χρόνο που αφιέρωσε στη διόρθωση και στη βελτίωση της διάρθρωσης της εργασίας. Χωρίς τη βοήθειά της η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη Δρ. Μαρία Περράκη, Αν. Καθηγήτρια της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η κυρία Περράκη συνέβαλε καταλυτικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και στην πλήρη ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων. Ο πλούτος των στοιχείων αυτών προήλθε από εξειδικευμένα εργαστήρια με τη συμβολή της. Επίσης η διάθεση της και οι συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας αλλά και του εξοπλισμού που μου διέθεσε, την καθιστούν αναπόσπαστο κομμάτι της εργασίας αυτής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κύριο Μαλαμή Συμεών – Αλέξανδρο, Αν. Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τον χρόνο που αφιέρωσε και αυτός στη διόρθωση της διπλωματικής εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον Δρ. Γεωλόγο Παναγιώτη Παπαζώτο, για τη διαρκή καθοδήγηση του, για τον χρόνο που αφιέρωσε για τις υποδείξεις και τις συμβουλές σε οποιοδήποτε στάδιο και ζήτημα που προέκυψαν κατά καιρούς καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης στην κα Σταυρούλα Δραγουμάνη, ΕΤΕΠ για την καθοδήγηση και την βοήθειά της στις εδαφικές αναλύσεις, που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο στο εργαστήριο Γεωλογίας του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχ. Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστώ επίσης τους Υποψήφιους Διδάκτορες Γιώργο Γεωργόπουλο MSc Γεωλόγο και τον Στέλιο Βασιλάκη MSc Γεωπόνο, για τις συμβουλές και για τα επικοινωνιακά σχόλιά τους κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξή τους.

Σας ευχαριστώ όλους θερμά!

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	12
EXTENDED ABSTRACT .....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΤΟΧΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	15
1. ΛΕΚΑΝΗ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΝΟΜΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ - ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ .....	16
1.1 Εισαγωγή - Περιοχή Μελέτης.....	16
1.2 Γεωγραφία - Γεωμορφολογία.....	17
1.3 Λιθοστρωματογραφία .....	19
1.4 Τεκτονική .....	24
1.5 Χρήσεις γης .....	26
2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ .....	28
2.1 Υδρογεωλογικά δεδομένα.....	28
2.2 Υδρολιθολογική ταξινόμηση.....	28
2.3 Υδροφόρα συστήματα .....	32
2.4 Πιεζομετρία λεκάνης Σαριγκιόλ.....	33
2.5 Σταθμημετρήσεις .....	36
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	40
3.1 Συνοπτική παρουσίαση μεθοδολογίας .....	40
3.2 Διάγραμμα ροής εργασίας .....	41
3.3 Δειγματοληψία .....	42
3.4 Δειγματοληψία και εδαφικά δείγματα .....	43
3.5 Προετοιμασία δειγμάτων και χημικές αναλύσεις.....	43
3.6 Επεξεργασία δεδομένων .....	45
3.7 Εδάφη .....	46
3.7.1 Σύσταση του εδάφους.....	46
3.7.2 Οργανική ουσία του εδάφους.....	46
3.7.3 Προσδιορισμός οργανικής ουσίας (Μέθοδος Walkley – Black).....	47
3.7.3.1 Αρχή της μεθόδου .....	47

3.6.2. Εκτέλεση πειράματος .....	48
3.8 Στατιστική ανάλυση .....	50
3.8.1 Περιγραφικά στατιστικά.....	50
3.8.3 Συντελεστής συσχέτισης κατά Spearman.....	53
3.8.4 Πολυκριτηριακή στατιστική ανάλυση .....	54
3.8.4.1 Hierarchical Cluster Analysis (HCA)- Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες.....	54
3.8.4.2 Factor Analysis - Παραγοντική ανάλυση .....	54
3.9 Δυνητικά τοξικά στοιχεία.....	55
3.9.1 Δείκτες ρύπανσης του εδάφους.....	56
3.9.2 Pollution load index (PLI) - Δείκτης φορτίου ρύπανσης.....	56
3.9.3 Enrichment factor (EF) – Συντελεστής εμπλουτισμού.....	57
3.9.4 Geo-accumulation index (Igeo) - Δείκτης γεωσυσσώρευσης.....	58
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	59
4.1 Χημικές Αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων στη λεκάνη Σαριγκιόλ .....	59
4.2 Συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman και Pearson .....	84
4.3 Hierarchical Cluster Analysis – Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες .....	88
4.4 Παραγοντική ανάλυση.....	89
4.4 Αποτελέσματα Προσδιορισμού οργανικής ουσίας (Μέθοδος Walkley – Black) .....	91
4.5 Δείκτες ρύπανσης εδάφους.....	94
4.5.1 Pollution load index (PLI) - Δείκτης φορτίου ρύπανσης.....	94
4.5.2 Enrichment factor (EF) – Συντελεστής εμπλουτισμού.....	96
4.5.3 Geo-accumulation index (Igeo) - Δείκτης γεωσυσσώρευσης.....	99
4.6 Δείκτες ρύπανσης υδάτων.....	102
4.6.1 Water quality index (WQI)- Δείκτης Ποιότητας Υδάτων .....	102
4.6.3 Heavy metal evaluation index (HEI) – Δείκτης αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων .....	106
5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	108
5.1 Συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman. ....	111
5.2 Hierarchical cluster .....	111
5.3 Παραγοντική ανάλυση.....	112
5.4 Δείκτες επιμόλυνσης εδάφους.....	113
5.4.1 Pollution load index (PLI) - Δείκτης φορτίου ρύπανσης.....	113
5.4.2 Enrichment factor (EF) – Συντελεστής εμπλουτισμού.....	113

5.4.3 Geo-accumulation index (Igeo) - Δείκτης γεωσυσσώρευσης .....	113
5.5 Δείκτες ρύπανσης υδάτων .....	114
5.5.1 Water quality index (WQI)- Δείκτης Ποιότητας Υδάτων .....	114
5.5.2 Heavy Metal Pollution Index (HPI) – Δείκτης ρύπανσης δυνητικών τοξικών στοιχείων .....	114
5.5.3 Heavy metal evaluation index (HEI) – Δείκτης αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων .....	114
5.6 Συνδυαστικά αποτελέσματα νερών- εδαφών - Δυνητικά τοξικά στοιχεία που παρουσιάζουν ενδιαφέρον .....	115
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	116
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	119
Ελληνική Βιβλιογραφία .....	119
Ξένη βιβλιογραφία .....	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	127
Μέση σύσταση του φλοιού της γης .....	127
Πλήρεις χημικές αναλύσεις .....	128

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Η θέση της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας στον χάρτη της Ελλάδας. ....	16
Εικόνα 2 Τοπογραφική απεικόνιση της λεκάνης Σαριγκιόλ και υδρογραφικό δίκτυο του ρέματος Σουλού και των ρεμάτων του Βερμίου. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής, με μπλε το υδρογραφικό δίκτυο, με πράσινο τα σημεία με υψομετρική πληροφορία, με σκούρο καφέ οι κύριες και με ανοιχτό καφέ οι δευτερεύουσες ισοϋψείς (σχήμα άνευ κλίμακας) (Σπυρίδης, 2009). ....	18
Εικόνα 3 Γενικευμένη στρωματογραφική στήλη των λιγνιτοφόρων λεκανών Φλώρινας, Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, Κοζάνης και Σαρανταπόρου (Metaxas et al., 2007). ....	23
Εικόνα 4 Τεκτονικός χάρτης της περιοχής Φλώρινας-Βεγορίτιδας- Πτολεμαΐδας (Pavlides and Mountrakis, 1987).....	24
Εικόνα 5 Λιθολογικός χάρτης στη λεκάνη της Σαριγκιόλ (Vasileiou, 2021). ....	25
Εικόνα 6 Δορυφορική φωτογραφία στην οποία απεικονίζονται οι χρήσεις γης στη λεκάνη Σαριγκιόλ στη Δυτική Μακεδονία (Παπαζώτος, 2020; Vasileiou et al., 2018; τροποποιημένο) .....	27
Εικόνα 7 Υδρολιθολογικός χάρτης της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας (Παπαζώτος, 2020) .....	31
Εικόνα 8 Πιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Σαριγκιόλ (Κουμαντάκης, 2012). ....	35
Εικόνα 9: Απλοποιημένη γεωλογική τομή στην οποία αποτυπώνεται το καθεστώς τροφοδοσίας του υπερκείμενου υδροφόρου συστήματος, στα νότια-ανατολικά περιθώρια της λεκάνης Σαριγκιόλ. (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ , 2016) .....	37
Εικόνα 10 Επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων στο εργαστήριο Γεωλογίας του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών. Διαδικασία κονιοποίησης. ....	44
Εικόνα 11 Επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων. Το δείγμα 1 είναι το αρχικό εδαφικό δείγμα μετά από την ξήρανση, το εδαφικό 2 είναι κλάσμα >2mm και το 3 είναι το κλάσμα του δείγματος <2mm. Το 3 είναι το κλάσμα το οποίο κονιοποιείται(4) και στέλνεται για χημική ανάλυση. ....	45
Εικόνα 12 Εφαρμογή μεθόδου Walkley – Black. a) διάλυμα 1N K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> . b) 10mL διαλύματος 1N K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> με 1g ιζήματος. c) προσθήκη δείκτη διφαινυλαμισουλφονικού βαρίου.....	48
Εικόνα 13 Εφαρμογή μεθόδου Walkley – Black. Το διάλυμα αποκτά κυανό χρώμα (a) προς το τέλος της τιτλοδότησης. Στο σημείο της εξουδετέρωσης το χρώμα του διαλύματος αλλάξει σε πράσινο (b).....	49
Εικόνα 14 Χάρτης της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας, με τις 34 θέσεις δειγματοληψίας των εδαφικών δειγμάτων. ....	61
Εικόνα 15 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του τριοξειδίου του σιδήρου (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ. ....	64
Εικόνα 16 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του οξειδίου του ασβεστίου (CaO) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ. ....	65
Εικόνα 17 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του οξειδίου του μαγνηίου (MgO) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ. ....	66
Εικόνα 18 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Αρσενικού (As) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ. ....	68
Εικόνα 19 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Cd στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	69
Εικόνα 20 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Co στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	71
Εικόνα 21 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Cr στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	72

Εικόνα 22 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Cu στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	74
Εικόνα 23 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Ni στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	75
Εικόνα 24 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας P στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ. ....	76
Εικόνα 25 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Pb στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	78
Εικόνα 26 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Zn στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	79
Εικόνα 27 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Sb στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.....	80
Εικόνα 28 Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες.....	88
Εικόνα 29 Ανάλυση κύριων συνιστωσών από το κρημνογράφημα των ιδιοτιμών συνιστωσών για τα 34 εδαφικά δείγματα στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.....	89
Εικόνα 30 Κατηγοριοποίηση της περιεκτικότητας των εδαφών σε ποσοστό οργανικής ουσίας.....	91
Εικόνα 31 Περιεκτικότητα οργανικής ουσίας εδαφικών δειγμάτων για δείκτη 1.47.....	92
Εικόνα 32 Περιεκτικότητα οργανικής ουσίας εδαφικών δειγμάτων για δείκτη 1.3.....	92
Εικόνα 33 Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες για τα 26 εδαφικά δείγματα, στα οποία μετρήθηκε το ποσοστό οργανικής ουσίας, στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.....	93
Εικόνα 34 Χωρική απεικόνιση δείκτη φορτίου ρύπανσης PLI.....	95
Εικόνα 35 Χωρική απεικόνιση του συντελεστή εμπλουτισμού EF για το χρώμιο (Cr).....	97
Εικόνα 36 Χωρική απεικόνιση του συντελεστή εμπλουτισμού EF για το νικέλιο (Ni).....	97
Εικόνα 37 Χωρική απεικόνιση του συντελεστή εμπλουτισμού EF για το αρσενικό (As).....	98
Εικόνα 38 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το χρώμιο (Cr).....	100
Εικόνα 39 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το νικέλιο (Ni).....	100
Εικόνα 40 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το αρσενικό (As).....	101
Εικόνα 41 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το κάδμιο (Cd).....	101
Εικόνα 42 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το αρσενικό (As).....	101
Εικόνα 43 Χωρική απεικόνιση του δείκτη ποιότητας υπογείων νερών WQI στη λεκάνη Σαριγκιόλ.....	103
Εικόνα 44 Χωρική απεικόνιση του δείκτη ρύπανσης βαρέων μετάλλων HPI για τα υπόγεια νερά της λεκάνης Σαριγκιόλ. ....	105
Εικόνα 45 Χωρική απεικόνιση του δείκτη αξιολόγησης βαρέων μετάλλων HEI για τα υπόγεια νερά της λεκάνης Σαριγκιόλ. ....	107
Εικόνα 46 Απλοποιημένος χάρτης γεωλογίας της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας (Vasileiou et al., 2019, τροποποιημένος).....	110
Εικόνα 47 Συνοπτική παρουσίαση προέλευσης στοιχείων στα εδάφη.....	117
Εικόνα 48 Συνοπτική παρουσίαση προέλευσης στοιχείων στα υπόγεια ύδατα.....	118

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών σύμφωνα με το συντελεστή διαπερατότητας (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ , 2016): .....	29
Πίνακας 2 Σημεία μέτρησης βάθους στάθμης υδρογεωτρήσεων (Ερευνητικά έργα ΕΜΠ , 2016-2018)..	38
Πίνακας 3 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη PLI.....	56
Πίνακας 4 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη EF.....	57
Πίνακας 5 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη I <sub>geo</sub> .....	58
Πίνακας 6 Χημικές αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων από την λεκάνη της Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας. ....	60
Πίνακας 7 Κλίμακα συντελεστή συσχέτισης.....	84
Πίνακας 8 Συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman για τα στοιχεία ενδιαφέροντος .....	85
Πίνακας 9 Συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson για τα στοιχεία ενδιαφέροντος .....	86
Πίνακας 10 Αριθμούς των συσχετίσεων Spearman για τιμές μεγαλύτερες 0.5 για κάθε στοιχείο. ....	87
Πίνακας 11 Στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (ΚΜΟ) .....	89
Πίνακας 12 Παραγοντική ανάλυση για τα 34 εδαφικά δείγματα στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας. ....	90
Πίνακας 13 Αποτελέσματα προσδιορισμού της οργανικής ουσίας % .....	91
Πίνακας 14 Στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (ΚΜΟ) .....	93
Πίνακας 15 Παραγοντική ανάλυση για τα 26 εδαφικά δείγματα, στα οποία μετρήθηκε το ποσοστό οργανικής ουσίας, στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.....	93
Πίνακας 16 Δείκτης φορτίου ρύπανσης PLI.....	94
Πίνακας 17 Συντελεστής εμπλουτισμού EF .....	96
Πίνακας 18 Συντελεστής εμπλουτισμού I <sub>geo</sub> .....	99
Πίνακας 19 Κατηγοριοποίηση των δειγμάτων των νερών με βάση τον δείκτη ποιότητας υδάτων WQI .....	102
Πίνακας 20 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη Ποιότητας Υδάτων .....	102
Πίνακας 21 Κατηγοριοποίηση των δειγμάτων των νερών με βάση τον Δείκτη ρύπανσης δυνητικών τοξικών στοιχείων HPI .....	104
Πίνακας 22 Κατηγοριοποίηση του δείκτη αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων HEI.....	106
Πίνακας 23 Κατηγοριοποίηση των δειγμάτων των νερών με βάση τον δείκτη αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων HEI.....	106
Πίνακας 24 Περιεκτικότητες φωσφορικών λιπασμάτων (mg kg <sup>-1</sup> ) των δυνητικά τοξικών στοιχείων As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn (Papazotos et al. ,2019). ....	109
Πίνακας 25 Μέση σύσταση του φλοιού της γης (ppm) (Mason and Moore 1982). ....	127

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της μεταπτυχιακής διατριβής αυτής, διερευνήθηκε η συσχέτιση της σύστασης των εδαφών και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ του Νομού Κοζάνης στη Δυτική Μακεδονία. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη παρουσία δυνητικών τοξικών στοιχείων στα εδάφη και στην πιθανή αποδέσμευση τους στον υπόγειο υδροφόρο. Ο τελικός στόχος της εργασίας είναι να καταγραφεί η υφιστάμενη κατάσταση στα εδάφη της περιοχής μελέτης και να συσχετιστεί με την ποιοτική κατάσταση των υπογείων νερών, ώστε να προσδιοριστεί ο σημαντικός ρόλος των εδαφών κατά την αλληλεπίδραση τους με τα νερά της περιοχής.

Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία 34 εδαφικών δειγμάτων από τη λεκάνη Σαριγκιόλ και γεωχημική ανάλυση αυτών σε 54 στοιχεία, παράλληλα εφαρμόστηκε η μέθοδος Walkley - Black για τον προσδιορισμό της (%) οργανικής ουσίας σε 26 από τα 34 εδαφικά δείγματα. Εφαρμόστηκαν στατιστικές μέθοδοι (Pearson, Spearman, Factor Analysis, HCA) προκειμένου να αξιολογηθούν όλα τα γεωχημικά δεδομένα και να εκτιμηθεί η ποιοτική κατάσταση των εδαφών και οι πηγές προέλευσης των δυνητικά τοξικών στοιχείων.

Τα δυνητικά τοξικά στοιχεία είναι μια από τις σοβαρότερες απειλές στο περιβάλλον, εξαιτίας της τοξικότητας και των επιπτώσεών τους στους ζωντανούς οργανισμούς. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των δυνητικά τοξικών στοιχείων σε νερά και εδάφη είναι αποτέλεσμα γεωγενών (αλληλεπίδραση νερών-πετρωμάτων) και ανθρωπογενών (χρήσεις γης) παραγόντων.

Η γεωλογία της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από μεγάλες εμφανίσεις οφιολιθικών συμπλεγμάτων, το κατώτερο τμήμα των οποίων αποτελείται από υπερβασικά πετρώματα. Σε υπερβασικά περιβάλλοντα, έχουν καταγραφεί αυξημένες συγκεντρώσεις κύριων ιόντων και δυνητικά τοξικών στοιχείων όπως  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ , As, Co, Cr, Cu και Ni (Marques et al., 2008; Ryan et al., 2011; Margiotta et al., 2012; Petrotou et al., 2012; Kelepertzis et al., 2013; Vithanage et al., 2014; Tashakor et al., 2018). Στη λεκάνη Σαριγκιόλ, τα υπερβασικά πετρώματα υπάρχουν σε μεγάλη έκταση κυρίως στο όρος Βέρμιο, Σκοπό και Άσκιο, τροφοδοτώντας το πεδινό τμήμα της λεκάνης με αποσαθρωμένο υλικό αυτών, το οποίο αποτελεί το βασικό κλαστικό υλικό των εδαφών. Στην λεκάνη Σαριγκιόλ ασκούνται εκτεταμένες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η λιγνιτική εκμετάλλευση και οι εκτεταμένες αγροτικές καλλιέργειες και η χρήση αγροχημικών προϊόντων.

Από το σύνολο της επεξεργασίας των δεδομένων, υψηλές τιμές Cr καταγράφονται σε νερά και εδάφη, υψηλές τιμές Ni και As καταγράφονται στα εδάφη και υψηλές τιμές  $NO_3^-$  στα υπόγεια νερά. Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι, ότι η επιβάρυνση εδαφών και η υποβάθμιση των υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ είναι αποτέλεσμα συνισταμένη δράσης, του γεωχημικού περιβάλλοντος (υπερβασικά πετρώματα) και των αγροτικών δραστηριοτήτων (χρήση λιπασμάτων).



## EXTENDED ABSTRACT

This thesis deals with the correlation of soil contents and groundwater concentrations in the Sarigkiol Basin. Sarigkiol Basin is located in Western Macedonia near Kozani. Particular emphasis was placed on the presence of potentially toxic elements (PTEs) in soils and the potential dissolution in the local underground aquifer.

Environmental pressures that exert on this region have multiple recipients, one of which is the groundwater resources. Rational regional water management demands targeted investigation for defining the deterioration of water resources, as well as their protection and exploitation. Determining the sources of pollution and contamination constitutes the initial step to groundwater protection and confrontation of the groundwater's deterioration (Vasileiou et al., 2019). The **objective of this thesis** is to investigate and determine the chemical composition of soils in Sarigkiol Basin in order to associate this with the qualitative characteristics of the groundwaters.

Potentially toxic elements (PTEs) are one of the most serious threats to the environment because of their toxicity and effects on living organisms. The geochemical footprint, the mobility and the increased concentrations of potentially toxic elements in water and soil are the result of geogenic and anthropogenic factors. Knowledge of the content of PTEs in soils, as well as the origin of these contaminants are priority objectives in the European Union, especially for countries that utilize fossil fuels (lignite) as an energy source. (Petrotou et al., 2012)

The Sarigkiol basin is located in Western Macedonia, Greece, covering an area of approximately 470 km<sup>2</sup> and it is part of the Ptolemais–Kozani basin. The Ptolemais - Kozani basin is of great importance concerning the energy production of Greece. The main activities in the Sarigkiol basin are (a) lignite mining, (b) power plant operation, (c) agriculture, and (d) livestock farming (Vasileiou et al., 2019).

The geology of Greece is characterized by large occurrences of ophiolitic complexes, the lower part of which consists of ultrabasic rocks. In ultramafic environments, increased concentrations of major ions and potentially toxic elements such as Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, As, Co, Cr, Cu και Ni have been recorded (Marques et al., 2008; Ryan et al., 2011; Margiotta et al., 2012; Petrotou et al., 2012; Kelepertzis et al., 2013; Vithanage et al., 2014; Tashakor et al., 2018). The dominant geological formations in the Sarigkiol basin are Triassic and Cretaceous limestones, Jurassic ultramafic rocks (serpentinites and peridotites), Upper Cretaceous flysch, and Neogene–Quaternary sediments. In the Sarigkiol basin, the ultramafic rocks are present in a large area mainly in Mount Vermio, Scopos and Askio, feeding the lowland part of the basin with disintegrated material. In Sarigkiol Basin, extensive anthropogenic activities, such as lignite mining and extensive agricultural crops and the use of agrochemicals, are implemented.

A total of 34 soil samples from Sarigkiol Basin were processed and geochemically analyzed (54 elements: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, Ba, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr, As, Bi, Hg, Sb, Se, Tl, Ag, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, P), the Walkley-Black method was implemented to determine the organic matter in 26 of the 34 soil samples. Additional, statistical processing (Pearson, Spearman, Factor Analysis (PCA)- Hierarchical Cluster Analysis (HCA)) of the data was implemented to evaluate the soil and groundwater quality and to point out the origin of the potentially toxic elements (PTEs), which were recorded in the chemical analyses. Also, «enrichment» levels of Cr, As, Hg, Sb, Tl, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V and Ba in the soil samples were evaluated

using various indices, such as pollution load index (PLI), enrichment factor (EF), and geo-accumulation index (I<sub>geo</sub>), which are also widely used to estimate the contamination levels of heavy metals in the soils of the world. Similar indices, such as water quality index (WQI), heavy metal pollution index (HPI), heavy metal evaluation index (HEI), to assess the groundwater quality and the pollution levels of potentially toxic elements were calculated. In order to study the distribution of the potentially toxic elements in the Sarigkiol basin, maps of their concentrations were created with the aid of ArcGIS software.

All water samples in the Sarigkiol basin are near-neutral to slightly alkaline (pH 7.3–8.5) and oxidative (Eh = 194.4–412 mV), conditions typical for aquifers related to ultramafic and carbonate rocks (Vasileiou et al., 2019). All measured pH values are within the acceptable limit of 6.5–8.5 for drinking water (WHO 2017). Groundwater in the Sarigkiol basin is generally characterized by good quality. Most of PTEs (Ni, Cu, Cd, Co, Fe, Pb, Zn) exhibit very low concentrations, below the guideline values (WHO 2017) in most of the surface water and groundwater samples, as a result of the alkaline conditions that prevail in the basin, which are unfavorable for PTE mobilization. Even though Ni concentration in soils is upper the intervention limit (3 times) from Dutch List (VROM, 2000), the concentrations in ground water is relatively low due to the alkaline conditions that prevail, in the basin. The main source of P in groundwater is the use of P-bearing fertilizers. The most significant environmental pressures in groundwater, are the elevated concentrations of Cr and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Cr is soluble and mobile in a wide range of pH values, specifically Cr<sup>6+</sup> is mainly soluble and mobile in the conditions that exist in the study area. The concentrations of As in soils are relatively high in relation with average amounts in earth's crust (Mason and Moore, 1982) and relatively low in relation with the target and intervention limit from Dutch List (VROM, 2000). Even though As is generally soluble and mobile in wide range of pH values in groundwaters, the concentrations in the groundwater of the Sarigkiol basin are very low.

The results derived from the chemical analysis and Pearson and Spearman correlation, Factor Analysis and Hierarchical cluster analysis showcase that Cr, Ni, As strongly correlate with each other, as do Si, Al, K and P, Cu, Zn, Pb, Cd among each other. The elements Cr, Ni and As have high concentrations in soils. This correlation reflects geochemical characteristics reflecting the influence of the ultramafic rocks on the soils. For the elements Si, Al and K the most possible origin is the weathering of rocks (pedogenetic processes). The potential toxic elements P, Cu, Zn, Pb, Cd can be attributed to anthropogenic activities such as agriculture, through the application of phosphate and other fertilizers and pesticides, used in certain parts of the area.

The results of the soil contamination indices coincide with the concentrations of the elements in the soil samples. The pollution load index (PLI) helps to calculate the total charge of potentially toxic elements in the soil samples. The soil samples of the study area can be characterized as "Unpolluted to moderately polluted" with main sources of pollution being Cr, Ni and As. The results of the water contamination indices showcase that the water samples can be characterized as «Good to moderate quality».

Concluding from the whole data processing, high values of Cr are recorded in water and soils, high values of Ni and As are recorded in soils and high values of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> are recorded in groundwater. The general conclusion obtained is that the elevated concentration in the soil and the degradation of groundwater in the Sarigkiol basin are the result of a combined action of the geochemical environment (ultramafic rocks) and agricultural activities (fertilizers).

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΤΟΧΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της μεταπτυχιακής διατριβής αυτής, διερευνήθηκε η συσχέτιση της σύστασης των εδαφών και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ του Νομού Κοζάνης στη Δυτική Μακεδονία.

Η λεκάνη της Σαριγκιόλ αποτελεί την κύρια λιγνιτοφόρο λεκάνη στην Ελλάδα, όπου λαμβάνει χώρα η μεγαλύτερη λιγνιτική εκμετάλλευση της χώρας. Ακόμα στη λεκάνη λαμβάνουν χώρα και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η γεωργία και η κτηνοτροφία.

Η λεκάνη της Σαριγκιόλ υπήρξε παλαιότερα και κατά επανάληψη στόχος ερευνών λόγω της σημαντικότητας στην παραγωγή ενέργειας της χώρας, των ιδιαίτερων γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν (υπερβασικοί γεωλογικοί σχηματισμοί) και την παρουσία δυνητικών τοξικών στοιχείων στη περιοχή. Πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων και μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή, το 1991 η διδακτορική διατριβή του Γ. Λουλούδη, το 1998 με το ερευνητικό πρόγραμμα «Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού σε περιοχές υπαίθριων λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Πιλοτική εφαρμογή στο ορυχείο του Νοτίου Πεδίου ΑΚΠ-Α και σύνδεση με την ευρύτερη περιοχή Κοζάνης Πτολεμαΐδας-ΕΛΙΜΕΙΑ», το 2000 με το ερευνητικό έργο «Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ», το 2001 με τη μελέτη του Ι. Μελαδιώτη, «Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Πτολεμαΐδας - Σαριγκιόλ για την υδροδότηση του δήμου Κοζάνης», το 2012 με τη μελέτη «Υδατικό καθεστώς λεκάνης Σαριγκιόλ Κοζάνης με έμφαση στο Νότιο λιγνιτοφόρο πεδίο» του Ι. Κουμαντάκη και το ερευνητικά προγράμματα του Ε.Μ.Π. με Επιστημονική Υπεύθυνη τη Μ. Περράκη από το 2016 έως και σήμερα.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκαν, η προετοιμασία και η επεξεργασία (ξήρανση, κοσκίνιση και κονιοποίηση) των εδαφικών δειγμάτων από τη λεκάνη Σαριγκιόλ. Παράλληλα εφαρμόστηκε η μέθοδος Walkley - Black για τον προσδιορισμό της (%) οργανικής ουσίας. Εφαρμόστηκαν στατιστικές μέθοδοι (Pearson, Spearman, Factor Analysis, HCA) και υπολογίστηκαν οι δείκτες ρύπανσης εδαφών και υπόγειων νερών. Τέλος δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες και χάρτες χωρικής κατανομής διαφόρων παραμέτρων

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται η γεωγραφία, η γεωλογία και γενικά στοιχεία για την περιοχή έρευνας. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η υδρογεωλογία της περιοχής. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής διατριβής. Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών και στατιστικών αναλύσεων, οι δείκτες ρύπανσης εδαφών και νερών και η χωρική απεικόνιση όλων των αποτελεσμάτων. Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η συζήτηση των αποτελεσμάτων και στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα.

Οι περιβαλλοντικές πιέσεις που ασκούνται στην περιοχή έχουν πολλαπλούς αποδέκτες, ένας πολύ σημαντικός είναι και τα υπόγεια ύδατα. Η ορθολογική περιφερειακή διαχείριση των νερών απαιτεί στοχευμένη έρευνα για τον προσδιορισμό της υποβάθμισης των υδάτινων πόρων, καθώς και την προστασία και εκμετάλλευσή τους. Ο καθορισμός των πηγών ρύπανσης αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την προστασία των υπόγειων υδάτων και την αντιμετώπιση της υποβάθμισης τους. Συνεπώς ο **στόχος της εργασίας** είναι να καταγραφεί η υφιστάμενη κατάσταση στα εδάφη της περιοχής μελέτης και να συσχετιστεί με την ποιοτική κατάσταση των υπογείων νερών, ώστε να προσδιοριστεί ο σημαντικός ρόλος των εδαφών κατά την αλληλεπίδραση τους με τα νερά της περιοχής.

## 1. ΛΕΚΑΝΗ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΝΟΜΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ - ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

### 1.1 Εισαγωγή - Περιοχή Μελέτης

Η λεκάνη Σαριγκιόλ βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία, καλύπτοντας έκταση περίπου 479 km<sup>2</sup> και αποτελεί τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Κοζάνης. Βρίσκεται ανάμεσα στα γεωγραφικά πλάτη 40° 20' 00" και 40° 28' 00" Ε και τα γεωγραφικά μήκη 21° 46' 00" και 22° 40' 00" Β.



Εικόνα 1 Η θέση της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας στον χάρτη της Ελλάδας.

Η λεκάνη περιβάλλεται από το όρος Βέρμιο στα βορειοανατολικά, το όρος Σκοπός στα νότια και το όρος Άσκιο στα δυτικά. Το υψόμετρο της λεκάνης κυμαίνεται από +640 m έως +1873 m στην κορυφή του Βερμίου Όρους. Η λεκάνη Πτολεμαΐδας-Κοζάνης αποτελεί την κύρια λιγνιτοφόρο λεκάνη στην Ελλάδα, όπου λαμβάνει χώρα η μεγαλύτερη λιγνιτική εκμετάλλευση και η παραγωγή ενέργειας της χώρας που αποτελεί το 50% της συνολικής ενέργειας. (Vasileiou et al., 2019)

Οι σημαντικότερες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στη λεκάνη Σαριγκιόλ είναι:

1. Η εξόρυξη λιγνίτη (εκμετάλλευση λιγνίτη, εκσκαφή, μεταφορά και απόθεση)
2. Η λειτουργία Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΑΗΣ) (καύση λιγνίτη, παραγωγή ενέργειας, παραγωγή-μεταφορά-απόθεση του παραπροϊόντος καύσης του λιγνίτη, της ιπτάμενης τέφρας)
3. Η γεωργία
4. Η κτηνοτροφία στους πρόποδες των οροσειρών που περιβάλλουν τη λεκάνη.

Η λεκάνη Σαριγκιόλ καλύπτει συνολικά μια έκταση 479km<sup>2</sup>. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις εκτιμάται ότι εκτείνονται σε μια έκταση 165 km<sup>2</sup> από τον Αγ.Δημήτριο μέχρι την Ποντοκώμη, ενώ οι εκτάσεις μεταλλευτικής δραστηριότητας είναι 50 km<sup>2</sup>. Η παραγωγή λιγνίτη στην περιοχή εκτιμάται περίπου 40\*10<sup>6</sup> tn/year. Στη στενή περιοχή της λεκάνης Σαριγκιόλ, δύο εργοστάσια παραγωγής ενέργειας λειτουργούν, ένας κοντά στο χωριό Αγ. Δημήτριος (με συνολική ισχύ 1500 MW) στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Σαριγκιόλ, το οποίο λειτουργεί μέχρι σήμερα και ένα κοντά στο χωριό Καρδιά (συνολική

ισχύς 1200 MW) στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, το οποίο δεν λειτουργεί πλέον (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016).

## 1.2 Γεωγραφία - Γεωμορφολογία

Η μορφολογία της λεκάνης Σαριγκιόλ εμφανίζει μεταβολές, με υψόμετρα από 650 m έως 800 m, ενώ το κεντρικό τμήμα της είναι σχεδόν επίπεδο. Αντίθετα στις δύο παρειές της τάφρου, στα Όρη Βέρμιο και Άσκιο, τα υψόμετρα αυξάνονται απότομα. Το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής βρίσκεται στο Όρος Βέρμιο και είναι 1873 m. Το μέσο μήκος του πυθμένα της λεκάνης Σαριγκιόλ, κατά τον άξονά της, είναι περίπου 15 km και το μέσο πλάτος 10 km. (Vasileiou et al., 2018; Παπαζώτος, 2020; Vasileiou et al., 2019)

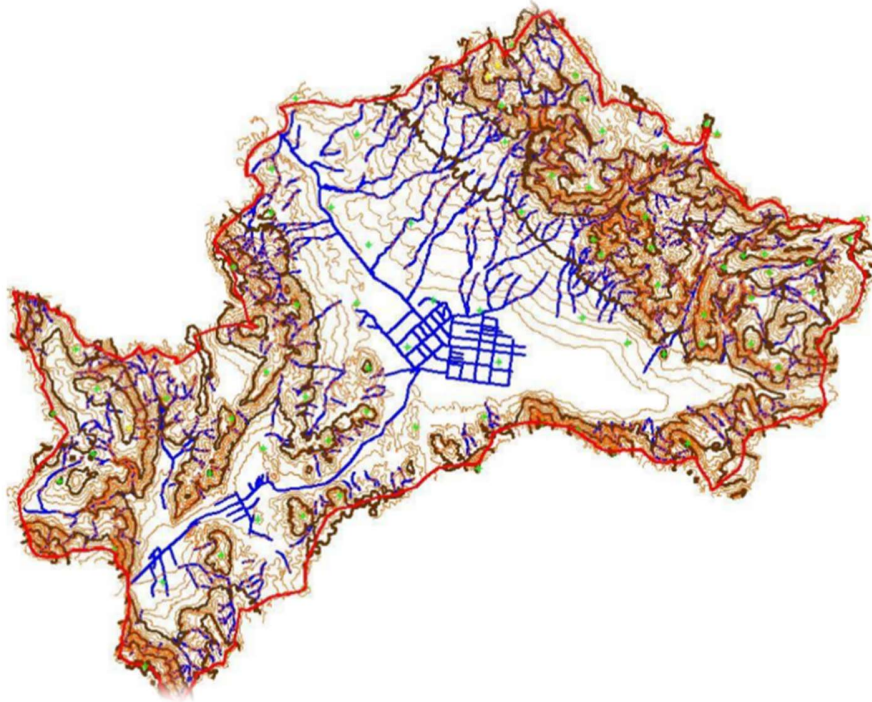
Στην κεντρικό τμήμα της λεκάνης Σαριγκιόλ, με τα χαμηλότερα υψόμετρα, συσσωρεύονταν οι περιορισμένες επιφανειακές απορροές, οι οποίες εξαιτίας των γεωλογικών συνθηκών ήταν επαρκείς ώστε να σχηματίσουν ένα έλος, σημαντικής έκτασης. Για την εκμετάλλευση της έκτασης αυτής, έγιναν αποστραγγιστικά και αποξηραντικά έργα το 1954, δημιουργήθηκε ένα σύστημα αποστραγγιστικών τάφρων και η κεντρική αποχετευτική τάφρος (ρέμα) Σουλού, ώστε η κλειστή λεκάνη (πρώην έλος) Σαριγκιόλ να αποστραγγίζεται και τα νερά της να οδηγούνται δια μέσου της πεδιάδας της Πτολεμαΐδας, στη λίμνη Βεγορίτιδα. Το ρέμα Σουλού (στο τμήμα του στη λεκάνη Σαριγκιόλ) είναι ένα αποστραγγιστικό κανάλι που ξεκινάει από την έξοδο του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, όπου δέχεται και νερά από τον βιολογικό καθαρισμό του σταθμού.

Οι απορροές του ρέματος Σουλού αντιπροσωπεύουν (Δημητρακόπουλος κ.α., 2001, Δημητρακόπουλος και Γρηγοράκου, 2010, Δημητρακόπουλος κ.α., 2014, Vasileiou et al 2018; Παπαζώτος 2020; Vasileiou et al., 2019):

- Τις επιφανειακές απορροές του χαμηλού τμήματος της λεκάνης, το οποίο αποστραγγίζεται με το δίκτυο των δευτερευουσών στραγγιστικών τάφρων, που καταλήγουν στην κεντρική αποστραγγιστική τάφρο – ρέμα Σουλού,
- Τις αντλήσεις των αποστραγγιστικών γεωτρήσεων, που γίνονται για την προστασία του ορυχείου από την εισροή υπόγειων νερών,
- Τις αντλήσεις των νερών που συγκεντρώνονται στα καλούμενα «επιφανειακά αντλιοστάσια» των ορυχείων. Πρόκειται για νερά που συγκεντρώνονται σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους στα βαθύτερα σημεία των ορυχείων, και τα οποία προέρχονται κυρίως από τα όμβρια νερά που απορρέουν από τις επιφάνειες των εκσκαφών και αποθέσεων και δευτερευόντως από υπόγεια νερά, που εισέρχονται στο χώρο εκσκαφής,
- Τις απορρίψεις των ΑΗΣ, που αποτελούνται κυρίως από τα νερά ψύξης. Τα νερά που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα ψύξης των μονάδων, προέρχονται από το φράγμα Πολυφύτου και μετά τη χρήση τους απορρίπτονται σε ένα ποσοστό περίπου 30-35% στην τάφρο απαγωγής και καταλήγουν στο ρέμα Σουλού, ενώ το υπόλοιπό εξατμίζεται.

Στο ρέμα Σουλού δεν εισέρχονται νερά απορροής από τα ορεινά τμήματα της λεκάνης της Σαριγκιόλ και ως εκ τούτου δεν περιλαμβάνει τα νερά εκφόρτισης των φυσικών πηγών του ορεινού όγκου του Βερμίου. Τα νερά των χειμάρρων που κατέρχονται από το Βέρμιο διηθούνται είτε στους ανθρακικούς σχηματισμούς, είτε στα κορήματα της κοίτης τους και τα πλευρικά κορήματα της λεκάνης.

Μετά από έντονες βροχοπτώσεις δεν καταγράφεται σημαντική επιφανειακή απορροή στις κοίτες των δυο ρεμάτων που διασχίζουν τις περιοχές της Ακρινής, του Αγ. Δημητρίου, γιατί το νερό διηθείται σχετικά γρήγορα στα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και στους ανθρακικούς περατούς σχηματισμούς.



Εικόνα 2 Τοπογραφική απεικόνιση της λεκάνης Σαριγκιόλ και υδρογραφικό δίκτυο του ρέματος Σουλού και των ρεμάτων του Βερμίου. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής, με μπλε το υδρογραφικό δίκτυο, με πράσινο τα σημεία με υψομετρική πληροφορία, με σκούρο καφέ οι κύριες και με ανοιχτό καφέ οι δευτερεύουσες ισοϋψείς (σχήμα άνευ κλίμακας) (Σπυρίδης, 2009).

### 1.3 Λιθοστρωματογραφία

Στην περιοχή έρευνας, συναντώνται μεσοζωικά πετρώματα, που αποτελούν τις ορεινές μάζες και το υπόβαθρο των χαμηλότερων εκτάσεων στις οποίες έχουν αποθεθεί μεγάλου πάχους νεογενείς αποθέσεις, καθώς και τεταρτογενή υλικά αποσάθρωσης, σημαντικού ενίοτε πάχους, κυρίως στις παρυφές της λεκάνης Σαριγκιόλ.

Στη συνέχεια, παρατίθεται συνοπτική περιγραφή όλων των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων από τα νεότερα στα παλαιότερα (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016).

#### Τεταρτογενής σειρά:

- Ολόκαινο:
  - Σύγχρονες προσχώσεις και ελουβιακός μανδύας: άμμοι, χαλίκια, άργιλοι και κορήματα. Αναπτύσσονται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής, στους πρόποδες του Άσκιου όρους και στο κεντρικό τμήμα στη λεκάνη Σαριγκιόλ βόρεια του όρους Σκοπού.
  - Σύγχρονες λιμναίες αποθέσεις: άργιλοι αμμούχες, ασβεστούχες καταθέσεις λίγο χουμώδεις, με φυτικά λείψανα και θραύσματα από αρτίγονα μαλάκια. Περιορίζονται στο χώρο, που καταλάμβανε το αποξηραμένο έλος Σαριγκιόλ.
  - Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων: Αναπτύσσονται κυρίως ανάμεσα στα χωριά Αγ. Δημήτριος και Τετράλοφο, που βρίσκονται ανατολικά της λεκάνης Σαριγκιόλ στις δυτικές παρυφές του Βερμίου. Το πάχος τους είναι σημαντικό ξεπερνώντας κατά θέσεις τα 100 m.
- Ανώτερο Πλειστόκαινο

Συνίσταται από συσσώρευση διαφόρων τύπων χονδροκλαστικών ιζημάτων, που καλύπτουν τις ασβεστολιθικές πλαγιές των Βουνών Βερμίου, Άσκιου και Σκοπού. Πρόκειται για επικάλυμμα από πλευρικά κορήματα, τα οποία αποτελούνται από γωνιώδη θραύσματα κυρίως ασβεστολίθων, εγκλεισμένα μέσα σε κλαστική καστανοκίτρινη θεμελιώδη μάζα.
- Μέσο Πλειστόκαινο

Αντιπροσωπεύεται από παλαιούς λατυποπαγείς κώνους, με χαρακτηριστικό γνώρισμα τη συνύπαρξη ερυθρών αργίλων και θραυσμάτων ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Η ισχυρή συνεκτικότητά τους περιορίζεται στα ανώτερα τμήματα των κώνων και αυξάνει γενικά από κάτω προς τα πάνω. Στο βόρειο τμήμα από την πλευρά του Βερμίου, όπου συναντάται και η μεγαλύτερη ανάπτυξη του σχηματισμού, οι κώνοι απολεπταίνονται και τέμνονται από πολυάριθμα ρυάκια. Η κυρίως μάζα αποτελείται από ερυθρές αργίλους μέσα στις οποίες παρεμβάλλονται φακοειδείς ενστρώσεις αδρομερών κροκαλοπαγών. Τα ασβεστολιθικά στοιχεία αυξάνουν προς τα πάνω, ενώ στο νότιο τμήμα της λεκάνης το πάχος της συσσωρεύσεως ελαττώνεται προοδευτικά και το υλικό γίνεται περισσότερο αργιλοαμμώδες. Οι λατυποπαγείς κώνοι εμφανίζονται σε μικρή έκταση βορειοανατολικά του όρους Άσκιου, στο δυτικό τμήμα του χάρτη και σε ακόμη μικρότερη έκταση βόρεια του όρους Σκοπού.
- Κατώτερο Πλειστόκαινο

Κατά το κατώτερο Πλειστόκαινο έχουν αποθεθεί οι εξής σχηματισμοί:

  - Ερυθρές άργιλοι και λατυποπαγή: βρίσκονται γύρω από το όρος Σκοπός και όλος ο σχηματισμός αποτελείται από λατυποπαγή μαρμάρια κομμάτια, ερυθρούς αργίλους και διάσπαρτες ασβεστολιθικές λατύπες με συγκεντρώσεις ασβεστολιθικού υλικού σε μορφή συγκριμάτων.

- Ερυθρές άργιλοι με χαλίκια: εμφανίζονται στα νοτιοδυτικά της λεκάνης κάτω από τον πρώην βάλτο Σαριγκιόλ.
- Κροκαλοπαγή “Προαστίου”: πρόκειται για ποτάμιες αποθέσεις με κροκάλες από διαβάση, γάβρο, πηγματίτες, ασβεστόλιθους, κρυσταλλικούς σχιστόλιθους, ραδιολαρίτες, αρκετά αποστρογγυλωμένες. Εμφανίζονται ανατολικά του όρους Άσκιου και οι εμφανίσεις τους είναι μεμονωμένες επιφανειακά, αλλά με μεγαλύτερη εξάπλωση υπογείως.

### Νεογενής Σειρά

- Μέσο - Αν. Πλειόκαινο- Αν. Μειόκαινο

Μάργες, άργιλοι, άμμοι, λιγνίτες: εμφανίζονται επιφανειακά μόνο σε λίγες θέσεις στο βορειοδυτικό τμήμα της νότιας λεκάνης της Πτολεμαΐδας, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης καλύπτονται από τεταρτογενείς σχηματισμούς.

Σύμφωνα με τους Αναστόπουλο-Κούκουζα (1972), τα Τριτογενή ιζήματα ανάγονται στο Νεογενές, το οποίο χωρίζεται σε τρεις επιμέρους σειρές:

1. Την ανώτερη σειρά η οποία περιλαμβάνει: α) την ανώτερη στιβάδα των κιτρινόφαιων λεπτομερών κλαστικών ιζημάτων και μερικών αδρομερών, που αποτελείται κυρίως από εναλλασσόμενες στρώσεις ασβεστούχων άμμων, αργίλων, αμμούχων μαργών, αλλά και πολλών λεπτών φακοειδών διαστρώσεων ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών και μαργαϊκών ασβεστολίθων και β) την στιβάδα των πρασινότεφρων αργιλομαργαϊκών ιζημάτων, που αποτελείται από αμμούχες αργίλους και λυομιγείς αργιλούχες μάργες.
2. Τη λιγνιτοφόρο σειρά, η οποία δημιουργήθηκε κατά το Αν. Μειόκαινο - Πλειόκαινο. Τη σειρά αυτή συνθέτουν τρεις στιβάδες: η ανώτερη και η κατώτερη περιλαμβάνουν τα λιγνιτοφόρα στρώματα και η ενδιάμεση, πάχους περί τα 15 m, αποτελείται από αμμούχες μάργες με σπάνιες ενστρώσεις αργίλων και συχνές ενστρώσεις από λιμναίες κρητίδες. Η ανώτερη λιγνιτοφόρος στιβάδα αποτελείται από 9-10 στρώματα λιγνίτη, πάχους λίγων εκατοστών έως 2 m, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ενστρώσεις αργίλων, μαργών και κρητίδας. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων ανέρχεται σε 10 m και της στιβάδας σε 40 m. Η κατώτερη λιγνιτοφόρος στιβάδα αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα λιγνίτη, αργίλων και μαργών, ποικίλου πάχους. Εντός αυτών, εντοπίζονται δύο χαρακτηριστικές ενδιαστρώσεις από άμμο και λιμναία κρητίδα, με το χαρακτηριστικό απολίθωμα *Neritina*, οι οποίες αποτελούν καθοδηγητικούς ορίζοντες για εντοπισμό ρηγμάτων στο κοίτασμα. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων στη στιβάδα αυτή, ανέρχεται σε 55 m και ολόκληρης της στιβάδας σε 80 m. Ο τρόπος σχηματισμού του λιγνίτη είναι ο ίδιος σε όλη τη λεκάνη Σαριγιόλ.
3. Την κατώτερη υποκείμενη των λιγνιτών σειρά, ηλικίας Αν. Μειοκαίνου, που αποτελείται στους ανώτερους ορίζοντες από αργιλούχες μάργες κατά τόπους αμμούχες, με φακοειδείς διαστρώσεις μαργαϊκού ασβεστολίθου, συνολικού πάχους 90 m. Βαθύτερα μέχρι και 110 m, έχουν διαπιστωθεί αμμώδεις άργιλοι, με μαργαϊκές ενστρώσεις.



- Κατ. Μειόκαινο

**Κροκαλοπαγή και λατυποπαγή:** κλαστικός σχηματισμός, που αποτελείται από ασβεστολιθικά λατυποπαγή με πολύ μεγάλη συνεκτικότητα και από κροκαλοπαγή με μεγάλες κροκάλες από κρυσταλλικά πετρώματα. Τα κροκαλοπαγή αντιστοιχούν σε παλιές προσχώσεις χειμάρρων, με πιθανή κατεύθυνση ροής από νότο (Πιέρια) προς βορρά. Οι εμφανίσεις τους είναι μεμονωμένες, βορειοανατολικά του όρους Σκοπού και νοτιοδυτικά του όρους Βερμίου.

Σύμφωνα με τους Κούκουζα (1979) και Metaxas et al. (2007), τα ιζήματα της λεκάνης Σαριγκιόλ έχουν ποταμοχειμάρρια προέλευση. Επομένως, κατά καιρούς ανάλογα με τη ροή των νερών και τις μεταβολές της κοίτης των χειμάρρων αποτίθενται διαφορετικά υλικά που προέρχονται από τη διάβρωση διαφορετικών σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό υλικών, σε διάφορες (κοντινές) θέσεις. Στη συνέχεια μέσω των χειμάρρων τη μία χρονική περίοδο τροφοδοτούσαν τα ιζήματα με νερά πλούσια πχ σε ασβέστιο (εάν είχαν περάσει από ανθρακικά πετρώματα) και την άλλη περίοδο πλούσια σε μαγνήσιο (εάν είχαν περάσει από υπερβασικά πετρώματα). Έτσι ερμηνεύεται η ύπαρξη συγκολλημένων αμμοχάλικων με ασβεστιτική συνδετική ύλη σε κάποιες θέσεις της λεκάνης (ψαμμίτες), ενώ ακριβώς δίπλα σε μικρή απόσταση τα αμμοχάλικα είναι χαλαρά και ασύνδετα. Η ίδια γεωλογική διαδικασία ερμηνεύει τις διαφοροποιήσεις στην ποιότητα των νερών γενικώς, αλλά και ειδικότερα στην περιεκτικότητα σε χρώμιο γειτονικών γεωτρήσεων.

## Πελαγονική Ζώνη

### Μέσο - Ανώτερο Κρητιδικό

- Αν. Μαιστρίχτιο

Φλύσσης: χονδροκλαστικός σχηματισμός, στη βάση του οποίου απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι μετάβασης προς την υποκείμενη ανθρακική σειρά. Προς τα πάνω, συναντώνται στρώματα ψαμμιτών και κροκαλοπαγών με σπάνιους φακούς ασβεστόλιθων. Τα κροκαλοπαγή συνίστανται από κροκάλες διάφορων πετρωμάτων, αλλά επικρατούν εκείνες από μεταμορφωμένα πετρώματα. Τυπικές εμφανίσεις φλύσχη έχουμε στο Βέρμιο και στην περιοχή της Κοζάνης.

- Τουρώνιο-Μαιστρίχτιο

Ασβεστόλιθοι νηριτικής φάσεως: με ποικιλία χρώσεων, λεπτο- έως παχυστρωματώδεις. Οι παραλλαγές της ιζηματογένεσης είναι σημαντικές από θέση σε θέση. Στο Βέρμιο συναντώνται προς τη βάση, σκοτεινότεφροι πλακώδεις ασβεστόλιθοι που μεταβαίνουν προς τα πάνω σε συμπαγείς ασβεστόλιθους με θραύσματα Ρουδιστών. Ακολουθούν ασβεστόλιθοι με πολλά ίχνη Γαστεροπόδων και η σειρά κλείνει με λεπτοκλαστικούς πλακώδεις, τεφρού χρώματος, ασβεστόλιθους, με φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών και αργιλικών σχιστόλιθων. Κύριες εμφανίσεις απαντούν στο Βέρμιο και στην περιοχή της Κοζάνης.

- Κενομάνιο-Τουρώνιο

Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι βασικής σειράς επικλύσεως: πολυγενετικά κροκαλοπαγή με βιολετί ή ερυθρωπό συνδετικό υλικό, που συνίστανται από οφιολιθικές και ασβεστολιθικές κροκάλες, συνήθως μεγάλου μεγέθους. Αναπτύσσονται στο Βέρμιο με το πάχος τους όμως να μειώνεται τόσο ανατολικά όσο και δυτικά. Οι ασβεστόλιθοι διακρίνονται σε κλαστικούς,

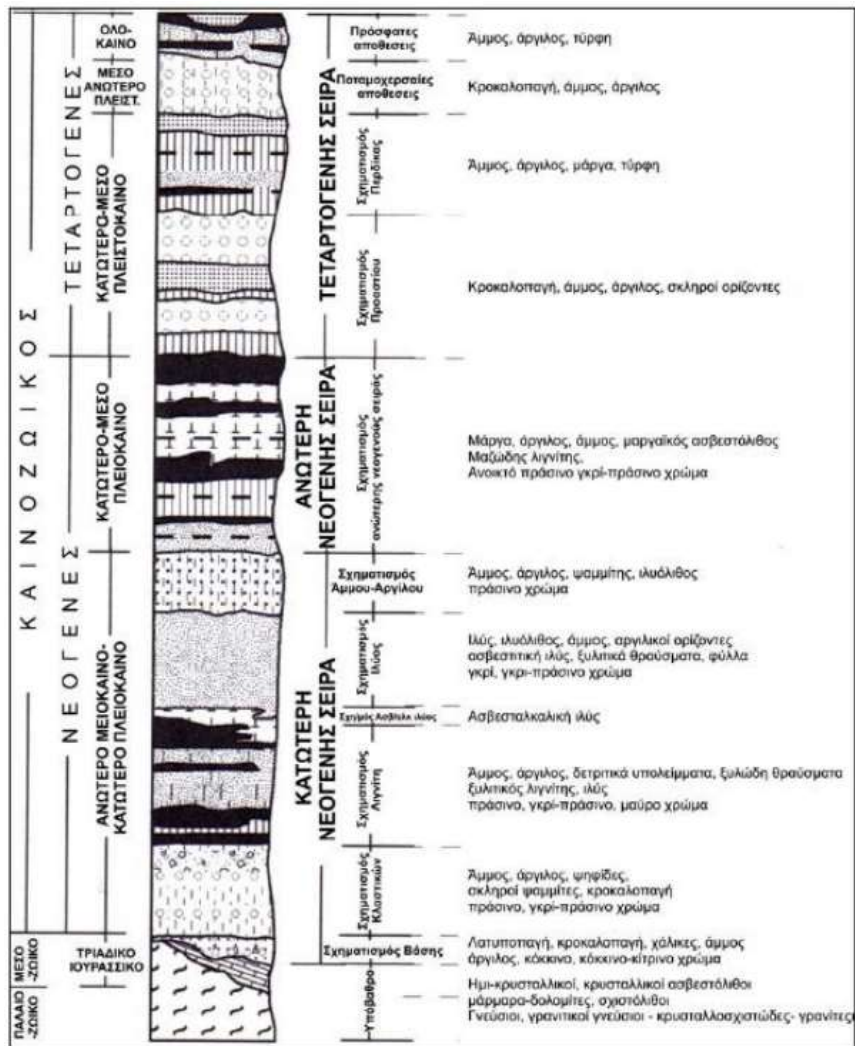
λεπτοπλακώδεις με χρώμα τεφροπράσινο, σε κονδυλώδεις σκουρόχρωμους με ίχνη γαστεροπόδων και σε μαργαϊκούς κιτρινόχρωμους. Τόσο τα κροκαλοπαγή όσο και οι ασβεστόλιθοι είναι κατά θέσεις ανακρυσταλλωμένοι.

### Ιουρασικό

- Σύστημα σχιστοκερατολίθων και οφιολίθων: αποτελείται από σχιστόλιθους πολύ λίγο μεταμορφωμένους, ιλυόλιθους και μικροκοκαλοπαγή, σε στενή σύνδεση με τους σερπεντινίτες. Στο σύστημα απαντούν ενστρώσεις όξινων σχιστωδών πετρωμάτων με μεταμορφικά ορυκτά, μεταξύ των σερπεντινιτών, καθώς και ημιμεταμορφωμένοι σχιστόλιθοι, επάλληλα εναλλασσόμενες τράπεζες σχιστολίθων και μαρμάρων και κερατολιθικοί όγκοι με διάφορες αποχρώσεις μέσα στους σχιστόλιθους. Οι οφιολίθοι συνίστανται από μερικούς όγκους περιδοτιτών, ενώ οι λοιπές εμφανίσεις συνίστανται από σερπεντινίτες.
- Το σύστημα συναντάται, τόσο στην περιοχή της Κοζάνης (Δρέπανο, Μαυροβούνι), όσο και στο Βέρμιο, όπου παρατηρείται κατά τρόπο συνεχή από τον Άγιο Δημήτριο, μέχρι τον αυχένα Φλάμπουρο. Η εμφάνιση των υπερβασικών στην περιοχή του Αγ.Δημητρίου μέχρι την Εξοχή, χαρακτηρίζεται από έντονο βαθμό σερπεντινίωσης.
- Το πάχος του συστήματος σχιστοκερατολίθων–οφιολίθων ποικίλει από θέση σε θέση, τόσο λόγω του τρόπου γένεσης του, όσο και του γεγονότος ότι μετά το πέρας του σχηματισμού του μέσα σε θαλάσσιο περιβάλλον, ανυψώθηκε, αποτέλεσε επιφάνεια ξηράς και υπέστη τις αποσαθρωτικές και διαβρωτικές διεργασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για τους λόγους αυτούς, το σύστημα δεν είναι συνεχόμενος στρωματογραφικός ορίζοντας. Κατά περιοχές μπορεί να λείπουν και τα κροκαλοπαγή βάσης, της Κενομάνιας επίκλυσης, στην περίπτωση αυτή επικάθονται απ' ευθείας πάνω στους Ιουρασικούς ασβεστολίθους.

### Τριαδικό - Κατώτερο Ιουρασικό

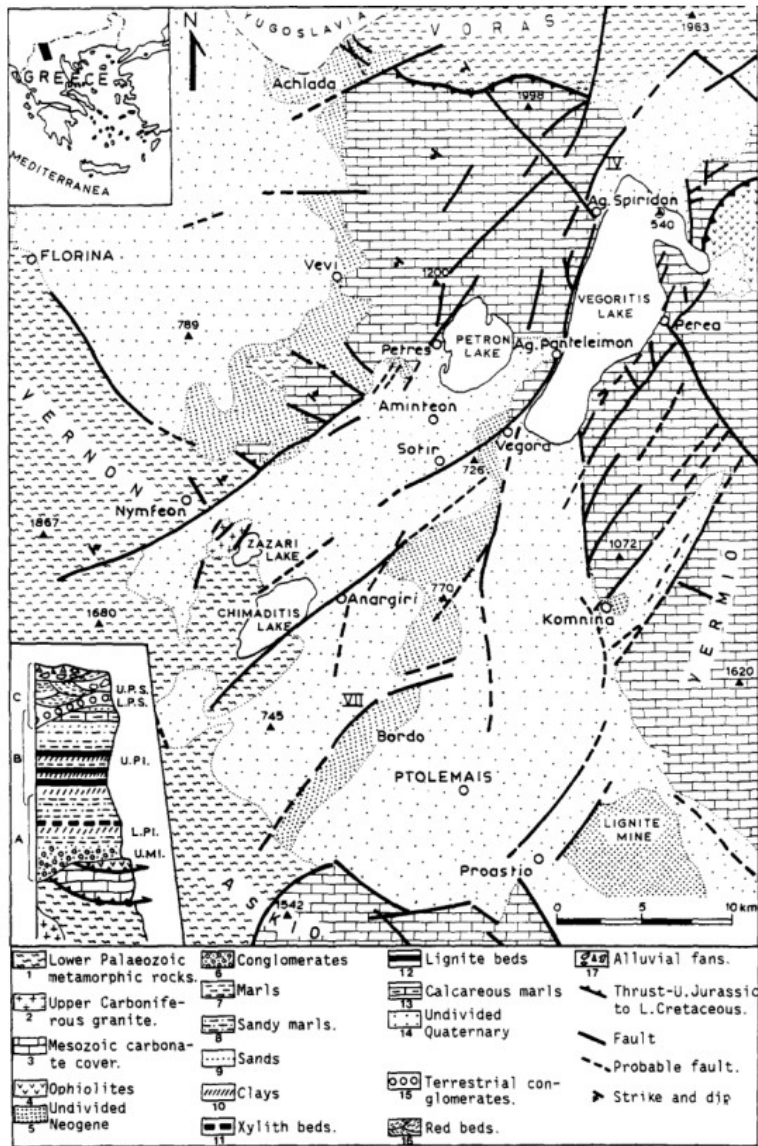
- Ασβεστόλιθοι: σκοτεινοκύανοι ή τεφροί με καλή στρώση και ποικίλο, κατά τράπεζες βαθμό ανακρυσταλλώσεως. Περιλαμβάνουν πολυάριθμους οριζοντες λατυποποιημένων ασβεστόλιθων ερυθρωπού χρώματος, όπως επίσης και οριζοντες συμπαγών μαύρων δολομιτικών ασβεστόλιθων. Στους ανώτερους οριζοντες, αναπτύσσονται πολύ ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με στρώση συχνά λιγότερο σαφή και γενικά πιο ανοικτόχρωμοι. Οριζοντες αδρόκοκκων και λατυποποιημένων ασβεστόλιθων, με ερυθρωπή συνδετική ύλη ξαναβρίσκονται και μέσα σε αυτή την ανώτερη σειρά. Νότια της Πτελέας παρατηρούνται μέσα στους ρωγματωμένους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, σιδηρούχες εμφανίσεις. Αναπτύσσονται στο κεντρικό και νοτιοανατολικό Βέρμιο και στο όρος Σκοπό. Πιο συγκεκριμένα στο Βέρμιο, η σειρά είναι μονότονη και η στρώση των ασβεστολίθων είναι άλλοτε σαφής (χαράδρα Μάνδρες) και άλλοτε έχει εντελώς εξαφανιστεί, εξ' αιτίας του τεκτονισμού (Τετράλοφος). Το πάχος του σχηματισμού είναι 1000 m.
- Ασβεστόλιθοι: τεφροί, κρυσταλλικοί, με καλή στρώση και παρεμβολές δολομιτών και δολομιτικών ασβεστόλιθων. Ο βαθμός ανακρυσταλλώσεως ποικίλει από θέση σε θέση. Στα ανώτερα μέλη τους παρεμβάλλεται μία σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση μικρού πάχους με εγκλωβισμένα σώματα οφιολίθων, η οποία μεταβαίνει πάλι σε ασβεστόλιθους επίσης τεφρού έως μελανότεφρου χρώματος. Ο σχηματισμός αναπτύσσεται στην περιοχή του Ασκίου όρους και Γαλατινής.



Εικόνα 3 Γενικευμένη στρωματογραφική στήλη των λιγνιτοφόρων λεκανών Φλώρινας, Πολεμαΐδας-Αμυνταίου, Κοζάνης και Σαρανταπόρου (Metaxas et al., 2007).

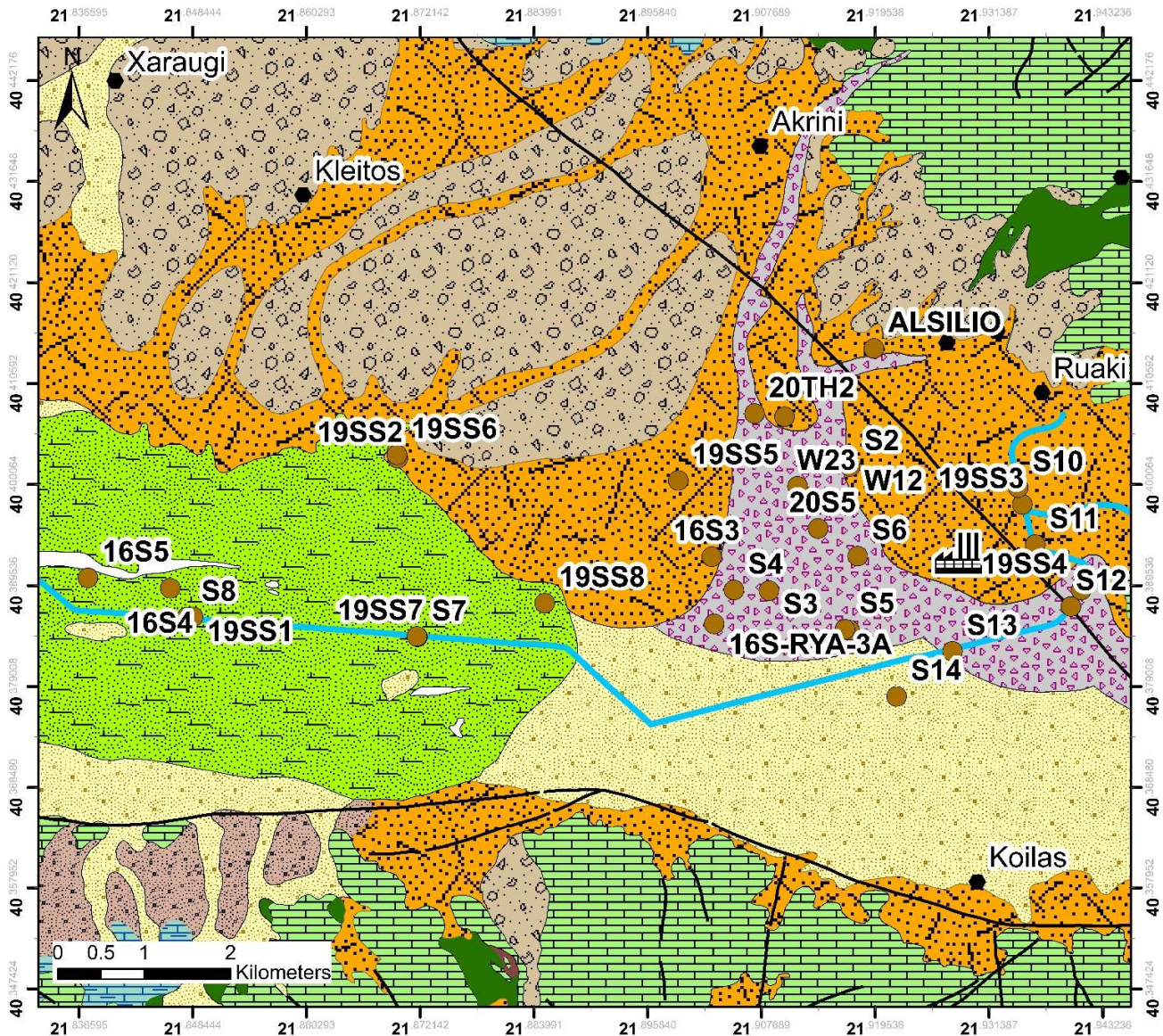
### 1.4 Τεκτονική

Από την τεκτονική μελέτη και στατιστική ανάλυση των ρηγμάτων της ευρείας τάφρου Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Παυλίδης, 1985), διαπιστώθηκε ότι κυριαρχούν δύο οικογένειες ρηγμάτων. Η πρώτη έχει διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και η δεύτερη ΒΒΔ-ΝΝΑ. Οι δύο ομάδες ρηγμάτων, έχουν δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια δύο εφελκυστικών τεκτονικών φάσεων.



Εικόνα 4 Τεκτονικός χάρτης της περιοχής Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Pavlidis and Mountrakis, 1987).





### Legend

- |                        |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| ΑΗΣ                    | Fan cone                      |
| Εδαφικά δείγματα       | Breccia cone                  |
| Villages               | Red clay-Breccia              |
| Faults                 | Red clay with gravels         |
| Soulou stream          | Conglomerates                 |
|                        | Marls-Clay-Sand-Lignite       |
| <b>Lithology</b>       | Conglomerates-Breccia         |
| Alluvial deposits      | Flysch                        |
| Lake deposition        | Limestone                     |
| Debris cone            | Conglomerates Limestones      |
| Coarse grain sediments | Schists and cherts formations |
| Terrace                | Ophiolite formations          |

Εικόνα 5 Λιθολογικός χάρτης στη λεκάνη της Σαριγκιόλ (Vasileiou, 2021).

## 1.5 Χρήσεις γης

Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην περιοχή ξεκίνησε το 1959 (ΔΕΗ, 2010). Η παραγωγή λιγνίτη είναι περίπου  $40 \times 10^6$  tn/y. Περίπου 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα παράγεται στην περιοχή αυτή, σε δυο ΑΗΣ, έναν στον Άγιο Δημήτριο (1500 MW) στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης Σαριγκιόλ και έναν στην Καρδιά (1200 MW) στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης (Vasileiou et al., 2018; Vasileiou et al., 2019; Παπαζώτος 2020).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη λεκάνη προκύπτει από την καύση του λιγνίτη, στους δύο ΑΗΣ, παραπροϊόν της οποίας αποτελεί η τέφρα. Η ποσότητα της τέφρας που παράγεται στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου είναι περίπου  $3 \times 10^6$  tn/y, το 20% της οποίας χρησιμοποιείται στην τσιμεντοβιομηχανία και σε άλλες βιομηχανίες. Το υπόλοιπο 80% της συνολικής ποσότητας της τέφρας συναποτίθεται με τα στείρα υλικά των εκσκαφών στα ορυχεία (περίπου 3% τέφρα και >95% στείρα υλικά) (Vasileiou et al., 2019). Στη δεκαετία του '90, μια ποσότητα περίπου  $7 \times 10^6$  m<sup>3</sup> της παραγόμενης τέφρας αποτέθηκε και αποκαταστάθηκε στην περιοχή απόθεσης της Ακρινής κατά την περίοδο 1991-2012 (ΜΠΕ, 2009).

Η ιπτάμενη τέφρα που παράγεται στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, σε σχέση με τα κύρια στοιχεία, είναι τύπου C, έντονα αλκαλική με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεσίτη (Fytianos et al., 1998; Georgakopoulos et al., 2002; Kantiranis et al., 2004). Η σύσταση της παρουσιάζει μεταβολές ανάλογα με τα αρχικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη και την τεχνολογία καύσης.

Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης Σαριγκιόλ καλύπτεται από: μη αρδεύσιμες και αρόσιμες εκτάσεις, αρδεύσιμες εκτάσεις και αμπελώνες, φυσικούς βοσκότοπους, έκταση καλυμμένη από θάμνους, σκληροφυλλική βλάστηση, βιομηχανική ζώνη και μεταλλευτική δραστηριότητα – εκσκαφές (Corine, 2012; Vasileiou, 2018).

Οι πιο σημαντικές δραστηριότητες στη λεκάνη είναι (Vasileiou et al., 2019)

- λιγνιτική εξόρυξη (εκμετάλλευση λιγνίτη, εκσκαφές, μεταφορά και απόθεση)
- λειτουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (καύση λιγνίτη, μεταφορά ιπτάμενης τέφρας και συναπόθεση με άγονα υλικά εκσκαφής στους χώρους απόθεσης),
- αγροτικές (γεωργία, κτηνοτροφία) δραστηριότητες

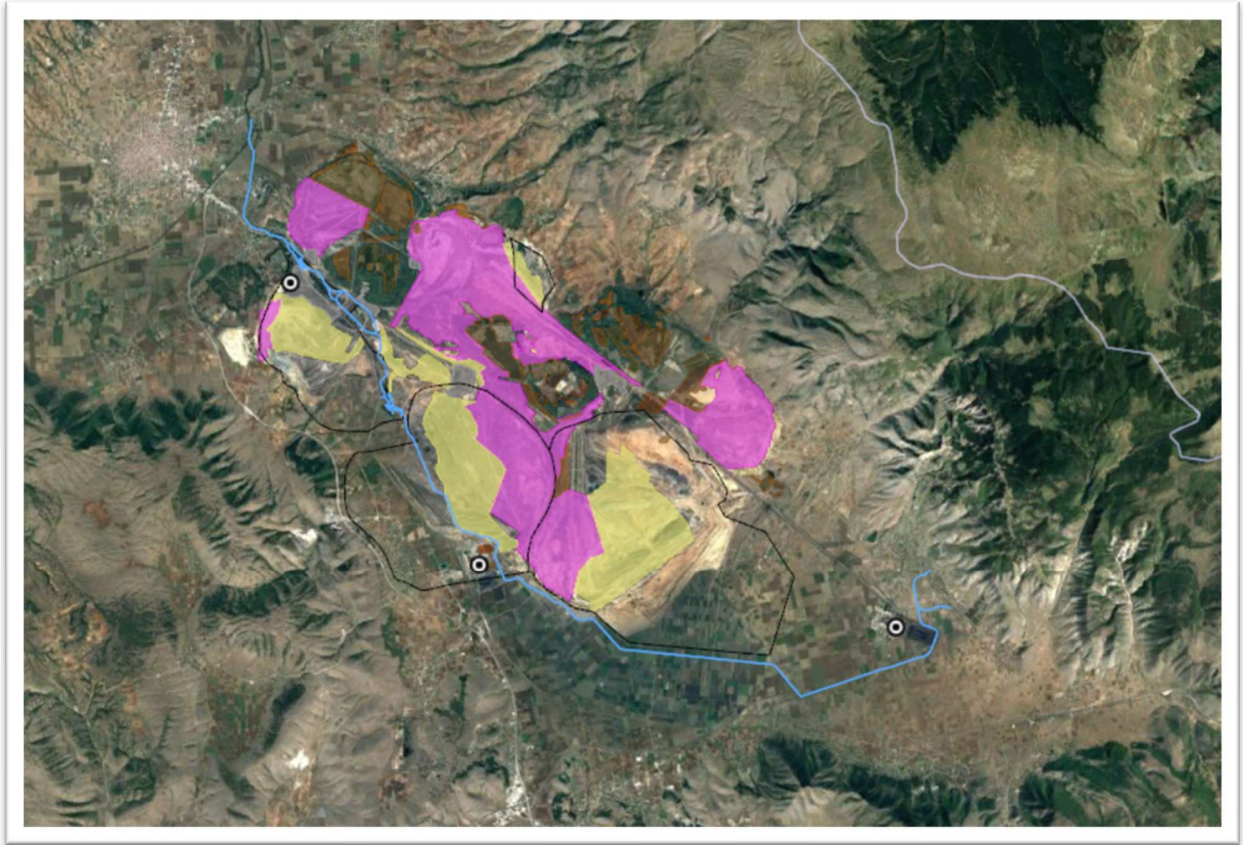
Οι κύριες αγροτικές δραστηριότητες έχουν καταγραφεί στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα της λεκάνης Σαριγκιόλ, σε πολύ κοντινή απόσταση από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου (Εικόνα 2), καθώς επίσης και στην περιφέρεια των ορυχείων (Aschonitis et al., 2012; Voudouris, 2009; Petrotou et al., 2012, Vasileiou et al., 2018; Vasileiou et al., 2019) καλύπτοντας μια έκταση 100 km<sup>2</sup>.

Η κατανομή των καλλιεργειών είναι η εξής (Aschonitis et al., 2012):

- 61,45% σκληρό σιτάρι
- 6,56% μαλακό σιτάρι
- 6,28% κριθάρι
- 9,89% ζαχαρότευτλα
- 8,96% αραβόσιτο
- 1,25% πατάτες
- 0,38% βρώμη
- 5,25% βοσκότοποι



Στην περιβάλλουσα έκταση των άλλων ΑΗΣ της λεκάνης (Καρδιάς και Πτολεμαΐδας) οι αγροτικές δραστηριότητες είναι εμφανώς λιγότερο έντονες συγκριτικά με την περιοχή γύρω από τον Άγιο Δημήτριο όπως φαίνεται από δορυφορικές φωτογραφίες (Vasileiou et al., 2018; Παπαζώτος 2020).



*Εικόνα 6 Δορυφορική φωτογραφία στην οποία απεικονίζονται οι χρήσεις γης στη λεκάνη Σαριγκιόλ στη Δυτική Μακεδονία (Παπαζώτος, 2020; Vasileiou et al., 2018; τροποποιημένο)*

## 2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 2.1 Υδρογεωλογικά δεδομένα

Τα υδρογεωλογικά στοιχεία για την περιοχή έρευνας προέρχονται από:

- από τη διδακτορική διατριβή του Γ. Λουλούδη (1991)
- το ερευνητικό πρόγραμμα «Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού σε περιοχές υπαίθριων λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Πιλοτική εφαρμογή στο ορυχείο του Νοτίου Πεδίου ΛΚΠ-Α και σύνδεση με την ευρύτερη περιοχή Κοζάνης Πτολεμαΐδας-ΕΛΙΜΕΙΑ» (1998)
- το ερευνητικό έργο «Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ»(2000)
- τη μελέτη του Ι. Μελαδιώτη, «Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Πτολεμαΐδας - Σαριγκιόλ για την υδροδότηση του δήμου Κοζάνης», (2001)
- τη μελέτη «Υδατικό καθεστώς λεκάνης Σαριγκιόλ Κοζάνης με έμφαση στο Νότιο λιγνιτοφόρο πεδίο» του Ι. Κουμαντάκη (2012)
- το ερευνητικό πρόγραμμα ΔΠΠ1511434\_ΕΜΠ623147: «Ορυκτολογική - ορυκτοχημική, πετρολογική και γεωχημική συσχέτιση της παρουσίας βαρέων μετάλλων, με έμφαση στο χρώμιο, στους γεωλογικούς σχηματισμούς (υπερβασικά πετρώματα, λιγνίτης, ενδιάμεσα στείρα) και στα προϊόντα καύσης του λιγνίτη (ιπτάμενη τέφρα), με την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών στα λιγνιτικά πεδία της λεκάνης Σαριγκιόλ» (2016)

### 2.2 Υδρολιθολογική ταξινόμηση

- Υδροστεγανοί έως ημιπερατοί σχηματισμοί: Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται από την κατηγορία των συνεκτικών πετρωμάτων, οι γνευσιοσχιστόλιθοι, τα πετρώματα των οφιολιθικών συμπλεγμάτων και ο φλύσχης. Οι περιδοτίτες και οι σερπεντινίτες, αναπτύσσονται τοπικά ως στρωματοειδείς ή φακοειδείς ενστρώσεις με αποτέλεσμα να λειτουργούν ως γεωλογικοί φραγμοί στην κίνηση του νερού, λόγω πολύ χαμηλής υδροπερατότητας, ενώ σε άλλες θέσεις χαρακτηρίζονται ως διαπερατοί λόγω ασυνεχειών, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μικρής υδροδυναμικότητας υδροφορία. Ο φλύσχης εμφανίζεται κατακερματισμένος, με συνέπεια να έχει δευτερογενές πορώδες λόγω τεκτονισμού. **Το αργιλομαργαϊκό λιγνιτοφόρο σύστημα, αποτελεί τον κυριότερο υδροστεγανό σχηματισμό.** Το σύστημα θεωρείται υδροστεγανό, γιατί οι συνεχείς μεταπτώσεις και η οριζόντια διάστρωση των στρωμάτων, δεν επιτρέπουν την υδραυλική επικοινωνία, μεταξύ των μικρών υδροφόρων στρωμάτων, που αναπτύσσονται στις ενστρώσεις του κροκαλοαμμώδους υλικού. Το αδιαπέρατο αυτό υπόβαθρο, υπερκείμενα του λιγνίτη, εμποδίζει τις διηθήσεις από τον υπερκείμενο υδροφόρο, προς το βαθύ καρστικό σύστημα.
- Ημιπερατοί έως υδροπερατοί σχηματισμοί: Θεωρούνται οι αργιλοϊλυώδεις αποθέσεις στον πυθμένα του παλιού έλους Σαριγκιόλ και οι καστανέρυθρες άργιλοι, παρουσία κροκαλοπαγών και ασύνδετων χαλικιών, που τροφοδοτούν τους υποκείμενους αμμώδεις σχηματισμούς.



Οι Τριαδικο-ιουρασικοί ασβεστόλιθοι εμφανίζουν διαφοροποιήσεις ως προς την υδροπερατότητά τους, λόγω της παλαιογεωγραφικής και τεκτονικής εξέλιξης τους. Αντίθετα, οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι εμφανίζουν ομοιογένεια, ως προς τις τιμές τους.

Στο Βέρμιο αναπτύσσονται δυο καρστικές ενότητες μέσα στους Τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους, ανεξάρτητες μεταξύ τους, η βόρεια και η νότια. Η νότια καρστική ενότητα εκφορτίζεται μέσω των πηγών Νεράιδας, στα χαμηλά τμήματα της λεκάνης Σερβίων-Κοζάνης, ενώ η βόρεια καρστική ενότητα εκφορτίζεται στις πηγές Νάουσας και Τριποτάμου. Γενικότερα, αναπτύσσονται σειρές από καρστικούς επικρεμάμενους υδροφόρους, που γειτνιάζουν με τους κύριους. Η υδροφορία αυτή είναι αποτέλεσμα της ενδιάστρωσης των οφιόλιθων, μέσα στα συνεκτικά ανθρακικά πετρώματα. Ο υδροφόρος του Μαυροδενδρίου ΝΔ της Σαριγκιόλ, είναι ο πιο αντιπροσωπευτικός αυτής της κατηγορίας.

Στην περιοχή εκδηλώνονται αρκετες πηγές επαφής, όπως οι πηγές Ερμακιάς στην επαφή φλύσχη με τους υπερκείμενους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Άλλες πηγές εμφανίζονται στις περιοχές εμφάνισης των οφιόλιθων με χαμηλές παροχές. Η πιο σημαντική είναι η επαφή της Σπηλίας και εκδηλώνεται στην επαφή σερπεντινιτών και των ανωκρητιδικών ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών. Άλλες πηγές στην επαφή των οφιόλιθων με τους ασβεστόλιθους είναι η πηγή Αγ. Γεωργίου και Αγ. Κωνσταντίνου, ενώ η Μαυροπηγή εκδηλώνεται στην επαφή σχιστόλιθων και Τριαδικο-Ιουρασικών ασβεστόλιθων.

Όσον αφορά στα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων και τις υδροπερατότητες των σχηματισμών, στο πλαίσιο της μελέτης «Υδρογεωλογική μελέτη για τη συναπόθεση αγόνων τέφρας στο ορυχείο Μαυροπηγής/Εκτέλεση 9 Γεωτρήσεων, Δοκιμών Διαπερατότητας και χημικών αναλύσεων εδάφους και νερού στην περιοχή Μαυροπηγής στην Πτολεμαΐδα» (INTERGEO, 2009), εκτέλεστηκαν δοκιμές διαπερατότητας σε διάφορα σημεία της λεκάνης Σαριγκιόλ. Ο προσδιορισμός της διαπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών πραγματοποιήθηκε με την εκτέλεση in situ δοκιμών διαπερατότητας με τις μεθόδους KOLLBRUNNER-MAAG και LEFRANC. Σύμφωνα με τα πρότυπα της Γερμανικής Βιομηχανίας (DIN 18 130 E1979) οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται με βάση την τιμή της υδραυλικής διαπερατότητάς τους ως εξής:

Πίνακας 1 Ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών σύμφωνα με το συντελεστή διαπερατότητας (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016):

Πολύ υδροπερατό	$> 10^{-4}$ m/s
Υδροπερατό	$10^{-4} - 10^{-6}$ m/s
Λίγο υδροπερατό	$10^{-6} - 10^{-8}$ m/s
Πολύ λίγο υδροπερατό	$< 10^{-8}$ m/s

Στις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στις αποθέσεις του Ορυχείου Ν. Πεδίου προσδιορίστηκαν τιμές της τάξης του  $10^{-7}$  m/s -  $10^{-9}$  m/s. Σύμφωνα με την παραπάνω ταξινόμηση η υδραυλική αγωγιμότητα (υδροπερατότητα), που υπολογίστηκε από τις δοκιμές κατατάσσει τους γεωλογικούς σχηματισμούς και

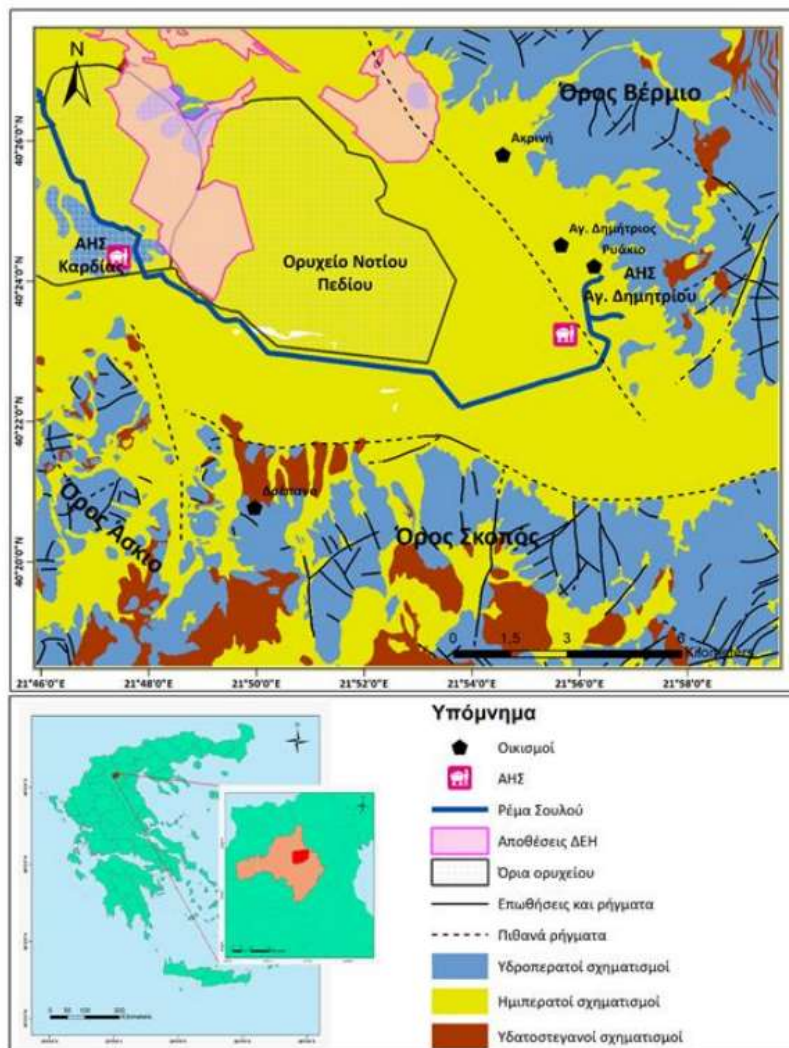
τις αποθέσεις που διατρήθηκαν, στην κατηγορία των **λίγο διαπερατών έως πολύ λίγο διαπερατών σχηματισμών**. Αντίστοιχη εικόνα καταγράφηκε και στις αποθέσεις του ορυχείου της Μαυροπηγής με την υδραυλική αγωγιμότητα να κυμαίνεται από  $10^{-6}$  m/s έως  $10^{-8}$  m/s (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ , 2016; Vasileiou et.al, 2018).

Αντίστοιχα σε γεώτρηση γειτνιαζουσα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, η μέση τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας (K), για το σύνολο των στρωμάτων της γεώτρησης προσδιορίστηκε στα  $10^{-6}$  m/s (Λουλούδης 1991).

Σύμφωνα με το σύνολο των αντλητικών δοκιμών και δοκιμών περατότητας η μέση τιμή του ενεργού πορώδους σε όλη τη λεκάνη εκτιμήθηκε  $n_e=6-10\%$ , ενώ του συντελεστή διαπερατότητας  $K=10^{-7}$  m/s, ειδικότερα στα πρώτα 5-10 m της ακόρεστης ζώνης, γεγονός που δυσχεραίνει την κίνηση του νερού προς τα μεγαλύτερα βάθη. Αυτό οφείλεται κυρίως στην έντονη παρουσία των αργιλικών σειρών, στα υπερκείμενα στρώματα του λιγνίτη, στη λεκάνη Σαριγκιόλ και επιβεβαιώνεται και από την παρουσία μικρότερων επάλληλων υδροφόρων στρωμάτων, των οποίων η υδραυλική επικοινωνία διακόπτεται μεταξύ τους, λόγω των παρεμβολών των αργιλικών σειρών.

### Συνοπτικά:

- Στους υδροπερατούς σχηματισμούς ανήκουν οι ανθρακικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης.
- Στους ημπερατούς σχηματισμούς ανήκουν οι αργιλοϊλύδεις αποθέσεις στον πυθμένα του παλιού έλους Σαριγκιόλ και οι καστανέρυθρες άργιλοι, παρουσία κροκαλοπαγών και ασύνδετων χαλικιών, που τροφοδοτούν τους υποκείμενους αμμώδεις σχηματισμούς. Επιπλέον, στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα διερρηγμένα ή εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα.
- Στους υδατοστεγανούς σχηματισμούς ανήκουν τα συνεκτικά πετρώματα, οι γνευσιοσχιστόλιθοι και ο φλύσχος.



Εικόνα 7 Υδρολιθολογικός χάρτης της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας (Παπαζώτος, 2020)

### 2.3 Υδροφόρα συστήματα

Οι γεωλογικές (τεκτονικές και λιθοστρωματογραφικές) συνθήκες και το γεωμορφολογικό καθεστώς της λεκάνης Σαριγκιόλ, έχουν ευνοήσει τη δημιουργία διαφόρων υπόγειων υδροφόρων συστημάτων. Σύμφωνα με την υδρογεωλογική έρευνα που διεξήχθη στα πλαίσια του ερευνητικού έργου “ΕΛΙΜΕΙΑ” (1998), στην ευρύτερη περιοχή αναπτύσσονται τα εξής κύρια υδροφόρα συστήματα: (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016)

- Ένα υπόγειο υδροφόρο σύστημα, που χωρίζεται σε μικρότερα επάλληλα υδροφόρα στρώματα, λόγω της παρεμβολής των αργιλικών υλικών, αναπτύσσεται εντός των Νεογενών και Τεταρτογενών στρωμάτων. Το ενιαίο αυτό υδροφόρο σύστημα, υπέρκειται της λιγνιτοφόρου στοιβάδας της πεδινής ζώνης (εναλλαγές λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών), το οποίο βρίσκεται σε υπόγεια πλευρική υδραυλική επικοινωνία με τις υπόγειες υδροφορίες, που αναπτύσσονται στα πλευρικά κορήματα των παρυφών της και καλύπτει σε έκταση σχεδόν όλη τη λεκάνη Σαριγκιόλ. Ο υδροφόρος αυτός επηρεάζει το λιγνιτωρυχείο, με αποτέλεσμα να έχουν διανοιχθεί στην περιβάλλουσα ζώνη, πολλές αποστραγγιστικές γεωτρήσεις για την προστασία του ορυχείου. Οι ποσότητες άντλησης του υδροφόρου, χρησιμοποιούνται για την κάλυψη αρδευτικών, βιομηχανικών και υδρευτικών αναγκών της περιοχής.
- Ένα υδροφόρο σύστημα, που αναπτύσσεται στα Νεογενή κοκκώδη ιζήματα που υπόκεινται των λιγνιτών. Στην περιοχή του Κομάνου έχουν ορυχθεί από τη ΔΕΗ δύο γεωτρήσεις, για την ύδρευση της κοινότητας, που επιβεβαιώνουν την ύπαρξη της υδροφορίας αυτής. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες με χρήση φυσικών ισοτόπων, ο υδροφόρος αυτός εμπλουτίζεται υπογείως πλευρικά από νερά, που προέρχονται από βαθιά καρστικά υδροφόρα συστήματα (Μελαδιώτης, 2001). Η ύπαρξη αυτού του υδροφορέα νότια του εξάρματος του Κομάνου, στο χαμηλό τμήμα της λεκάνης Σαριγκιόλ, δεν έχει επιβεβαιωθεί, γιατί δεν υπάρχουν βαθιές γεωτρήσεις, που να έχουν διαπεράσει το υδροστεγανό αργιλικό-μαργαϊκό υπόβαθρο της λιγνιτοφόρου σειράς, η οποία βυθίζεται προς τα νότια (Η ύπαρξη του υδροφορέα υποκείμενων, επιβεβαιώθηκε και με γεωτρήσεις στο χώρο του ορυχείου Μαυροπηγής, RWE Power International, 2004).
- Το βαθύ καρστικό υδροφόρο σύστημα των Τριαδικο-ιουρασικών ασβεστόλιθων, στα ανατολικά και δυτικά όρια της λεκάνης. Ο καρστικός υδροφορέας που αναπτύσσεται στους Τριαδικούς ασβεστόλιθους του Νότιου Βερμίου, του Σκοπού και του Νοτίου Ασκίου, εκφορτίζεται προς τις πηγές της Νεράιδας, σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 250 m, στον Αλιάκμονα και σε άλλα σημεία. Η καρστική υδροφορία αναπτύσσεται σε ένα μέσο απόλυτο υψόμετρο των 300m (ανάλογα με την απόσταση από τη ζώνη εκφόρτισης) και δεν έχει υδραυλική επικοινωνία με το υδροφόρο σύστημα, που αναπτύσσεται στα υπερκείμενα ιζήματα της λιγνιτοφόρου στοιβάδας, η πιεζομετρία του οποίου κυμαίνεται στα απόλυτα υψόμετρα μεταξύ 730m και 585m.
- Στα νοτιοδυτικά περιθώρια της λεκάνης Σαριγκιόλ στην ευρύτερη περιοχή Ποντοκώμης - Μαυροδενδρίου - Δρεπάνου - Κοίλων, αναπτύσσονται επικρεμάμενοι καρστικοί υδροφόροι, περιορισμένης έκτασης και δυναμικού, μέσα στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους, η εξάπλωση των οποίων είναι μη συνεχής και περιορισμένη. Από τους υδροφόρους αυτούς, της περιοχής Μαυροδενδρίου - Ποντοκώμης, δεν αναμένεται να υπάρχει πλευρική τροφοδοσία προς τη λεκάνη Σαριγκιόλ. Μερικές από τις υπάρχουσες παλαιότερες γεωτρήσεις σ' αυτούς τους υδροφόρους της περιοχής Μαυροδενδρίου είναι σήμερα χωρίς νερό, λόγω εξάντλησης κάποιων επικρεμάμενων υδροφορέων που είχαν περιορισμένη τροφοδοσία (ΙΓΜΕ, Γ' ΚΠΣ, 2010).

## 2.4 Πιεζομετρία λεκάνης Σαριγκιόλ

Σύμφωνα με τα ερευνητικά προγράμματα, «ΕΛΙΜΕΙΑ» (1998) και «Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών Πόρων Λεκάνης Σαριγκιόλ», και τη Διδακτορική Διατριβή του Γ. Λουλούδη (1991), το Ερευνητικό έργο του ΕΜΠ (2016) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα, σχετικά με την πιεζομετρία της περιοχής και ειδικότερα για το υδροφόρο σύστημα, που αναπτύσσεται στα υπερκείμενα ιζήματα της λιγνιτοφόρου στοιβάδας στο Νότιο Πεδίο, στη λεκάνη Σαριγκιόλ:

- **Η γενική κατεύθυνση ροής των υπόγειων νερών είναι από τα ΒΑ προς τα ΝΔ.** Τοπικά στην περιοχή Μαυροδενδρίου - Ποντοκώμης υπάρχει ροή από τα δυτικά, προς τα ανατολικά και σε περιορισμένη έκταση στην περιοχή Δρεπάνου, από Νότο προς Βορρά.
- Στην περιοχή βορειοδυτικά της Κοιλιάδας, εμφανίζεται μια ύφεση των πιεζομετρικών καμπυλών, με γενική κατεύθυνση ροής προς τα νοτιοανατολικά, κατεύθυνση προς την οποία λαμβάνει χώρα εκτόνωση της υπόγειας υδροφορίας.
- Σύμφωνα με τη μορφή των πιεζομετρικών καμπυλών, για το υπερκείμενο υδροφόρο σύστημα στο νότιο ανατολικό όριο της λεκάνης Σαριγκιόλ, η κύρια περιοχή τροφοδοσίας, είναι η ζώνη των κροκαλοπαγών και αμμοχάλικων των κώνων κορημάτων, κατά μήκος των νοτιοδυτικών παρυφών του Βερμίου. Η τροφοδοσία αυτής της ζώνης κροκαλοπαγών προέρχεται από την άμεση κατείδυση, από την διήθηση των απορροών των χειμάρρων, από τους επικρεμάμενους καρστικούς υδροφόρους, οι οποίοι βρίσκονται σε επαφή με τις ενδιάμεσες ενστρώσεις των υπερβασικών πετρωμάτων και από μικρή τροφοδοσία από τους τριαδικοϊουρασικούς ασβεστόλιθους.
- Ζώνη τροφοδοσίας υπάρχει στα δυτικά στη ζώνη Ποντοκώμης - Μαυροδενδρίου. Η διάταξη των πιεζομετρικών καμπυλών σ' αυτήν είναι παράλληλη προς τον ορεινό όγκο του Ασκίου, με αυξανόμενα υδραυλικά φορτία προς τις παρυφές του, γεγονός που υποδηλώνει κίνηση του υπόγειου νερού από τα πλευρικά κορήματα των περιθωρίων αυτών της λεκάνης προς το κεντρικό τμήμα, δηλαδή την περιοχή του λιγνιτωρυχείου και των υδροληπτικών έργων της Κοζάνης. Σύμφωνα με τον Κουμαντάκη (2012), θεωρείται ότι δεν υπάρχει πλευρική τροφοδοσία υπογείως από τον καρστικό υδροφόρο των τριαδικών ασβεστόλιθων του Ασκίου, ο οποίος στην περιοχή αυτή βρίσκεται σε μεγάλο βάθος που αντιστοιχεί σε απόλυτο υψόμετρο μεταξύ +300m - +350 m, ενώ τα υδροφόρα στρώματα των νεογενών, έχουν στάθμη που κυμαίνεται από +600m - +750 m.
- Στην εγγύς περιοχή του λιγνιτωρυχείου Νοτίου Πεδίου παρατηρείται σύγκλιση των πιεζομετρικών καμπυλών. **Οι κατευθύνσεις ροής διαμορφώνονται ακτινωτά προς το ορυχείο,** λόγω των αντλήσεων προστασίας από τις περιμετρικές γεωτρήσεις και της φυσικής υπόγειας ροής του νερού προς την ανοικτή εκσκαφή. Στο ΒΑ τμήμα του ανατολικού ορίου του ορυχείου, οι πιεζομετρικές καμπύλες διαμορφώνονται σχεδόν κάθετα σ' αυτό και οι εισροές από την πλευρά της Χαραυγής είναι πολύ μικρές.
- Οι πιεζομετρικές γραμμές διαμορφώνονται σε γενικές γραμμές παράλληλα προς τα βορειοανατολικά και τα δυτικά όρια του πεδινού τμήματος της λεκάνης. Το πιεζομετρικό φορτίο εμφανίζει υψηλότερες τιμές (650m - 750m) προς τα ΒΑ, στις περιοχές δηλαδή Χαραυγής, Κλείτου, Ακρινής, Αγ. Δημητρίου, καθώς και δυτικά στις περιοχές Μαυροδενδρίου-Ποντοκώμης. Υψηλό πιεζομετρικό φορτίο εμφανίζεται επίσης τοπικά στην περιοχή βόρεια του Δρεπάνου (630m - 660 m). Οι χαμηλότερες τιμές πιεζομετρίας (590m - 600 m) εμφανίζονται στα ΝΔ στην περιοχή των γεωτρήσεων ύδρευσης Κοζάνης και στα ΝΑ στην περιοχή βόρεια της Κοιλιάδας. Στην

περιοχή βορειοδυτικά της Κοιλιάδας εμφανίζεται μια ύφεση των πιεζομετρικών καμπυλών, με γενική κατεύθυνση ροής προς τα νοτιοανατολικά, κατεύθυνση προς την οποία λαμβάνει χώρα εκτόνωση της υπόγειας υδροφορίας. Η διαμόρφωση των πιεζομετρικών καμπυλών βόρεια της περιοχής αυτής πιθανόν επηρεάζεται από «τεχνητό» εμπλουτισμό που πραγματοποιείται συνεχώς μέσα από την κοίτη της τάφρου, που απάγει τα απόνερα του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου προς το ρέμα Σουλού, καθώς και από τη μικρή υδαταγωγικότητα των υδροφόρων στρωμάτων της.

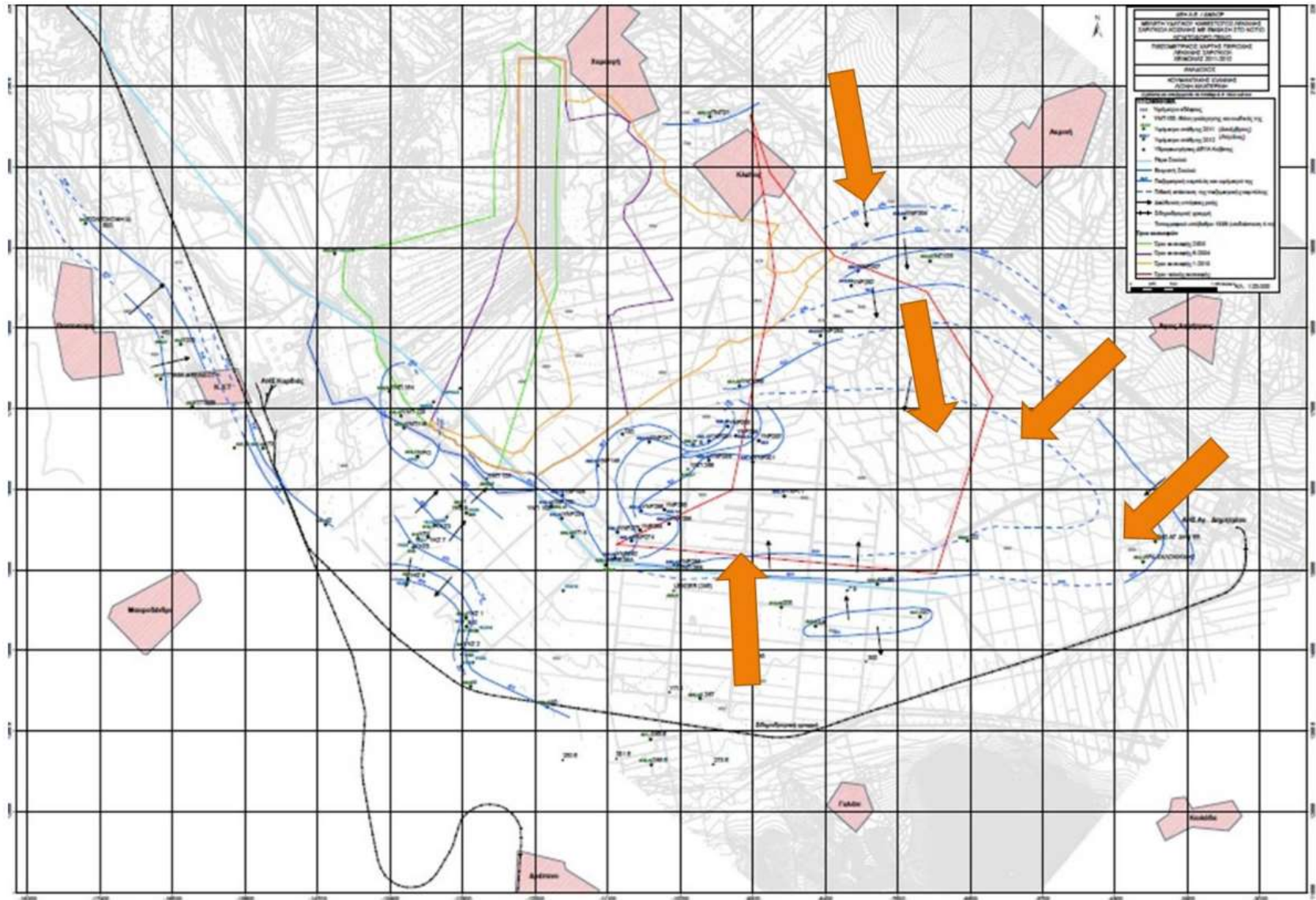
Σε όλες τις περιόδους μετρήσεων ( το 1999, το 2000, το 2003, το 2016, το 2018), η πιεζομετρία της περιοχής έρευνας παρουσιάζει ανάλογη εικόνα. Ειδικότερα στην περιοχή ενδιαφέροντος του Αγ. Δημητρίου και Ακρινής, που έχουν εντοπιστεί υψηλότερες συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου, είναι σαφές ότι η τροφοδοσία του υδροφόρου συστήματος προέρχεται από πλευρική τροφοδοσία από τον ορεινό όγκο του Βερμίου. Πιο συγκεκριμένα: ( Ερευνητικό έργο ΕΜΠ , 2016)

- i. από τη διήθηση των απορροών των χειμάρρων, που διασχίζουν τα υπερβασικά πετρώματα των οφιολιθικών συμπλεγμάτων,
- ii. από την κατείσδυση των επιφανειακών νερών στον αποσαθρωμένο μανδύα των υπερβασικών πετρωμάτων,
- iii. από τους επικρεμάμενους υδροφόρους των ανθρακικών σχηματισμών, στους οποίους εμφανίζονται διάσπαρτες ενστρώσεις υπερβασικών πετρωμάτων.

**Όπως προκύπτει, τα υπόγεια νερά της περιοχής έχουν άμεση επίδραση από τα υπερβασικά πετρώματα.**

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι σχετικοί ο σχετικός πιεζομετρικός χάρτης της Λεκάνης Σαριγκιόλ, όπως έχει αποτυπωθεί από τις προαναφερθείσες μελέτες και ερευνητικά έργα.





Εικόνα 8 Πιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Σαριγκιολ (Κουμαντάκης, 2012).

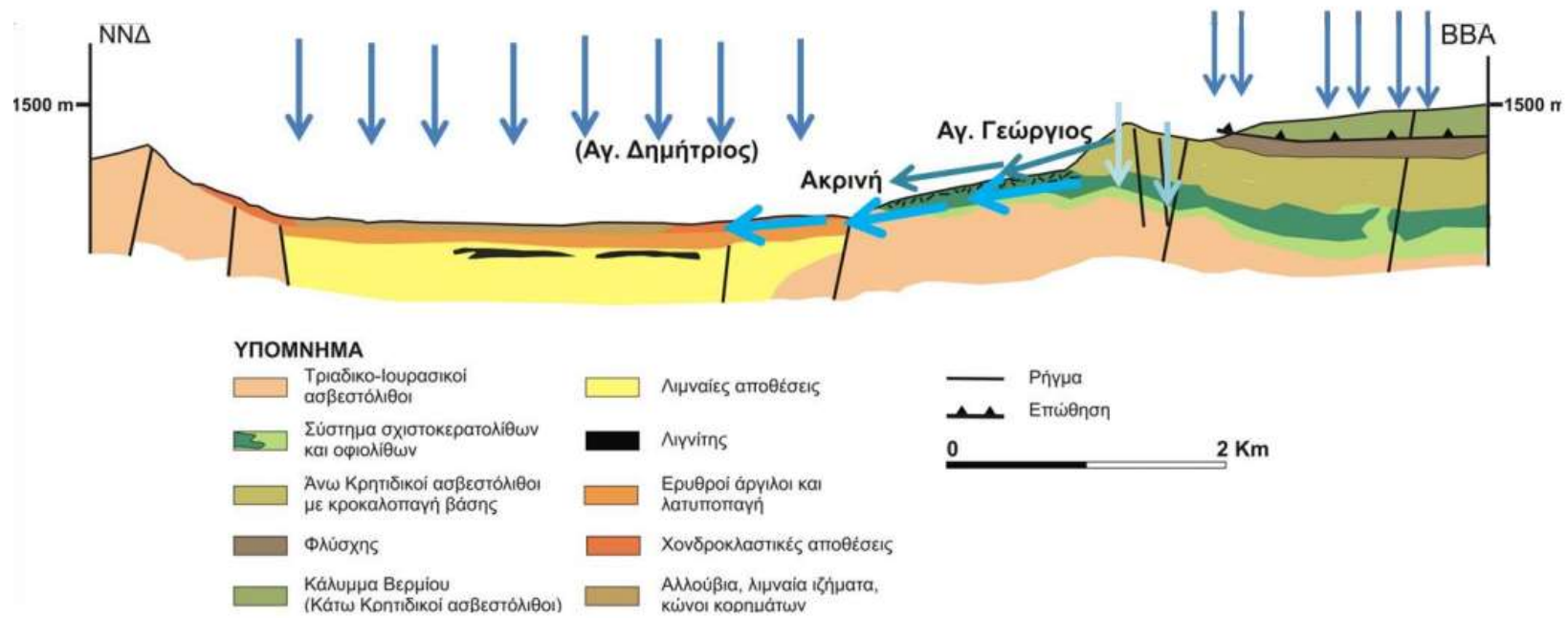
## 2.5 Σταθμημετρήσεις

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος : «Ορυκτολογική - ορυκτοχημική, πετρολογική και γεωχημική συσχέτιση της παρουσίας βαρέων μετάλλων, με έμφαση στο χρώμιο, στους γεωλογικούς σχηματισμούς (υπερβασικά πετρώματα, λιγνίτης, ενδιάμεσα στείρα) και στα προϊόντα καύσης του λιγνίτη (ιπτάμενη τέφρα), με την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών στα λιγνιτικά πεδία της λεκάνης Σαριγκιόλ» (2016) και στο ΔΠΠ1511681\_ΕΜΠ623579: «Γεωχημική Έρευνα στην περιοχή του ΑΗΣ Αγ.Δημητρίου, Νομού Κοζάνης» πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικά νέες σταθμημετρήσεις, με σκοπό τον καθορισμό του καθεστώτος τροφοδοσίας των υπογείων νερών στη λεκάνη και προσδιορίστηκαν οι μεταβολές στην πιεζομετρία της. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης την περίοδο 2015-2018, σε 36 σημεία υδροληψίας. Η κίνηση του νερού έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης, όπου διαφαίνεται η τροφοδοσία από τη ζώνη των κροκαλοπαγών και των κώνων κορημάτων.

Τα υπερβασικά πετρώματα είναι έντονα αποσαθρωμένα και τεκτονισμένα, μεταξύ των περιοχών Αγ. Δημητρίου και Εξοχής, βορειοανατολικά της Ακρινής, όπου υπάρχει εκτεταμένη επιφανειακή εμφάνισή τους. Η κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, στους ημιπερατούς σχηματισμούς των υπερβασικών, δημιουργεί μικρή υπόγεια υδροφορία, αλλά και διηθήσεις λόγω δευτερογενούς πορώδους από τους χειμάρρους, που επικοινωνούν υδραυλικά με τα πλευρικά κορήματα στις παρυφές του Βερμίου. Αυτά με τη σειρά τους τροφοδοτούν το υπερκείμενο υδροφόρο σύστημα του Νοτίου πεδίου και των γύρων περιοχών (Ακρινής-Ρυακίου Αγ. Δημητρίου), που αναπτύσσεται στα Τριτογενή και Τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης. Η εκτίμηση που έγινε στα πλαίσια του ΕΛΙΜΕΙΑ, υπολογίζει την τροφοδοσία αυτή στα  $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , ετησίως. Τα ιζήματα αυτά βρίσκονται σε επαφή με οφιολιθικά πετρώματα που τα τροφοδότησαν με υλικό από την αποσάθρωση και διάβρωση τους.

Στο νότιο τμήμα σημειώνεται εκτόνωση της υπόγειας υδροφορίας προς τον κάμπο του Νοτίου πεδίου, ενώ στα δυτικά έχουμε μια τροφοδοσία με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.





Εικόνα 9: Απλοποιημένη γεωλογική τομή στην οποία αποτυπώνεται το καθεστώς τροφοδοσίας του υπερκείμενου υδροφόρου συστήματος, στα νότια-ανατολικά περιθώρια της λεκάνης Σαριγκιόλ. (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016)

Πίνακας 2 Σημεία μέτρησης βάθους στάθμης υδρογεωτρήσεων (Ερευνητικά έργα ΕΜΠ, 2016-2018).

Κωδικός Γεώτρησης	X	Y	Z	Βάθος στάθμης (m)
454	310212,06	4476978,52	675,00	9,50
YI504E	313263,93	4474500,45	656,62	12,35
YΝΠ105	313309,03	4474808,50	656,81	12,10
YΝΠ164	313654,21	4474811,55	655,06	12,30
YΝΠ-116	313828,78	4474356,40	656,30	16,80
YΝΠ-118	314385,03	4474012,49	654,74	47,90
YΝΠ-125	314790,49	4473680,05	655,55	48,10
I-1	318526,50	4473400,07	651,47	41,80
YΚΖ-3	314180,00	4473149,00	653,70	38,50
YI510E	314171,00	4473000,00	653,70	38,00
YΠ-1	313969,15	447298,75	653,40	38,50
YΚΖ-8	313834,59	4472480,20	656,00	55,00
YΝΠ-153	315632,06	4473346,58	653,49	37,00
YΝΠ-234	315757,96	4473189,38	651,37	33,80
YΝΠ-231	316137,10	4473363,93	651,11	65,45
YΝΠ216	316434,04	4478596,08	725,37	34,70
ΠΝΠ-21	317708,97	4478129,03	715,28	21,00
YΝΠ262	316406,98	4472683,44	651,08	62,30
YΝΠ-274	316618,23	4472889,80	650,79	37,65
YΝΠ285	317034,45	4473268,26	650,94	23,30
YΝΠ-298	317086,64	4473093,01	650,52	47,50
YΝΠ-266	317347,34	4473760,31	652,07	33,30
YΝΠ-268	317188,72	4472568,13	650,82	31,70
YΝΠ-233	317401,62	4474193,99	653,18	57,90
YΝΠ-295	317844,94	4474284,52	654,96	61,00
YΝΠ-303	317717,95	4473498,21	651,26	47,90
YΝΠ-293	317973,97	4472466,53	651,10	8,70
YΝΠ-301	318143,14	4473831,09	652,83	25,20
YI162E	318264,28	4474456,41	655,50	46,60
YΝΠ-269	318004,00	4474779,00	658,68	61,40
YΚΛ 3/03	318809,15	4475042,96	660,23	24,80
Δ-6	318874,86	4471777,48	652,00	4,50
N1-85	319656,63	4472279,63	653,30	19,30
YΝΠ-307	319500,32	4476173,05	699,40	44,10
YΝΠ-155	320401,87	4476276,56	719,80	64,40
ΑΡΔ-ΣΑΛΟΝΙΚΙΔΗΣ	322962,21	4472483,60	662,50	27,50

## 2.6 Υδροδυναμικές συνθήκες υδροφόρων συστημάτων

- **Για το κοκκώδες υποσύστημα Σαριγκιόλ ή νότιου πεδίου Κοζάνης.** (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ , 2016)  
Σύμφωνα με τη μελέτη του ΙΓΜΕ (2010), η τροφοδοσία του ομώνυμου υδροφόρου συντελείται:
  - i. με την απευθείας κατείσδυση στην έκταση του υδροφόρου,
  - ii. από τη διήθηση του υδατορέματος Σουλού που διασχίζει τον υδροφόρο και
  - iii. από την πλευρική διήθηση του υψηλότερου καρστικού υδροφορέα.

Η ετήσια τροφοδοσία του υδροφόρου ανέρχεται περίπου στα  $25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  και τα νερά του αξιοποιούνται τόσο στη γεωργία, ύδρευση όσο και στη βιομηχανική χρήση (ΔΕΗ).

Γενικά το κοκκώδες υδροφόρο σύστημα της Σαριγκιόλ παρουσιάζει μια φθίνουσα τάση ως προς την ανανέωση των αποθεμάτων του, που οφείλεται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες της περιοχής, αλλά και στη μείωση της φυσικής τροφοδοσίας από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

- **Καρστικό υποσύστημα Νότιο - Δυτικού Βερμίου - Ασκίου όρους Κοζάνης**  
(ΙΓΜΕ Γ' ΚΠΣ 2010, Ερευνητικό έργο ΕΜΠ , 2016)  
Οι Τριαδικοϊουρασικής ηλικίας ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα της Πελαγονικής Ζώνης, με έκταση που ανέρχεται στα  $840 \text{ km}^2$ , εμφανίζονται έντονα καρστικοποιημένα και ευνοούν την ανάπτυξη υψηλής δυναμικότητας υδροφόρων.

Στα καρστικά έγκοιλα αποθηκεύονται σημαντικά υπόγεια υδάτινα αποθέματα, με βάθος στάθμης νερού στο υψόμετρο  $+290 \text{ m}$ . Το σύστημα εκφορτίζεται μέσω των καρστικών πηγών Νεράιδας Κοζάνης, οι οποίες εμφανίζουν υψηλή παροχτευτική ικανότητα και οι οποίες έχουν «καλυφθεί» από τα νερά της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου. Το καρστ στην περιοχή Σερβίων της Κοζάνης καλύπτεται σε ένα μέρος του από τα Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα, αλλά και εδώ παρουσιάζεται ενεργό.

Η ετήσια τροφοδοσία του υδροφόρου ανέρχεται σε περίπου  $360 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  και οι απολήψεις νερού από τον υδροφορέα είναι μικρές, σε σχέση με τη δυναμικότητά του και δεν υπερβαίνουν τα  $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ετησίως.

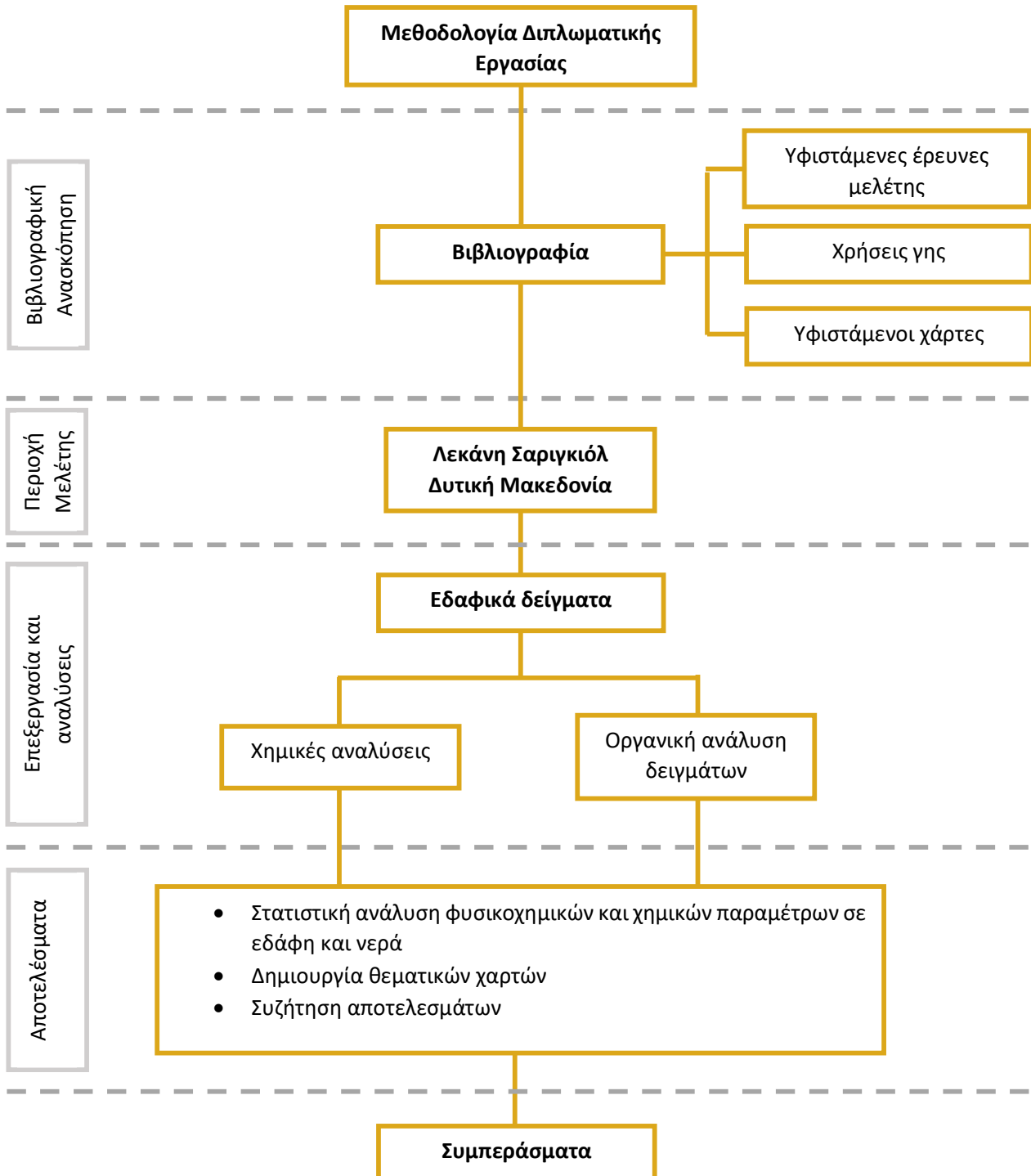
### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1 Συνοπτική παρουσίαση μεθοδολογίας

Στο διάγραμμα ροής παρουσιάζεται σχηματικά η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που περιλαμβάνει τα εξής επιμέρους στάδια:

- Συλλογή, επεξεργασία και αξιολόγηση βιβλιογραφικών δεδομένων σχετικά με τη γεωλογία, υδρογεωλογία, υδροχημεία της λεκάνης Σαριγκιόλ στην Δυτική Μακεδονία.
- Συλλογή, επεξεργασία και αξιολόγηση βιβλιογραφικών δεδομένων σχετικά με μεθόδους επεξεργασίας και αξιολόγησης εδαφικών δειγμάτων σε περιοχές υπερβασικών πετρωμάτων και μεθόδων στατιστικής ανάλυσης και επεξεργασίας.
- Επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων.
- Προσδιορισμός οργανικής ουσίας με την μέθοδο Walkley – Black.
- Γεωχημική μελέτη των εδαφικών δειγμάτων που περιλαμβάνει την ανάλυση SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, Ba, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr, As, Bi, Hg, Sb, Se, Tl, Ag, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, P.
- Εφαρμογή κλασσικών στατιστικών μεθόδων (περιγραφικά στατιστικά, συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson και Spearman) και πολυκριτηριακών στατιστικών μεθόδων (παραγοντική ανάλυση με τη χρήση της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών και ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες).
- Εφαρμογή συντελεστών εμπλουτισμού και δεικτών εδαφικής επιμόλυνσης ( $I_{geo}$ , CF, PLI).
- Εφαρμογή συντελεστών εμπλουτισμού και υπολογισμός δεικτών ποιότητας νερού (WQI, HPI, HEI).
- Δημιουργία θεματικών χαρτών και χαρτών χωρικής κατανομής διαφόρων χημικών παραμέτρων, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Χωρική κατανομή της χημικής σύστασης των εδαφών και τη συσχέτιση τους με τον υπόγειο υδροφόρο
- Συναξιολόγηση όλων των δεδομένων.
- Συμπεράσματα

### 3.2 Διάγραμμα ροής εργασίας



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα ροής εργασίας

### 3.3 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε:

- Κατά την πραγματοποίηση του προγράμματος ΔΠΠ1511434\_ΕΜΠ623147: «Ορυκτολογική - ορυκτοχημική, πετρολογική και γεωχημική συσχέτιση της παρουσίας βαρέων μετάλλων, με έμφαση στο χρώμιο, στους γεωλογικούς σχηματισμούς (υπερβασικά πετρώματα, λιγνίτης, ενδιάμεσα στείρα) και στα προϊόντα καύσης του λιγνίτη (ιπτάμενη τέφρα), με την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών στα λιγνιτικά πεδία της λεκάνης Σαριγκιόλ»
- Κατά την πραγματοποίηση του προγράμματος ΔΠΠ1511681\_ΕΜΠ623579: «Γεωχημική Έρευνα στην περιοχή του ΑΗΣ Αγ.Δημητρίου, Νομού Κοζάνης
- Κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2016-2020 στο πλαίσιο διαφόρων επισκέψεων της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ στη λεκάνη Σαριγκιόλ, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες εδαφών

Τα δείγματα των νερών που συλλέχθηκαν έγιναν κατά την υλοποίηση των έργων:

- Κατά ΔΠΠ1511434\_ΕΜΠ623147: «Ορυκτολογική - ορυκτοχημική, πετρολογική και γεωχημική συσχέτιση της παρουσίας βαρέων μετάλλων, με έμφαση στο χρώμιο, στους γεωλογικούς σχηματισμούς (υπερβασικά πετρώματα, λιγνίτης, ενδιάμεσα στείρα) και στα προϊόντα καύσης του λιγνίτη (ιπτάμενη τέφρα), με την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών στα λιγνιτικά πεδία της λεκάνης Σαριγκιόλ» (2016)
- ΔΠΠ1511681\_ΕΜΠ623579: «Γεωχημική Έρευνα στην περιοχή του ΑΗΣ Αγ.Δημητρίου, Νομού Κοζάνης

Η μεθοδολογία, που ακολουθήθηκε, περιλαμβάνει για τα νερά, τα εξής στάδια:

- Επιτόπιο προσδιορισμό των φυσικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού κατά τη δειγματοληψία. Περιλαμβάνει μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.), pH, διαλελυμένου οξυγόνου (D.O.), δυναμικού οξειδοαναγωγής Eh, θερμοκρασίας.
- Επιτόπια διήθηση και οξίνιση των δειγμάτων νερού, για τη συντήρησή τους, προκειμένου να μετρηθούν οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων.
- Επιτόπιο διαχωρισμό και απομόνωση του εξασθενούς χρωμίου από το τρισθενές στα δείγματα νερού, με τη μέθοδο δειγματοληψίας με φιλτράρισμα του δείγματος σε φυσίγγια κατιοντο-ανταλλαγής (Ball et al., 2003, Βασιλείου, 2013).
- Πλήρη ανάλυση όλων των φυσικών-χημικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού και μέτρηση των βαρέων μετάλλων και ειδικότερα του εξασθενούς χρωμίου, σε φούρνο γραφίτη ή ICP-MS, κατά περίπτωση και περιλαμβάνουν: Κύρια ανιόντα και κατιόντα:  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  / Βαρέα Μέταλλα (70 στοιχεία): Cr (ολικό), Cr+6, Ni, Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Hg, Co, Hg, Mo, Se, P, Ag, V, Ba, B, Sr, U, La, Be, Bi, Y, Ti, Zr (και άλλα 42 στοιχεία).

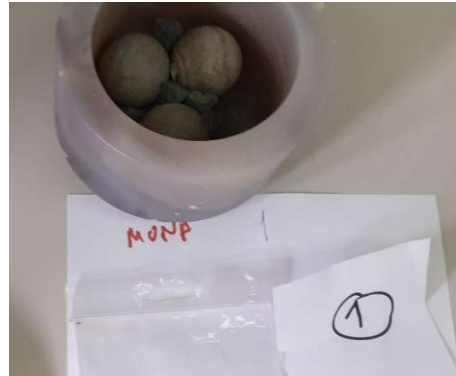
Τα δείγματα υπογείων και επιφανειακών νερών έχουν συλλεχθεί κατά την περίοδο 2014 έως και 2019, σε ξηρές και υγρές περιόδους.

### **3.4 Δειγματοληψία και εδαφικά δείγματα**

Οι θέσεις δειγματοληψίας εδαφικών δειγμάτων καταγράφηκαν σε GPS χειρός σε συντεταγμένες του παγκόσμιου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς του 1984 (WGS'84). Για τη λήψη των εδαφικών δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε πλαστικό σκαπτικό εργαλείο χειρός και χειροκίνητο τρυπάνι με στελέχη μέχρι ενός μέτρου και τα δείγματα λήφθηκαν σε διάφορα βάθη 0-10 cm, 0-20 cm και 0-30 cm. Για λόγους ετερογένειας και μείωσης συστηματικών σφαλμάτων, σε κάθε θέση δειγματοληψίας συλλέχθηκε ένα σύνθετο δείγμα αποτελούμενο από υλικό πέντε διαφορετικών σημείων. Η ακριβής θέση του σημείου δειγματοληψίας είναι το σημείο τομής των δυο διαγωνίων ενός νοητού τετραγώνου εμβαδού 25m<sup>2</sup>. Το σύνθετο δείγμα αποτελείται από υλικό από το σημείο αυτό και τις τέσσερις γωνίες του τετραγώνου. Ποσότητα περίπου 300 g συλλέχθηκε από κάθε σημείο. Τα εδαφικά δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες, οι οποίες σφραγίστηκαν ώστε να μεταφερθούν με ασφάλεια στο εργαστήριο Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών (MMM) του ΕΜΠ. (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016 & 2018)

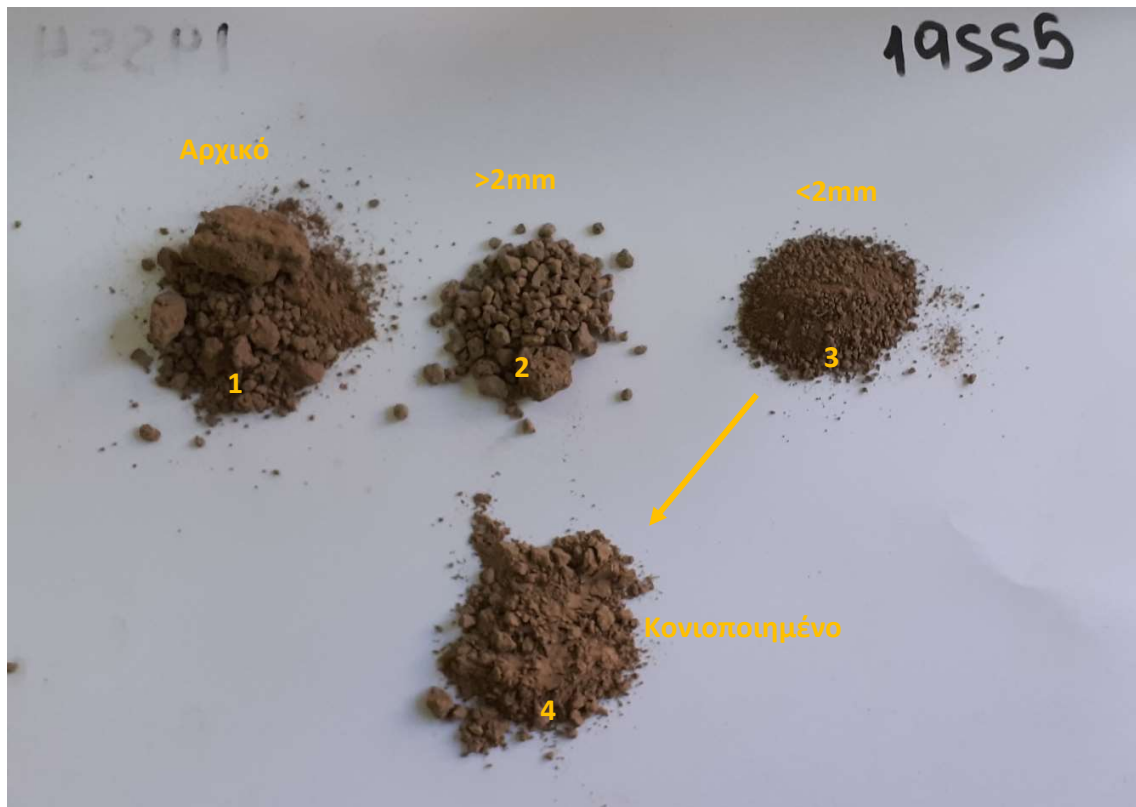
### **3.5 Προετοιμασία δειγμάτων και χημικές αναλύσεις**

Για τη γεωχημική ανάλυση, στα εδαφικά δείγματα έγινε ξήρανση για 48h στους 40°C και στη συνέχεια κοσκίνισμα για κλάσμα μικρότερο των 2mm. Στη συνέχεια τα δείγματα κονιοποιήθηκαν και στάλθηκαν προς ανάλυση. Οι χημικές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Acme Labs, Mineral Laboratories, Bureau Veritas Commodities Canada Ltd., στο Vancouver του Καναδά και στο εργαστήριο της ALS Global στην Τσεχία. Οι αναλύσεις περιλαμβάνουν: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, Ba, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr, As, Bi, Hg, Sb, Se, Tl, Ag, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, P.



Εικόνα 10 Επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων στο εργαστήριο Γεωλογίας του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών. Διαδικασία κονιοποίησης.





Εικόνα 11 Επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων. Το δείγμα 1 είναι το αρχικό εδαφικό δείγμα μετά από την ξήρανση, το εδαφικό 2 είναι κλάσμα  $>2\text{mm}$  και το 3 είναι το κλάσμα του δείγματος  $<2\text{mm}$ . Το 3 είναι το κλάσμα το οποίο κονιοποιείται(4) και στέλνεται για χημική ανάλυση.

### 3.6 Επεξεργασία δεδομένων

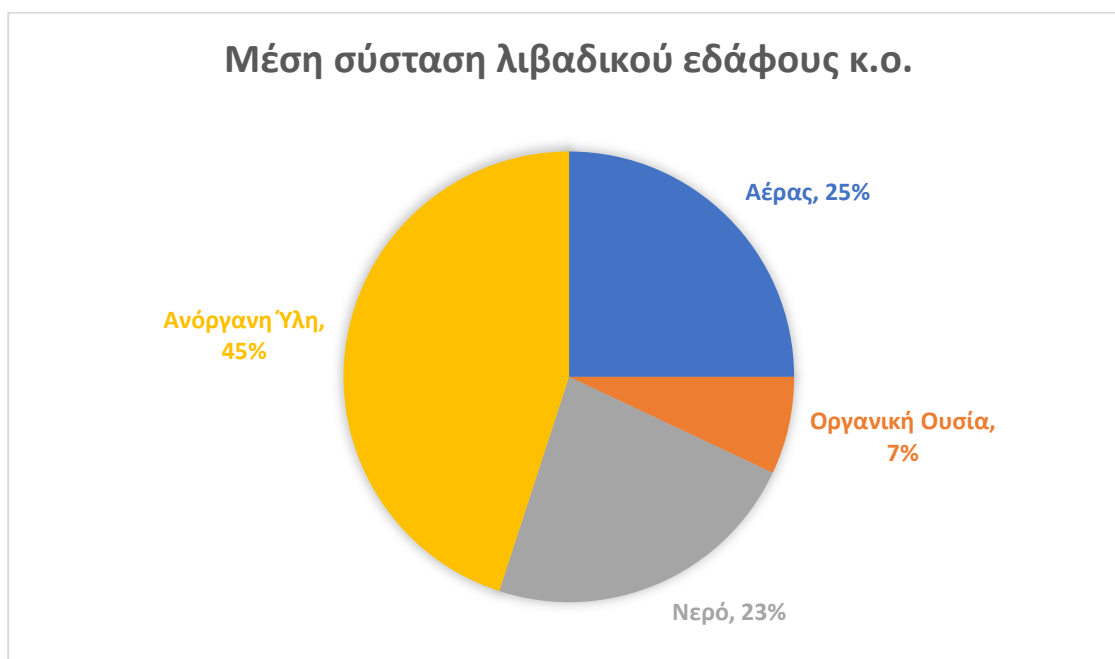
Η επεξεργασία δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου IBM SPSS Statistics version 22 και η δημιουργία των διαγραμμάτων με το λογισμικό Microsoft Excel. Οι θεματικοί χάρτες σχεδιάστηκαν με το λογισμικό Arc GIS version 10.5.1.

Στους χάρτες χωρικής κατανομής, η ταξινόμηση των ομάδων που παρουσιάζονται έγινε βάσει τη μέση σύσταση του φλοιού της γης (Yaroshovsky, 2006; Mason and Moore, 1982) και τις τιμές παρέμβασης και αναφοράς της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Πιο συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις παρουσιάζονται σημειακά με πράσινους, μπλε, πορτοκαλί και κόκκινους κύκλους διαβαθμισμένου μεγέθους από τις χαμηλότερες προς τις υψηλότερες συγκεντρώσεις.

### 3.7 Εδάφη

#### 3.7.1 Σύσταση του εδάφους

Το έδαφος, ως το ανώτερο τμήμα της ακόρεστης ζώνης, χαρακτηρίζεται από έντονες βιολογικές διεργασίες και επιπλέον διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ποσότητα νερού που τελικά κατεισδύει στην επιφάνεια του υπόγειου νερού, λειτουργεί δηλαδή σαν ένα φίλτρο αλλά και σαν μία αποθήκη νερού. Εδάφη με υψηλή παρουσία αργίλου και ιλύος έχουν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού και έτσι μειώνουν την ταχύτητα κίνησης του ρύπου, μειώνοντας έτσι το ρυπαντικό δυναμικό του (Μανδηλαράς 2005).



Διάγραμμα 2 Μέση σύσταση λιβαδικού εδάφους κ.ο. (Αλιφραγκής 2008)

#### 3.7.2 Οργανική ουσία του εδάφους

Η οργανική ουσία αποτελείται από φυτικά και ζωικά υπολείμματα σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης, ενώσεις οι οποίες είναι αποτέλεσμα της συνθετικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών του εδάφους επί των προϊόντων αποδόμησης καθώς και ζωντανούς μικροοργανισμούς του εδάφους. Δεν περιλαμβάνει αδρομερή φυτικά υπολείμματα (πχ. βλαστούς) και σπονδυλωτά. Χαρακτηριστικό των ουσιών που σχηματίζονται είναι ο σχηματισμός τόσο διαλυτών όσο και αδιάλυτων στο νερό συμπλόκων με μεταλλικά κατιόντα και ενυδατωμένα οξείδια, καθώς και η αντίδραση τους με αργιλικά ορυκτά και άλλες οργανικές ενώσεις. Είναι ένα από τα πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά του εδάφους, καθώς συμβάλλει στην εδαφική δομή και σταθερότητα, αυξάνει το πορώδες, βελτιώνει τη σχέση νερού και αέρα και μειώνει τη διάβρωση και αυξάνει τη σταθερότητα παρουσιάζουν τα εδαφικά συσσωματώματα.

Η μεγάλη σημασία της οργανικής ουσίας στο έδαφος συνοψίζεται παρακάτω (Βασιλάκης, 2021):

1. Αποτελεί κύρια πηγή αζώτου (90 – 95%) για τα φυτά τα οποία αναπτύσσονται σε εδάφη που δε λιπαίνονται.
2. Αποτελεί τη βασικότερη πηγή φωσφόρου και θείου, όταν ο χούμος βρίσκεται σε ποσότητες μεγαλύτερες του 2%.
3. Συνεισφέρει σε μεγάλο ποσοστό στην Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, δηλαδή στη γονιμότητα, του εδάφους.
4. Διαθέτει υψηλό αριθμό θέσεων ανταλλαγής και συνεπώς έχει υψηλή ικανότητα προσρόφησης θρεπτικών στοιχείων αλλά και βαρέων μετάλλων επομένως βοηθά στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από νερά που εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις στα μέταλλα αυτά.
5. Αυξάνει την υδατοικανότητα σε αμμώδη εδάφη και βελτιώνει τον αερισμό και την κίνηση του νερού σε λεπτόκοκκα εδάφη.
6. Όταν βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, επιδρά θετικά στη μείωση της διάβρωσης και στην απώλεια υγρασίας.

### 3.7.3 Προσδιορισμός οργανικής ουσίας (Μέθοδος Walkley – Black)

Η χαρτογράφηση του οργανικού άνθρακα του εδάφους (soil organic carbon, SOC) και η καταγραφή κατά την πάροδο του χρόνου είναι σημαντική λόγω της μετακινήσεις CO<sub>2</sub> μεταξύ εδάφους και ατμόσφαιρας. Το οποίο είναι μια από τις κύριες αιτίες μείωσης της γονιμότητας του εδάφους και αύξησης της διαβρωσιμότητας (Jancauskas et al., 2006).

Έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες μέθοδοι για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας. Η μέθοδος των Walkley & Black (1934) χρησιμοποιείται πιο συχνά επειδή είναι απλή και σχετικά γρήγορη (Gillman et al., 1986). Ο κύριος περιορισμός της είναι ότι δεν προσδιορίζεται το recalcitrant κλάσμα του οργανικού C, με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση της συνολικής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία. Συνεπώς απαιτείται διορθωτικός συντελεστής. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος συντελεστής διόρθωσης είναι 1.33.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει αξιοσημείωτη διακύμανση στην εκτίμηση του SOC χρησιμοποιώντας την κλασική μέθοδο Walkley & Black, μικρότερες από 50% έως σχεδόν 100% (Hussain & Olson, 2000). Έχουν υπολογιστεί διαφορετικοί συντελεστές διόρθωσης οι οποίοι εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους όπως το κλίμα, ο τύπος του εδάφους, οι χρήσεις της γης (Meersmans, 2009).

#### 3.7.3.1 Αρχή της μεθόδου

Εφαρμόστηκε η μέθοδος Walkley - Black για τον προσδιορισμό του ολικού οργανικού άνθρακα, του οργανικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας.

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους κατά Walkley - Black στηρίζεται στην οξείδωση του οργανικού άνθρακα, από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), σε ισχυρά όξινο περιβάλλον (πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). η μέθοδος αυτή δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες αντιδραστηρίων.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

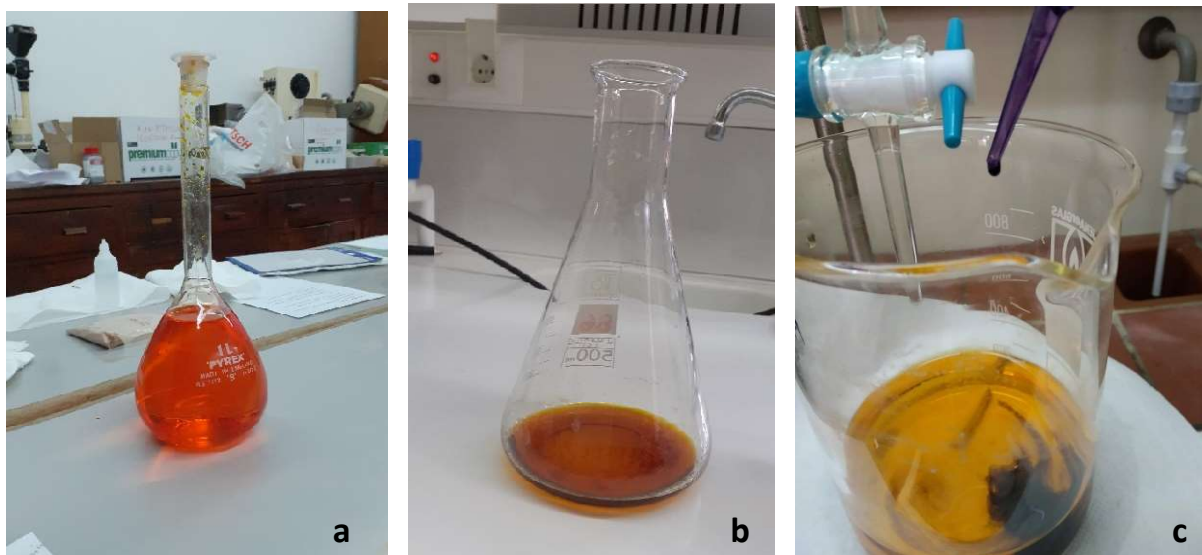
1. 1N διχρωμικό κάλιο (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) - ζυγίζονται 49,04 g K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> και διαλύονται σε 1 L H<sub>2</sub>O

2. Πυκνό φωσφορικό οξύ ( $\text{H}_3\text{PO}_4$  85%)
3. Διφαινυλαμισουλφονικό βάριο (0,15% w/v) ή διάλυμα διφαινυλαμίνης 0,5% (δείκτης) - Ζυγίζονται 0,5g δείκτη και διαλύονται σε 20 mL  $\text{H}_2\text{O}$  και 100 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$
4. 0,5N Δισθενής θειικός σίδηρος ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) – σε μια φιάλη 1 L διαλύονται 139 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  . κατόπιν προστίθενται 10-20 mL πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$  και συμπληρώνεται με νερό μέχρι την κατάλληλη χαραγή. Το διάλυμα αυτό είναι αρκετά ευαίσθητο και πρέπει να ελέγχεται ο τίτλος του ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
5. Πυκνό θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4 > 96\%$ )

### 3.6.2. Εκτέλεση πειράματος

Ζυγίζονται για κάθε δείγμα 1 g ιζήματος και μεταφέρεται σε κωνική φιάλη των 500mL.

Με την βοήθεια προχοϊδας προστίθενται 10 mL διαλύματος 1N  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ενώ συγχρόνως γίνεται ανάδευση προκειμένου να αναμειχθεί πολύ καλά το δείγμα με το αντιδραστήριο.



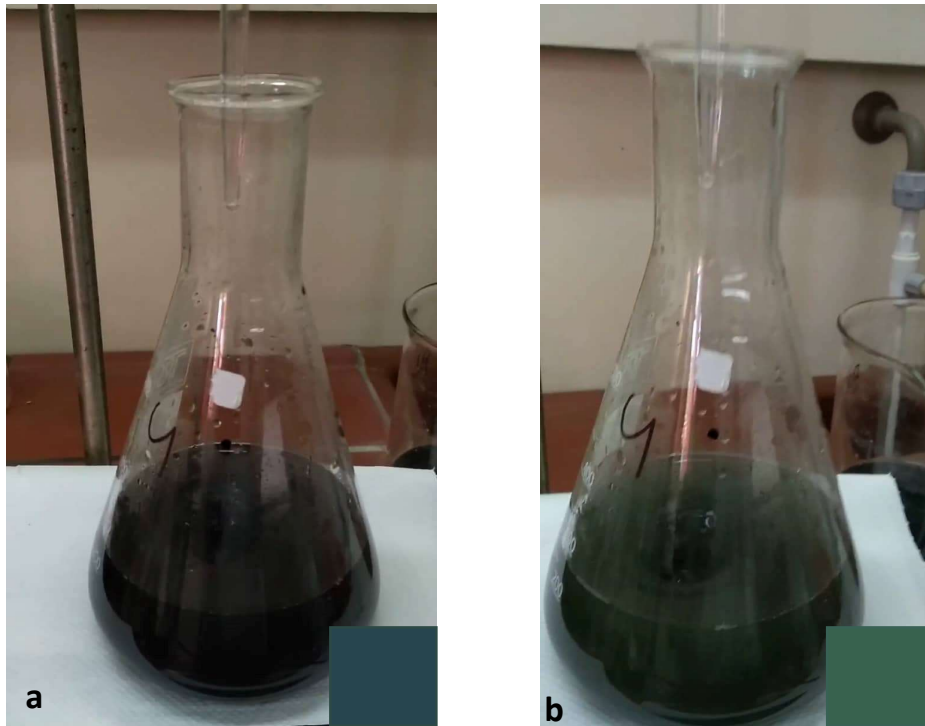
Εικόνα 12 Εφαρμογή μεθόδου Walkley – Black. a) διάλυμα 1N  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . b) 10mL διαλύματος 1N  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  με 1g ιζήματος. c) προσθήκη δείκτη διφαινυλαμισουλφονικού βαρίου.

Σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο μετριοούνται 20mL πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$  και προστίθενται στην κωνική φιάλη. Στη συνέχεια γίνεται ανάδευση περιστρέφοντας τη φιάλη για 30-60 sec με προσοχή γιατί δεν πρέπει να κολλήσουν τμήματα του εδαφικού δείγματος στα τοιχώματα της φιάλης. Τέλος η φιάλη αφήνεται σε ηρεμία για 30 περίπου λεπτά.

Στη συνέχεια, προστίθενται 200 mL απιονισμένου νερού και 10 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  και αφήνετε να ψυχθεί σε θερμοκρασία δωματίου.

Μετά την ψύξη προστίθενται 10 -12 σταγόνες διαλύματος δείκτη διφαινυλαμισουλφονικού βαρίου και γίνεται τιτλοδότηση της περίσσειας του  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  με δισθενή θειικό σίδηρο ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Όταν η τιτλοδότηση φτάνει προς το τέλος, το διάλυμα αποκτά κυανό χρώμα από αυτό το σημείο και μετά

προστίθεται σταγόνα-σταγόνα ο θειικός σίδηρος ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) ενώ ταυτόχρονα αναδεύεται πολύ καλά. Στο σημείο της εξουδετέρωσης το χρώμα του διαλύματος θα αλλάξει απότομα σε πράσινο. Σε αυτό το σημείο σταματάει η τιτλοδότηση και σημειώνεται με προσοχή ο όγκος του θειικού σιδήρου ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) που καταναλώθηκε.



Εικόνα 13 Εφαρμογή μεθόδου Walkley – Black. Το διάλυμα αποκτά κυανό χρώμα (a) προς το τέλος της τιτλοδότησης. Στο σημείο της εξουδετέρωσης το χρώμα του διαλύματος αλλάζει σε πράσινο (b).

Η ίδια τεχνική ακολουθείται και για την τιτλοδότηση «μάρτυρα» χωρίς την προσθήκη του εδαφικού δείγματος. Η τιμή των mL του «μάρτυρα» δίνει τον τίτλο του διαλύματος του δισθενούς θειικού σιδήρου ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

Η μέθοδος Walkley – Black εφαρμόστηκε στα 26 από τα 34 δείγματα, λόγω έλλειψης επαρκούς ποσότητας για την εφαρμογή της μεθόδου σε όλα τα δείγματα.

### 3.8 Στατιστική ανάλυση

#### 3.8.1 Περιγραφικά στατιστικά

Τα περιγραφικά στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν για την κατανόηση των μεγεθών των εδαφικών δειγμάτων είναι:

- **Μέση τιμή** ή μέσος όρος (Mean value): Αποτελεί το σπουδαιότερο και χρησιμότερο μέτρο της στατιστικής και είναι ένα μέτρο θέσης, δηλαδή δείχνει σχετικά τις θέσεις των αριθμών στους οποίους αναφέρεται. Ορίζεται ως το άθροισμα των παρατηρήσεων δια του πλήθους αυτών. Συμβολίζεται με  $\bar{x}$  και ο μαθηματικός της τύπος είναι:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

- **Τυπική απόκλιση** (Standard deviation): Αποτελεί το μέτρο της διασποράς των τιμών σε σχέση με την τιμή του μέσου όρου. Συμβολίζεται με το S και ο μαθηματικός της τύπος είναι:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- **Μέγιστη τιμή** (Max): Πρόκειται για τη μεγαλύτερη τιμή του δειγματικού χώρου, αποτελώντας το ανώτατο όριο των δειγματικών τιμών.
- **Ελάχιστη τιμή** (Min): Πρόκειται για τη μικρότερη τιμή του δειγματικού χώρου, αποτελώντας το κατώτατο όριο των δειγματικών τιμών.
- **Εύρος** (range): Αποτελεί τη διαφορά της ελάχιστης από τη μέγιστη τιμή και δίνεται από τη σχέση:  
Εύρος (R) = Max – Min
- **Διάμεσος** (Median value): Αποτελεί το αντιπροσωπευτικότερο μέτρο της στατιστικής καθώς δεν επηρεάζεται από ακραίες τιμές. Πρόκειται για τη μεσαία παρατήρηση σε ένα δειγματικό χώρο n παρατηρήσεων οι οποίες έχουν διαταχθεί σε αύξουσα σειρά, όταν το n είναι περιττός αριθμός, ή ο μέσος όρος (ημι-άθροισμα) των δυο μεσαίων παρατηρήσεων όταν το n είναι άρτιος αριθμός.
- **Τεταρτημόρια** (Quartiles): Αποτελούν τις τιμές της παραμέτρου που χωρίζουν το σύνολο των τιμών της σε 4 ισοπληθείς ομάδες. Το πρώτο τεταρτημόριο (Q1) αντιστοιχεί στο 25% των τιμών, το δεύτερο τεταρτημόριο (Q2) αντιστοιχεί στο 50% των τιμών και συμπίπτει με τη διάμεσο, το τρίτο τεταρτημόριο (Q3) αντιστοιχεί στο 75% των τιμών. Το τέταρτο τεταρτημόριο (Q4) συμπίπτει με τη μέγιστη τιμή.

Οι συγκεντρώσεις κάποιων παραμέτρων ήταν χαμηλότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας της αναλυτικής μεθόδου και γι' αυτό το λόγο αντικαταστάθηκαν από τη συγκέντρωση του αντίστοιχου ορίου ώστε να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των περιγραφικών στατιστικών μεγεθών.

Για τα στοιχεία των οποίων η πλειονότητα των συγκεντρώσεών τους (>50%) ήταν κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας δεν υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι.

### 3.8.2.1 Υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης Pearson

Ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) Pearson  $r$  είναι ο σημαντικότερος συντελεστής συσχέτισης και αφορά ποσοτικές μεταβλητές, ενώ βασίζεται στην έννοια της γραμμικής σχέσης. (Ιλιουρούλου, 2015)

Για τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson  $r$  για δύο μεταβλητές  $X$  και  $Y$  χρησιμοποιείται η συνδιακύμανση (covariance) η οποία συμβολίζεται με  $cov(X, Y)$ . Η συνδιακύμανση υπολογίζεται από τα γινόμενα των αποκλίσεων των τιμών της μεταβλητής  $X$  από τον αριθμητικό μέσο της και των τιμών της μεταβλητής  $Y$  από τον αριθμητικό μέσο της για όλες τις παρατηρήσεις, δηλαδή:

$$\text{Συνδιακύμανση, } cov(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{n-1}$$

όπου  $X$  και  $Y$  είναι οι δύο μεταβλητές. Ο μαθηματικός τύπος της συνδιακύμανσης μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση του μαθηματικού τύπου της διακύμανσης ή διασποράς (variance). Η διακύμανση αφορά μία και μόνη μεταβλητή, ενώ η συνδιακύμανση περιγράφει πώς οι δύο μεταβλητές μεταβάλλονται ταυτοχρόνως.

Η συνδιακύμανση μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα με το αν οι τιμές της μίας μεταβλητής αυξάνουν όταν και οι τιμές της δεύτερης αυξάνουν ή το αντίστροφο. Δηλαδή εφόσον υψηλές τιμές της  $X$  τείνουν να συμβαδίζουν με υψηλές τιμές της  $Y$  και χαμηλές τιμές της  $X$  με χαμηλές τιμές της  $Y$ , η συνδιακύμανση είναι θετική. Αντίθετα όταν χαμηλές τιμές της  $X$  συμβαδίζουν με υψηλές τιμές της  $Y$  και οι υψηλές τιμές της  $X$  με χαμηλές τιμές της  $Y$  η συνδιακύμανση είναι αρνητική. Αυτές οι προϋποθέσεις δεν ισχύουν συνήθως για το σύνολο των παρατηρήσεων, οπότε αν τα περισσότερα σημεία σε ένα διάγραμμα διασποράς ακολουθούν μια ευθεία γραμμή με θετική κλίση, τότε η συνδιακύμανση είναι θετική και το αντίστροφο. Η συνδιακύμανση πλησιάζει το μηδέν αν δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Το μέγεθος της συνδιακύμανσης εξαρτάται από τα μεγέθη των τιμών των μεταβλητών και τις μονάδες μέτρησης, όπως είναι η περίπτωση και για την τυπική απόκλιση. Προκειμένου να οριστεί ένα μέτρο συσχέτισης ανεξάρτητο μονάδων μέτρησης, η συνδιακύμανση διαιρείται με το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεων  $\sigma_X$  και  $\sigma_Y$ . Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ο συντελεστής συσχέτισης Pearson, ο οποίος δεν έχει μονάδες μέτρησης και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα  $\rho$ , όταν ο υπολογισμός γίνεται για τον στατιστικό πληθυσμό, και με το λατινικό γράμμα  $r$ , όταν πρόκειται για δείγμα. Οπότε:

$$\rho = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$



όπου  $\text{cov}(x,y)$  είναι η συνδιακύμανση και  $\sigma_x, \sigma_y$  είναι οι τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών  $X$  και  $Y$  και

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}}$$

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson  $r$  δεν έχει μονάδες μέτρησης και λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[-1,+1]$ . Επομένως για κάθε ζεύγος μεταβλητών, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης θα είναι  $-1 \leq r \leq 1$ . Συντελεστής  $r = -1$  ή  $r = 1$  σημαίνει ότι υπάρχει τέλεια γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών και τα σημεία που ορίζονται από τα ζεύγη των τιμών τους στο διάγραμμα διασποράς βρίσκονται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Η τιμή  $r=0$  αντιστοιχεί σε ένα νέφος σημείων τα οποία είναι ασυσχέτιστα. Θετικός συντελεστής συσχέτισης σημαίνει ότι οι δύο μεταβλητές είναι θετικά συσχετιζόμενες και οι τιμές τους μεταβάλλονται προς την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή όταν μεγαλώνουν οι τιμές της μίας μεταβλητής μεγαλώνουν και οι τιμές της άλλης μεταβλητής και το αντίστροφο. Αρνητικός συντελεστής συσχέτισης σημαίνει αρνητική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών, δηλαδή όταν αυξάνουν οι τιμές της μίας μεταβλητής μειώνονται οι τιμές της άλλης. Η μηδενική συσχέτιση σημαίνει ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Στην περίπτωση αυτή, θα μπορούσε να υπάρχει σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, η οποία όμως δεν είναι γραμμική και για τον λόγο αυτό καταλήγει σε συντελεστή συσχέτισης Pearson  $r=0$ . Εκτός των χαρακτηριστικών τιμών του συντελεστή συσχέτισης, δηλαδή των  $r = \pm 1$  και  $r = 0$ , οι υπόλοιπες τιμές στο διάστημα  $[-1,+1]$  ερμηνεύονται με εμπειρικό τρόπο. Τιμές κοντά στη μονάδα, συνήθως μεγαλύτερες του 0,80, θετικές ή αρνητικές ερμηνεύονται ως σχεδόν τέλεια ή πολύ ισχυρή συσχέτιση. Τιμές κοντά στο 0,5 μπορεί να ερμηνευτούν ως μέτρια συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν ως ασθενής συσχέτιση ή απουσία συσχέτισης. Πρέπει να σημειωθεί, ότι ανάλογα με το αντικείμενο της μελέτης, η ερμηνεία του μεγέθους των συντελεστών συσχέτισης μπορεί να διαφέρει. (Ιλιουρούλου, 2015)

παρουσιάζονται υποθετικά οι χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή συσχέτισης Pearson:

- $r = 1$  (τέλεια θετική συσχέτιση),
- $r = -1$  (τέλεια αρνητική συσχέτιση),
- $r = 0$  (απουσία συσχέτισης)

### 3.8.3 Συντελεστής συσχέτισης κατά Spearman

ο συντελεστής συσχέτισης Spearman, συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα  $\rho$  ή ως  $r_s$  είναι ένα μη-παραμετρικό μέτρο της στατιστικής εξάρτησης μεταξύ δύο μεταβλητών. Αξιολογεί το πόσο καλά μπορεί να περιγράψει η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών χρησιμοποιώντας μια μονότονη συνάρτηση. Εάν δεν υπάρχουν επαναλαμβανόμενες τιμές των δεδομένων, μια τέλεια συσχέτιση Spearman κατά +1 ή -1 συμβαίνει όταν κάθε μία από τις μεταβλητές είναι μια τέλεια μονότονη συνάρτηση της άλλης. Ο συντελεστής Spearman, όπως κάθε συντελεστής συσχέτισης, είναι κατάλληλος και για συνεχείς και για διακριτές μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένων των τακτικών διακριτών μεταβλητών. (Corder, 2009; Spearman, 1904)

ο συντελεστής συσχέτισης Spearman ορίζεται όπως ο συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ των μεταβλητών κατάταξης. Οι  $n$  πρώτες βαθμολογίες  $X_i, Y_i$  μετατρέπονται σε κατατάξεις  $x_i, y_i$ , και ο  $\rho$  υπολογίζεται από:

$$\rho = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της σχέσης μεταξύ 2 μεταβλητών όταν :

- η μία είναι συνεχής με κανονική κατανομή και η άλλη δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή ή είναι κατηγορική
- δεν ακολουθούν και οι 2 την κανονική κατανομή

Το πρόσημο της συσχέτισης Spearman δείχνει την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ της  $X$  (ανεξάρτητη μεταβλητή) και της  $Y$  (εξαρτημένη μεταβλητή).

- Εάν η  $Y$  τείνει να αυξάνεται όταν η  $X$  αυξάνει, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι θετικός.
- Εάν η  $Y$  τείνει να μειώνεται όταν η  $X$  αυξάνει, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι αρνητικός.
- Μια μηδενική συσχέτιση Spearman δείχνει ότι δεν υπάρχει τάση για την  $Y$  είτε να αυξηθεί ή να μειωθεί, όταν η  $X$  αυξάνει.

Η συσχέτιση Spearman αυξάνει σε μέγεθος, όταν η  $X$  και η  $Y$  είναι πιο κοντά στο να είναι τέλειες μονότονες συναρτήσεις η μία της άλλης. Όταν η  $X$  και η  $Y$  έχουν απόλυτη μονοτονική σχέση, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman γίνεται 1.

Ο συντελεστής συσχέτισης Spearman συχνά περιγράφεται ως «μη παραμετρικός». Αυτό μπορεί να έχει δύο έννοιες. Πρώτον, το γεγονός ότι μια τέλεια συσχέτιση Spearman προκύπτει όταν  $X$  και  $Y$  σχετίζονται με οποιαδήποτε μονότονη συνάρτηση, που μπορεί να αντιπαραβληθεί με τη συσχέτιση Pearson, η οποία δίνει μόνο μια τέλεια τιμή όταν  $X$  και  $Y$  σχετίζονται με μια γραμμική συνάρτηση. Η άλλη έννοια με την οποία ο συσχετισμός Spearman είναι μη παραμετρικός είναι ότι η ακριβής κατανομή της δειγματοληψίας του μπορεί να ληφθεί χωρίς να απαιτείται γνώση της κοινής κατανομής πιθανότητας της  $X$  και  $Y$ .

### 3.8.4 Πολυκριτηριακή στατιστική ανάλυση

#### 3.8.4.1 Hierarchical Cluster Analysis (HCA)- Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες

Η ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες (Hierarchical Cluster Analysis - HCA) χρησιμοποιείται για να ομαδοποιήσει δεδομένα και ανήκει στην κατηγορία των πολυκριτηριακών στατιστικών αναλύσεων. Αποσκοπεί στο διαχωρισμό μιας συλλογής από στοιχεία σε υποσύνολα έτσι ώστε να υπάρχει ομοιογένεια μέσα σε ένα υποσύνολο και ανομοιογένεια μεταξύ των στοιχείων που ανήκουν σε διαφορετικά υποσύνολα.

Επιπρόσθετα, μπορεί να αποσκοπεί στην ιεραρχική οργάνωση των συστάδων με τη διαδοχική ομαδοποίηση αυτών, έτσι ώστε σε κάθε στάδιο της ιεραρχίας, οι συστάδες που ανήκουν στην ίδια ομάδα να είναι πιο όμοιες μεταξύ τους από αυτές που ανήκουν σε άλλη ομάδα.

Οι τιμές εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο αυτή ήταν οι τυπικές τιμές των παραμέτρων. Οι πιο σημαντικές επιλογές στην ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες είναι η επιλογή της διασύνδεσης (linkage) και της απόστασης ομοιότητας (similarity). Για τη διασύνδεση υπάρχουν διάφορες επιλογές και η πιο ευρέως χρησιμοποιημένη στη διεθνή βιβλιογραφία για τις γεωεπιστήμες είναι η μέθοδος του Ward (1963).

Ακόμα στην περιβαλλοντική γεωχημεία η πιο διαδεδομένη επιλογή απόστασης ομοιότητας είναι το τετράγωνο της Ευκλείδειας απόστασης (Squared Euclidean distance). (Parazotos et al. 2019)

#### 3.8.4.2 Factor Analysis - Παραγοντική ανάλυση

Η παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis) αποσκοπεί στην εύρεση της ύπαρξης κοινών παραγόντων ανάμεσα σε μία ομάδα παραμέτρων. Η παραγοντική ανάλυση μέσω της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (Principal Component analysis-PCA) είναι η πιο διαδομένη μέθοδος πολυκριτηριακής στατιστικής ανάλυσης (multivariate statistical analysis) για την εκτίμηση των παραγόντων και ειδικά στην περίπτωση των γεωχημικών δεδομένων (Dunteman, 1989). Πιο συγκεκριμένα είναι μία στατιστική διαδικασία η οποία μετατρέπει μία ομάδα παρατηρημένων δυνητικά συσχετιζόμενων παραμέτρων σε μία ομάδα νέων τιμών μη γραμμικά συσχετιζόμενων παραμέτρων, οι οποίες καλούνται κύριες συνιστώσες (components/factors). Ο αριθμός των νέων παραμέτρων που προκύπτει είναι ίσος ή/και συχνότερα πολύ μικρότερος από τον αριθμό των αρχικών παραμέτρων.

Σκοπός της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών είναι να μειωθεί η διάσταση του προβλήματος και να βρεθεί η ύπαρξη κοινών παραγόντων ανάμεσα σε μια ομάδα ασυσχέτιστων παραμέτρων. Αυτή η στατιστική μέθοδος απαιτεί οι παράμετροι να ακολουθούν την κανονική κατανομή αν το δείγμα μας είναι μικρότερο από 50. Ως εκ τούτου, οι τιμές των παραμέτρων μετατράπηκαν σε τυπικές τιμές (z-scores), ώστε να χρησιμοποιηθούν ως τιμές εισόδου (input values) στην ανάλυση κυρίων συνιστωσών.

Η συμβολή των λιγότερο σημαντικών παραμέτρων επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης. Ο άξονας που ορίζεται από την ανάλυση κυρίων συνιστωσών περιστρέφεται και παράγεται μια νέα ομάδα παραμέτρων. Η περιστροφή χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της ποιότητας και ερμηνείας των εξαγόμενων παραγόντων, ώστε τα αποτελέσματα να γίνουν πιο ερμηνεύσιμα. Η πιο διαδεδομένη τεχνική περιστροφής στις υδροχημικές-υδρογεωλογικές μελέτες είναι η ορθογώνια περιστροφή μεγιστοποίησης της διακύμανσης (Varimax) η οποία ελαχιστοποιεί τον αριθμό παραμέτρων που έχουν μεγάλες επιβαρύνσεις για κάθε παράγοντα (Voutsis et al., 2015, Tziritis et al., 2016, Ayed et al., 2017, Parazotos et al., 2019a, Vasileiou et al., 2019; Kaiser 1958; Cattell 1966).

Οι φορτίσεις των παραγόντων ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες προκειμένου να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ των παραμέτρων (Liu et al., 2003):

- i. Απόλυτες τιμές από 0,75 έως 1 χαρακτηρίζονται ως ισχυρές.
- ii. Απόλυτες τιμές από 0,5 έως 0,75 χαρακτηρίζονται ως μέτριες.
- iii. Απόλυτες τιμές από 0,3 έως 0,5 χαρακτηρίζονται ως ασθενείς.

Τα βασικά κριτήρια τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται, ώστε η επεξεργασία να είναι στατιστικά σημαντική και ικανοποιητική, είναι ο έλεγχος της υπόθεσης της σφαιρικότητας (Bartlett's test of sphericity) που πρέπει να είναι  $< 0,05$  και ο στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (KMO), που παίρνει τιμές στο διάστημα  $[0,1]$ , που πρέπει η τιμή να είναι  $> 0,5$ . Αυτά τα δύο κριτήρια υποδεικνύουν ότι τα δεδομένα είναι κατάλληλα για παραγοντική ανάλυση (Bartlett, 1950, Armstrong and Soelberg, 1968, Kaiser, 1970; Kaiser, 1958)

### 3.9 Δυνητικά τοξικά στοιχεία

Τα στοιχεία που είναι γνωστά ως «δυνητικά τοξικά στοιχεία» (Potentially Toxic Elements PTEs) μπορεί να έχουν φυσική (γεωγενή) εμφάνιση στα εδάφη ή μπορεί να έχουν εναποτεθεί στα εδάφη μέσω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε υψηλές συγκεντρώσεις. (Shaheen et al. 2020)

Τα δυνητικά τοξικά στοιχεία θεωρούνται μία από τις κύριες πηγές περιβαλλοντικής ρύπανσης και η επίδρασή τους στην οικολογική ποιότητα του περιβάλλοντος είναι σημαντική (Sastre et al., 2002; Jaishankar et al., 2014). Μπορούν να προκαλέσουν άμεσο αντίκτυπο στο περιβάλλον ή να προκαλέσουν έμμεσα προβλήματα και να διαταράξουν τη βιολογική ισορροπία της τροφικής αλυσίδας (El-Naggar et al., 2018). Τα στοιχεία αυτά είναι δύσκολο να αποικοδομηθούν στη φύση, έχουν υψηλή αντοχή και συχνά έχουν τοξικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ο αντίκτυπος των προβλημάτων που προκαλούν στο περιβάλλον ενισχύεται από τη μη αποικοδόμησή τους (RoyChowdhury et al., 2018; Fazekasová et al., 2021), ακόμη και αν υπάρχουν σε χαμηλές συγκεντρώσεις (Alloway, 2013; Rinklebe et al., 2019; Palansooriya et al., 2020, Shaheen et al. 2020).

Για παράδειγμα, η έκθεση σε PTEs, ιδιαίτερα εκείνη του Cd, του As, του Pb και του Cr, μπορεί να προκαλέσουν μια σειρά από χρόνιες ασθένειες. Η έκθεση προκαλεί βλάβες στο νευρικό και το ανοσοποιητικό σύστημα, καρκίνος του πνεύμονα, των νεφρών και του ήπατος και δυσλειτουργία και κατάγματα των οστών (Lin et al., 2016; Pan et al., 2018; Shaheen et al. 2020)).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν γίνει ένα σημαντικό φαινόμενο για την ανακατανομή των χημικών στοιχείων στο περιβάλλον, επιταχύνοντας την απελευθέρωση και τη συσσώρευση τοξικών στοιχείων στο έδαφος, το νερό και τον αέρα (Zhou et al., 2004; Reimann et al., 2005; Zhang et al., 2018). Οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων, ειδικά σε κινητή μορφή, μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα στο έδαφος, το νερό και τους ζωντανούς οργανισμούς (Mohamed et al., 2017; Chopin, 2007).

Ταυτόχρονα, τα εδάφη έχουν υψηλές περιεκτικότητες σε δυνητικά τοξικά στοιχεία. Αυτά τα στοιχεία απελευθερώνονται στα εδάφη από το μητρικό πέτρωμα κατά τη διάρκεια πεδογενετικών διεργασιών (Durža et al., 2003). Η εισροή δυνητικά τοξικών στοιχείων στα εδάφη λόγω ανθρωπογενούς δραστηριότητας είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με την εισροή από φυσικές πηγές (Marrugo-Negrete, 2017).

### 3.9.1 Δείκτες ρύπανσης του εδάφους.

Για την αξιολόγηση της ρύπανσης του εδάφους που προκαλείται από δυνητικά τοξικά στοιχεία (Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, V και Zn) χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες ρύπανσης του εδάφους.

Οι δείκτες χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση περιβαλλοντικών κινδύνων και τον υπολογισμό του βαθμού υποβάθμισης του εδάφους. Επίσης, πρόσθετα βοηθάνε στην διερεύνηση της προέλευσης των στοιχείων αυτών, αν έχουν προέλθει από το μητρικό πέτρωμα ή από ανθρωπογενείς διεργασίες (Wojciechowska et al., 2019).

Οι βασικότεροι δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι (Antoniadis et al., 2019; Rinklebe et al., 2019; Shaheen et al., 2020; Adimalla and Wang 2018; Keshavarzi et al. 2018; Li et al. 2016; Muller 1969; Song et al. 2018; Stevanović et al. 2018):

- Pollution load index (PLI)
- Enrichment factor (EF)
- Geo-accumulation index (Igeo)

### 3.9.2 Pollution load index (PLI) - Δείκτης φορτίου ρύπανσης

Υπολογισμός δείκτη φορτίου ρύπανσης (PLI) (Adimalla, 2019):

$$PI = \frac{C_n}{B_n}$$

- $C_n$  είναι η συγκέντρωση του δυνητικά τοξικού στοιχείου (n)
- $B_n$  είναι η μέση συγκέντρωση στο φλοιό της γης του εξεταζόμενου δυνητικά τοξικού στοιχείου

$$PLI = (PI_1 * PI_2 * PI_3 * ... * PI_n)^{\frac{1}{n}}$$

Πίνακας 3 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη PLI

<1	Μη ρυπασμένα
1-2	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
2-3	Μετρίως ρυπασμένα
3-4	Μέτρια έως πολύ ρυπασμένα
4-5	Πολύ ρυπασμένα
>5	Πάρα πολύ ρυπασμένα

### 3.9.3 Enrichment factor (EF) – Συντελεστής εμπλουτισμού

Ο Συντελεστής εμπλουτισμού (EF) επιτρέπει την αξιολόγηση του βαθμού επίδρασης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και βασίζεται στην τυποποίηση ενός επιλεγμένου στοιχείου έναντι ενός στοιχείου αναφοράς. Τα πιο κοινά στοιχεία αναφοράς είναι τα Sc, Mn, Ti, Al και Fe (Loska et al., 2004).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθεί το Mn ως στοιχείο αναφοράς γιατί οι περιεκτικότητες του στα εδαφικά δείγματα ήταν πιο κοντά στη μέση σύσταση του φλοιού της γης (Mason and Moore, 1982; Loska et al., 2004).

Η τιμή του συντελεστή εμπλουτισμού υπολογίστηκε με βάση τη τροποποιημένη εξίσωση που προτείνεται από τους Buat-Menard και Chesselet (Buat-Menard et al., 1979):

$$EF = \frac{\frac{c_n(\text{sample})}{c_{ref}(\text{sample})}}{\frac{B_n(\text{background})}{B_{ref}(\text{background})}}$$

Όπου:

- $c_n(\text{sample})$  είναι το περιεχόμενο του εξεταζόμενου στοιχείου στο εξεταζόμενο περιβάλλον
- $c_{ref}(\text{sample})$  είναι το περιεχόμενο του στοιχείου αναφοράς στο εξεταζόμενο περιβάλλον
- $B_n(\text{background})$  είναι το περιεχόμενο του εξεταζόμενου στοιχείου στο περιβάλλον αναφοράς
- $B_{ref}(\text{background})$  είναι το περιεχόμενο του στοιχείου αναφοράς στο περιβάλλον αναφοράς.

Η τιμή του παράγοντα ρύπανσης καθορίζει και την κατηγορία χαρακτηρισμού της περιοχής μελέτης. (Πίνακας 4)

Πίνακας 4 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη EF

EF	
Χαρακτηρισμός	
<2	Μη εμπλουτισμένο έως ελάχιστα εμπλουτισμός
2-5	Μέτριος εμπλουτισμός
5-20	Σημαντικός εμπλουτισμός
20-40	Αρκετά υψηλός εμπλουτισμός
>40	Εξαιρετικά υψηλός εμπλουτισμός

### 3.9.4 Geo-accumulation index (Igeo) - Δείκτης γεωσυσσώρευσης

Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης (Igeo) επιτρέπει την αξιολόγηση της ρύπανσης από τα δυνητικά τοξικά στοιχεία του εδάφους, σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των βασικών μετάλλων του εδάφους (επιφανειακά εδάφη) και στο γεωχημικό υπόβαθρο του μετάλλου ως επίπεδο αναφοράς.

Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης (Igeo) υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση που πρότεινε ο Müller. (1981)

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 * B_n} \right)$$

όπου

- $C_n$  είναι η συγκέντρωση του δυνητικά τοξικού στοιχείου (n)
- $B_n$  είναι η μέση συγκέντρωση του εξεταζόμενου δυνητικά τοξικού στοιχείου

Χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση Igeo που προτάθηκε από τον Müller (1981) για να καθορίσει το επίπεδο ρύπανσης:

Πίνακας 5 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη Igeo

0	$I_{geo} < 0$	Μη ρυπασμένα
1	$0 < I_{geo} < 1$	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
2	$1 < I_{geo} < 2$	Μετρίως ρυπασμένα
3	$2 < I_{geo} < 3$	Μέτρια έως πολύ ρυπασμένα
4	$3 < I_{geo} < 4$	Πολύ ρυπασμένα
5	$4 < I_{geo} < 5$	Πάρα πολύ ρυπασμένα
6	$5 < I_{geo}$	Εξαιρετικά ρυπασμένα

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Χημικές Αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων στη λεκάνη Σαριγκιόλ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων για τα 34 εδαφικά δείγματα την περιοχής μελέτης μας, ακόμα δίνονται και τα εξής στοιχεία:

- τα βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 6),
- η τιμή αναφοράς και η τιμή παρέμβασης όπως ορίζει η Ολλανδική λίστα (VROM, 2000),
- και η μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης (Mason and Moore, 1982) (Παράρτημα).

Τα στοιχεία του Πίνακα 6 εξετάζονται αναλυτικά καθώς είναι τα πιο σημαντικά για το γεωχημικό χαρακτηρισμό των δειγμάτων και τη διερεύνηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην περιοχή μελέτης.

Οι πλήρεις χημικές αναλύσεις για όλα τα στοιχεία ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Dy}$ ,  $\text{Er}$ ,  $\text{Eu}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Gd}$ ,  $\text{Hf}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Ho}$ ,  $\text{La}$ ,  $\text{Lu}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Nd}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Pr}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Sm}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Tb}$ ,  $\text{Th}$ ,  $\text{Tl}$ ,  $\text{Tm}$ ,  $\text{U}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Yb}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Zn}$ ) που αναλύθηκαν δίνονται στο παράρτημα.



Πίνακας 6 Χημικές αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων από την λεκάνη της Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.

Δείματα	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	MgO%	MnO%	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	P (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Zn (ppm)	
Θ3	41.3	10.3	6.09	13.1	6.25	0.15	9.7	0.8	40	590.00	39	549	654.63	17.00	0.42	102.00	
S31	40.9	9.95	7.41	10.15	8.22	0.16	24.4	0.8	54	650.00	40	648	1003.77	17.00	0.78	97.00	
S5	39.9	10.3	6.04	12.85	4.75	0.14	13.7	0.9	33	530.00	28	377	829.20	21.00	0.55	89.00	
Θ2	42	10.75	6.28	10.7	6.08	0.16	9.7	0.5	42	580.00	40	565	610.99	19.00	0.44	105.00	
S-RYA-ARD-1	41.18	10.08	7.80	10.37	9.59	0.17	24.9	0.3	59.5	656.83	37.2	540.5	1178.34	14.20	0.50	67.00	
S-RYA-3A	39.32	9.95	6.79	13.75	7.12	0.15	15.2	0.4	45.2	588.41	29.8	426.7	1047.41	14.50	0.30	57.00	
S3	38.29	9.19	4.78	17.3	2.97	0.07	8.2	0.3	30.9	697.89	23	352.3	523.71	12.10	0.20	43.00	
S4	30.54	9.13	4.27	21.45	2.86	0.07	3.8	0.4	21.8	321.57	27.9	216	1047.41	14.60	0.10	46.00	
S5	31.86	9.69	4.89	20.32	3.13	0.08	5.7	0.4	25.5	342.10	27	253.6	829.20	15.70	0.10	51.00	
S16	34.01	9.88	4.61	17.75	3.14	0.06	3.8	0.4	24.2	410.52	31.5	242.7	1221.98	15.90	0.10	49.00	
ALSILIO	31.8	8.3	5.43	18.5	7.78	0.11	21.3	<0.1	31	460.00	128	351	567.35	8.00	0.53	100.00	
KOKKIN	41.8	11.7	6.44	12.4	4.75	0.14	14.9	0.9	35	530.00	84	391	1134.69	26.00	0.43	127.00	
W12	42.1	11.25	6.47	11.2	6.33	0.16	9.8	0.7	44	600.00	118	580	610.99	18.00	0.34	131.00	
S3	44.8	12.75	6.18	9.18	3.81	0.12	12.4	0.8	31	430.00	179	311	1003.77	29.00	0.34	141.00	
S6	41.2	10.35	7.75	9.95	8.88	0.16	29.7	0.7	59	670.00	100	690	1221.98	15.00	0.70	123.00	
S7	34.9	9.59	4.39	17.3	3.24	0.07	4.9	<0.1	25	370.00	94	283	829.20	17.00	0.17	96.00	
S8	32.2	9.75	4.45	20.5	2.95	0.06	4.8	0.5	23	320.00	101	262	1047.41	17.00	0.18	105.00	
S14	47.8	13.95	6.87	5.62	5.33	0.15	19.2	0.6	35	420.00	114	337	829.20	21.00	0.44	132.00	
19SS2	48.5	13.35	6.44	5.76	3.57	0.14	9.8	0.8	33	540.00	54	327	1396.55	22.00	0.31	122.00	
19SS3	38.3	9.17	6.43	14.05	8.43	0.14	25.3	0.5	43	550.00	54	464	1091.05	12.00	0.54	85.00	
19SS4	33.8	9.75	5.31	11.85	6.43	0.1	19.3	0.7	29	380.00	52	332	960.13	14.00	0.51	91.00	
19SS5	43.9	11	6.42	11.2	6.5	0.15	9.5	0.6	44	620.00	68	576	654.63	17.00	0.33	116.00	
S2	39.66	10.56	6.55	15.1	5.64	0.13	21.3	0.4	34.7	547.36	128.8	340.9	960.13	22.50	0.30	107.00	
S4	43.62	11.33	6.8	10.7	8.1	0.15	12.5	0.6	44.7	752.62	71.7	554.6	1003.77	17.30	0.20	89.00	
S5	43.45	11.37	6.48	12.93	5.48	0.13	21.2	0.5	32.6	547.36	157.7	327	1309.26	16.30	0.20	114.00	
S10	39.75	9.28	6.75	14.89	8.7	0.15	23.6	0.3	38.8	547.36	129.6	339.2	1091.05	12.30	0.30	86.00	
S11	35.35	8.61	5.71	15.72	9.68	0.13	20.3	0.4	31.2	547.36	83.8	341.3	960.13	16.30	0.30	76.00	
S12	35.83	10.98	5.51	12.16	8.46	0.12	22.5	0.6	25.8	342.10	114.7	224.3	1047.41	19.60	0.30	95.00	
S13	42.46	11.73	6.75	11.41	7.31	0.16	21.6	0.5	37.2	478.94	71.1	313.6	829.20	17.80	0.20	87.00	
W23	42.27	11.44	5.7	14.98	3.5	0.13	9.8	0.6	26.8	547.36	42.7	222.9	960.13	18.00	0.10	77.00	
19SS1	35.18	10.52	4.71	18.59	3.1	0.06	4.4	0.4	22.5	342.10	53	217.7	1309.26	16.70	<0.1	65.00	
19SS6	51.59	14.55	6.94	5.6	4.05	0.14	8.9	0.6	32.2	478.94	47.4	295.5	960.13	19.30	<0.1	87.00	
19SS7	36.43	9.52	4.62	20.03	3.71	0.07	5.5	0.4	24.2	410.52	61.2	245.5	785.56	13.80	<0.1	60.00	
19SS8	40.09	9.44	5.37	16.78	5.82	0.12	8	0.5	31.9	547.36	52.5	381.5	1003.77	15.50	0.10	71.00	
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	39.59	10.57	5.98	13.65	5.75	39.59	14.11	0.56	35.02	510.20	73.05	378.79	956.28	17.13	0.33	90.85
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	51.59	14.55	7.80	21.45	9.68	51.59	29.70	0.90	59.50	752.62	179.00	690.00	1396.55	29.00	0.78	141.00
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	30.54	8.30	4.27	5.60	2.86	30.54	3.80	0.30	21.80	320.00	23.00	216.00	523.71	8.00	0.10	43.00
	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	40.00	10.30	6.23	13.02	5.73	40.00	12.45	0.50	32.80	543.68	57.60	340.05	981.95	17.00	0.30	90.00
	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4.98	1.45	0.98	4.25	2.19	4.98	7.58	0.18	9.90	115.69	41.19	133.20	221.07	4.01	0.18	26.47
	1 <sup>ο</sup> ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΟ	35.47	9.62	5.33	10.83	3.61	35.47	8.38	0.40	27.35	412.89	40.00	286.13	829.20	14.70	0.20	72.25
	3 <sup>ο</sup> ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΟ	42.23	11.31	6.70	17.17	7.66	42.23	21.28	0.70	41.50	586.31	100.75	454.68	1080.14	18.75	0.44	106.50
	ΠΛΗΘΟΣ	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	32.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	31.00	34.00



## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Εδαφικά δείγματα
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρρακη Δεσποίνα, 2022

Εικόνα 14 Χάρτης της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας, με τις 34 θέσεις δειγματοληψίας των εδαφικών δειγμάτων.

#### **Διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>):**

Οι περιεκτικότητες SiO<sub>2</sub>, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 30.54%-51.59% με μέση τιμή 39.59%. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες SiO<sub>2</sub> από τη μέση περιεκτικότητα (53.53%) του φλοιού της Γης (Yaroshevsky, 2006).

#### **Τριοξείδιο του αργιλίου (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):**

Οι περιεκτικότητες Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 8.30-14.55% με μέση τιμή 10.57%. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> από τη μέση περιεκτικότητα (15.87%) του φλοιού της Γης (Yaroshevsky, 2006).

#### **Τριοξείδιο του σιδήρου (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):**

Οι περιεκτικότητες Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 4.27-7.80% με μέση τιμή 5.98%. Όλα τα δείγματα έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> από τη μέση περιεκτικότητα (1.11%) του φλοιού της Γης (Yaroshevsky, 2006). Το εδαφικό δείγμα με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα καταγράφηκε σε καλλιεργήσιμη έκταση στην περιοχή του Ρυακίου.

Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της περιεκτικότητας του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> για τα δείγματα της περιοχής μελέτης.

#### **Οξείδιο του ασβεστίου (CaO):**

Οι περιεκτικότητες CaO, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 5.6-21.45% με μέση τιμή 13.65%. Τα δείγματα έχουν στην πλειονότητα (88%) τους μεγαλύτερες περιεκτικότητες CaO από τη μέση περιεκτικότητα (9.41%) του φλοιού της Γης (Yaroshevsky, 2006). Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες CaO καταγράφονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της περιεκτικότητας του CaO για τα δείγματα της περιοχής μελέτης.

#### **Οξείδιο του μαγνησίου (MgO):**

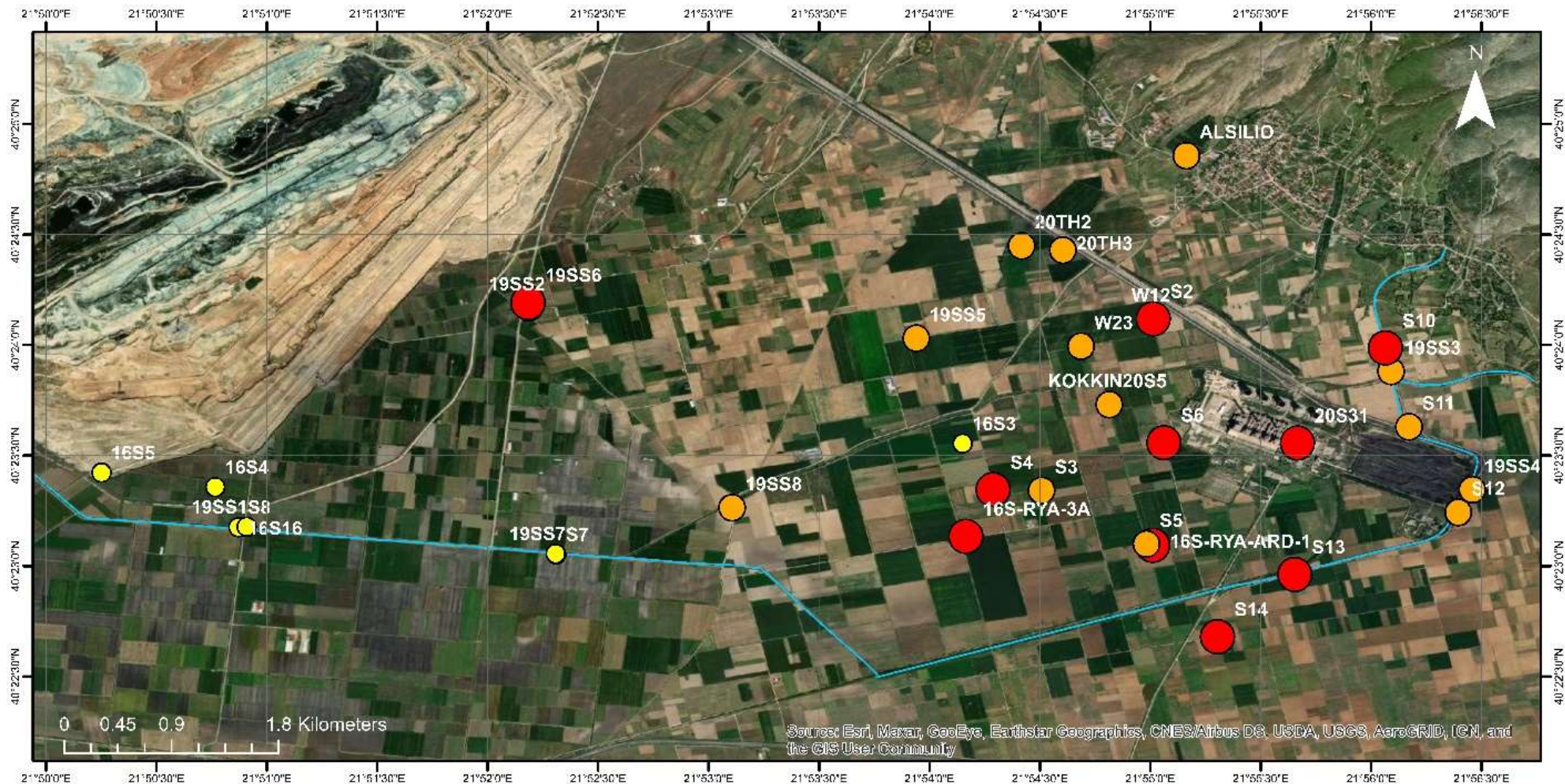
Οι περιεκτικότητες MgO, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 2.86-9.68% με μέση τιμή 5.57%. Τα δείγματα έχουν στην πλειονότητα (55%) τους μεγαλύτερες περιεκτικότητες MgO από τη μέση περιεκτικότητα (5.44%) του φλοιού της Γης (Yaroshevsky, 2006). Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες MgO καταγράφονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, περιμετρικά του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, όπου βρίσκεται και η πλειονότητα των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και ΝΝΔ του όρους Βερμίου.

Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της περιεκτικότητας του MgO για τα δείγματα της περιοχής μελέτης.

**Οξείδιο του μαγγανίου (MnO):**

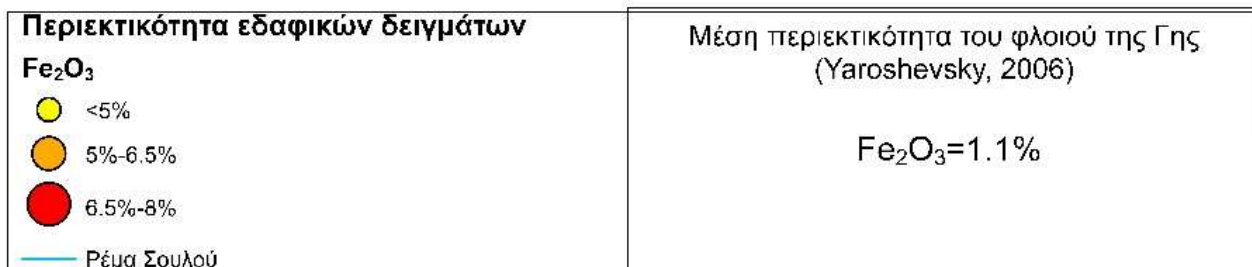
οι περιεκτικότητες MnO, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.06-0.17% με μέση τιμή 0.12%. Όλα τα δείγματα, εκτός από ένα (S-RYA-ARD-1), έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες MnO από τη μέση περιεκτικότητα (0.16%) του φλοιού της Γης (Yaroshovsky, 2006).





### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

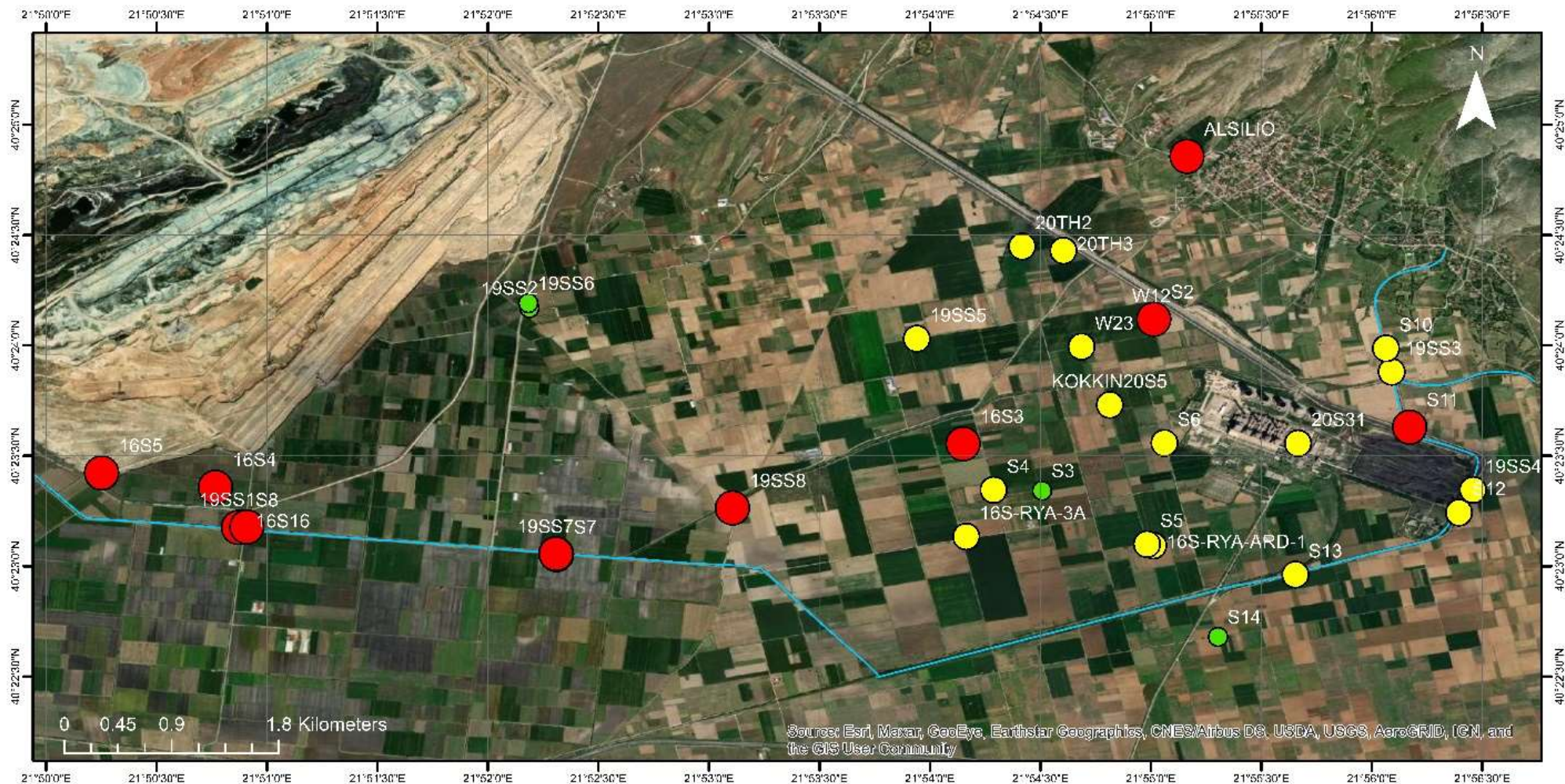
### ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ



Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 15 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του τριοξειδίου του σιδήρου (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

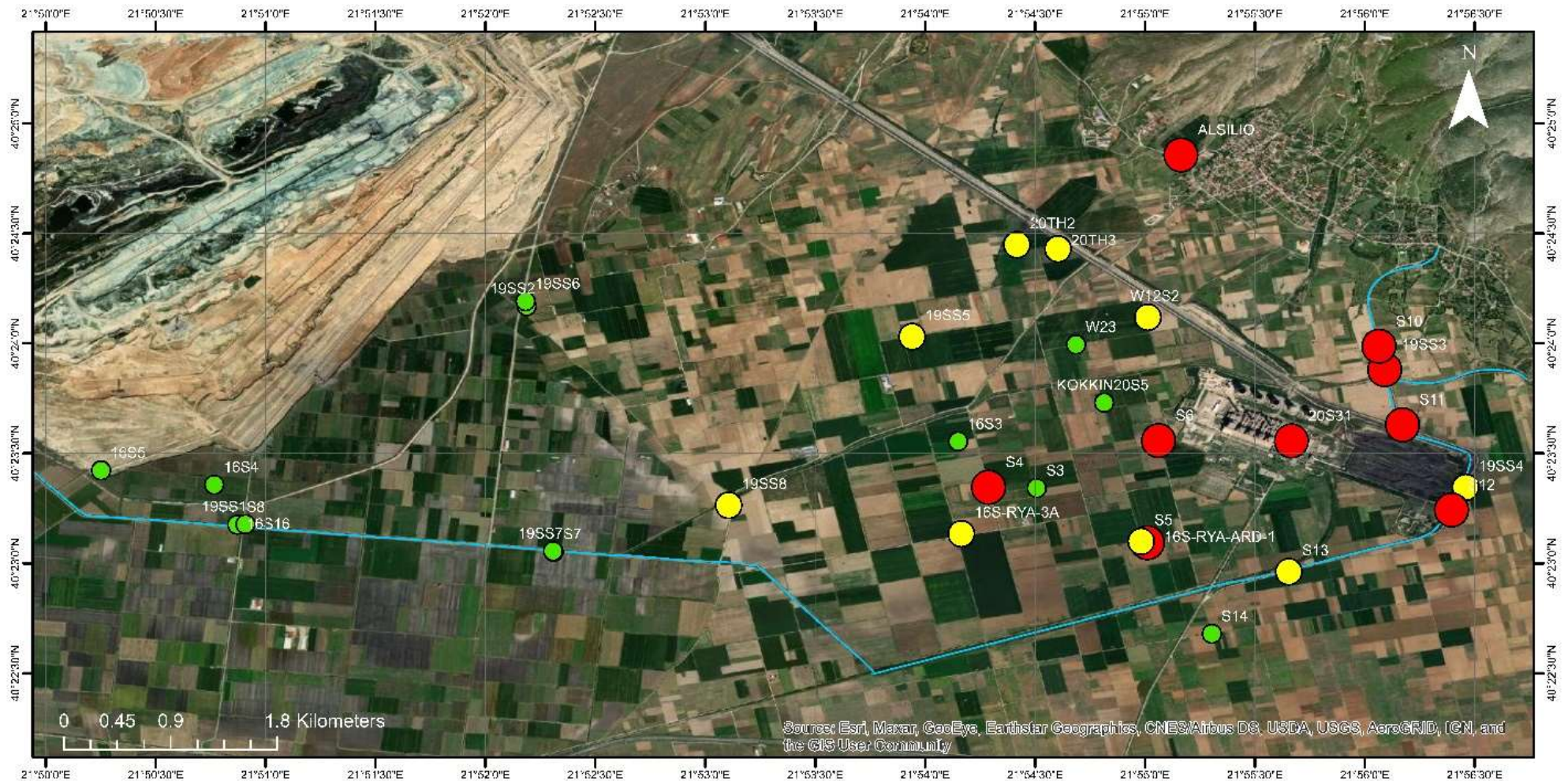
**ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ**

<p><b>Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων</b></p> <p><b>CaO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">●</span> &lt;9.41%</li> <li><span style="color: yellow;">●</span> 9.41% - 15%</li> <li><span style="color: red;">●</span> 15% - 22%</li> </ul> <p><span style="color: blue;">—</span> Ρέμα Σουλού</p>	<p>Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης (Yaroshevsky, 2006)</p> <p style="text-align: center;"><b>CaO=9.41%</b></p>
--	---

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 16 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του οξειδίου του ασβεστίου (CaO) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

### ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

#### Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων

#### MgO

- <5.44%
- 5.44% - 7.5%
- 7.5% - 10%

— Ρέμα Σουλού

Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης  
(Yaroshevsky, 2006)

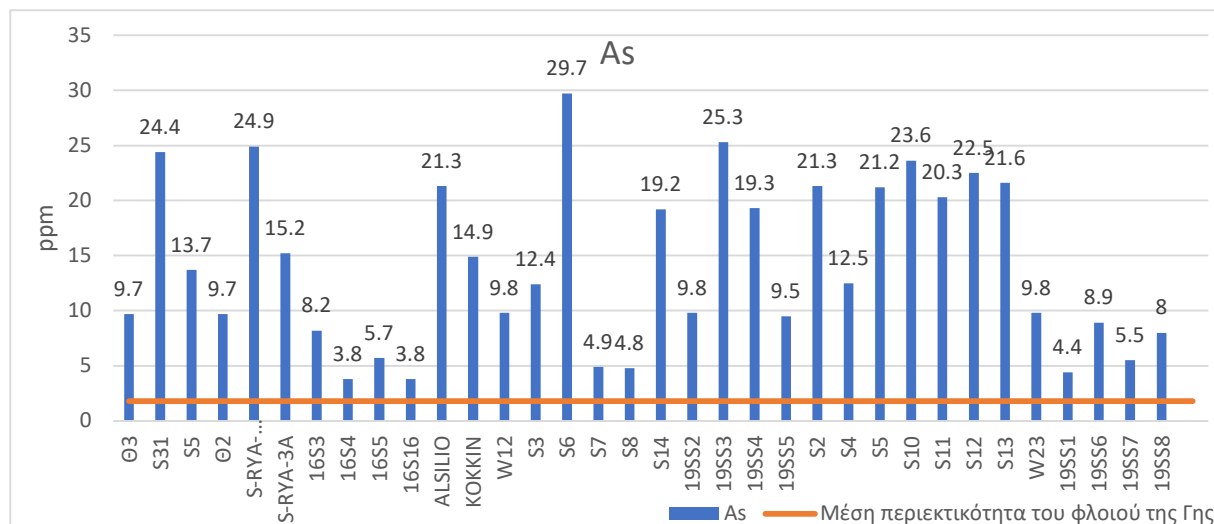
MgO=5.44%

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 17 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του οξειδίου του μαγγανίου (MgO) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.

### Αρσενικό (As):

Οι περιεκτικότητες As, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 3.8 ppm- 29.7 ppm με μέση τιμή 14.1 ppm και διάμεσο 12.4 ppm (Εικόνα 18 και Διάγραμμα 3). Όλα τα δείγματα έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες As από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 1.8 ppm, (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες As των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς (29 ppm) και την τιμή παρέμβασης (55 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000).

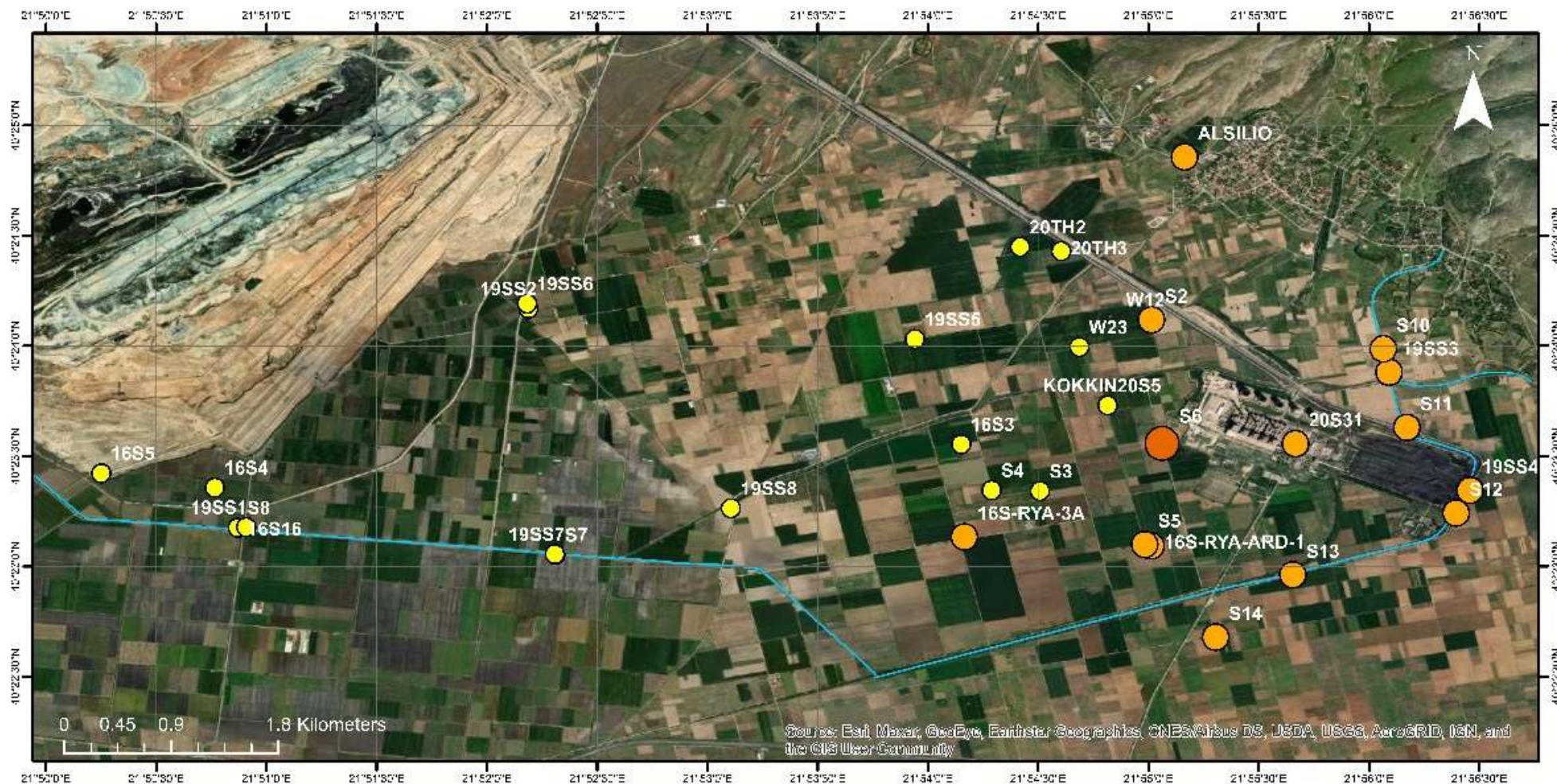


Διάγραμμα 3 Περιεκτικότητα Αρσενικού (As) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.

### Κάδμιο (Cd)

Οι περιεκτικότητες Cd, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.3 ppm- 0.9 ppm με μέση τιμή 0.6 ppm και διάμεσο 0.5 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Cd από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 0.2 ppm, (Mason and Moore, 1982), εκτός από τα δείγματα ALSILIO και S7 τα οποία είχαν περιεκτικότητα Cd μικρότερη από το όριο ανιχνευσιμότητας (0.1 ppm) (Εικόνα 19). Όλες οι περιεκτικότητες Cd των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή παρέμβασης (12 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000), και οι πλειονότητα των περιεκτικοτήτων είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς (0.8 ppm).





### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

#### Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων

#### As

- 3.5 ppm - 15 ppm
- 15 ppm - 29 ppm
- 29 ppm - 55 ppm

— Ρέμα Σουλού

### ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης  
(Mason and Moore, 1982)

As=1.8 ppm

Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)

As: 55 ppm

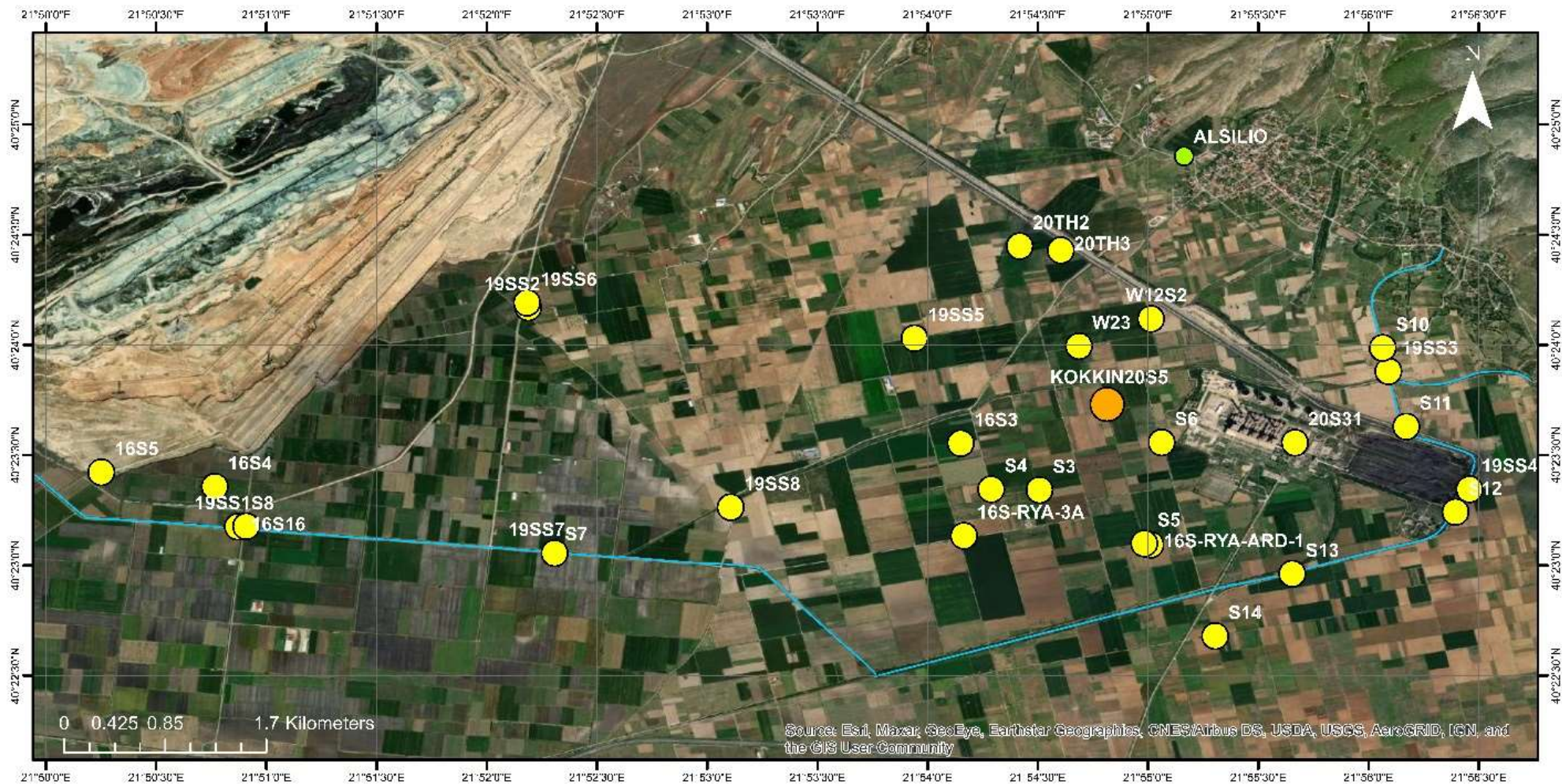
Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)

As: 29 ppm

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 18 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Αρσενικού (As) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

<b>Cd</b> <math><0.2\text{ ppm}</math> <math>0.2\text{ ppm} - 0.8\text{ ppm}</math> <math>0.8\text{ ppm} - 1\text{ ppm}</math> Ρέμα Σουλού	Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης (Mason and Moore, 1982)  <b>Cd= 0.2 ppm</b>	Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Cd: 12 ppm</b>
		Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Cd: 0.8 ppm</b>

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

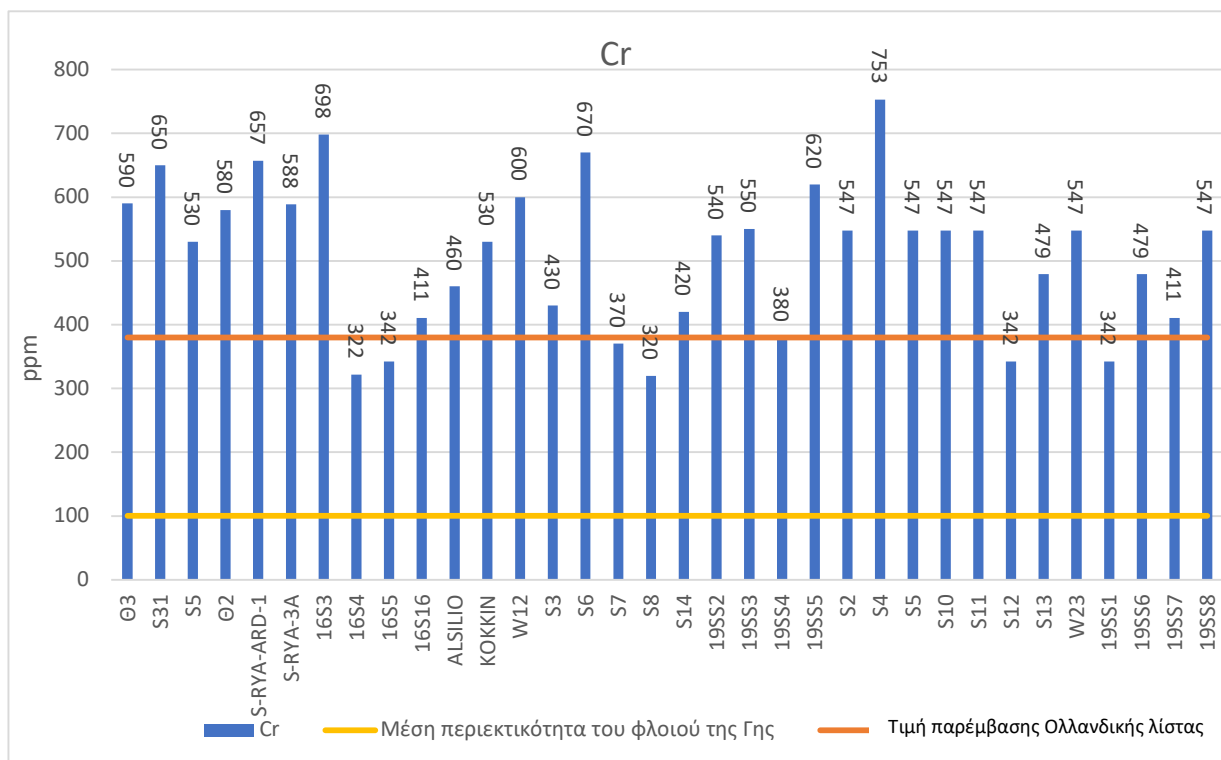
Εικόνα 19 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Cd στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.

### Κοβάλτιο (Co):

Οι περιεκτικότητες Co, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 21.8 ppm- 59.5 ppm με μέση τιμή 35.02 ppm και διάμεσο 32.8 ppm (Εικόνα 20). Τα δείγματα έχουν στην πλειονότητα (71%) τους μεγαλύτερες περιεκτικότητες Co από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 25 ppm, (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Co των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από τιμή παρέμβασης (240 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Παρόλα αυτά όλα τα δείγματα ξεπερνούν την τιμή αναφοράς (9 ppm) για την περιεκτικότητα του Co στα εδάφη.

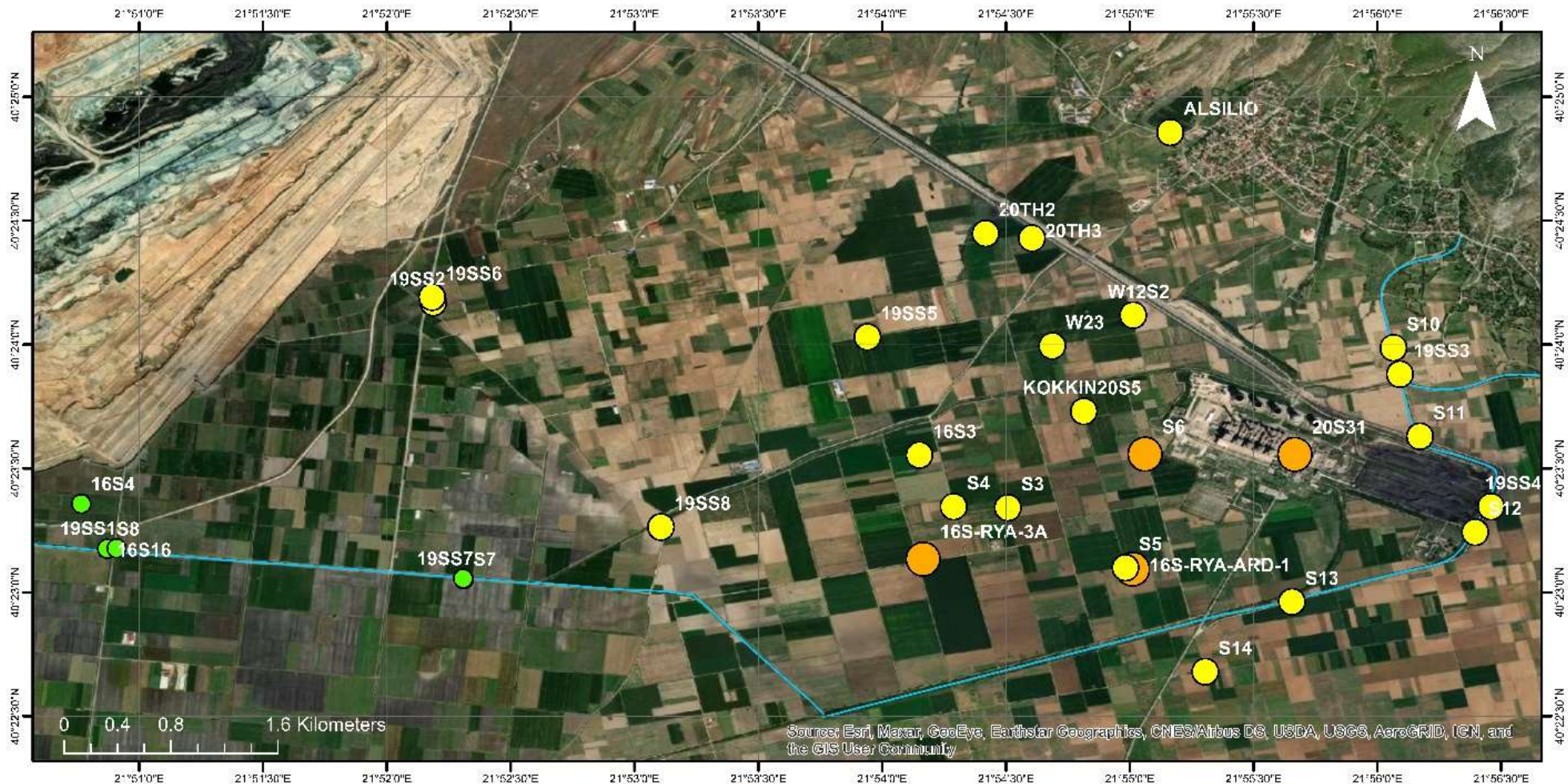
### Χρώμιο (Cr):

Οι περιεκτικότητες Cr, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 320 ppm-752 ppm με μέση τιμή 510 ppm και διάμεσο 544 ppm (Εικόνα 21 και Διάγραμμα 4). Όλα τα δείγματα έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Cr από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 100 ppm, (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Cr των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι υψηλότερες από την τιμή αναφοράς (100 ppm) και η πλειονότητα, δηλαδή τα 28 από τα 34 δείγματα, των τιμών είναι υψηλότερη και από την τιμή παρέμβασης (380 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Τα δείγματα που είναι υψηλότερα από την τιμή παρέμβασης είναι τα εξής: Θ3, S31, S5, Θ2, S-RYA-ARD-1, S-RYA-3A 16, S3, 16S16, ALSILIO, KOKKIN, W12, S3, S6, S14, 19SS2, 19SS3, 19SS4, 19SS5, S2, S4, S5, S10, S11, S13, W23, 19SS6, 19SS7, 19SS8. Οι χαμηλότερες περιεκτικότητες καταγράφονται κοντά στο ρέμα Σουλού στα δυτικά.



Διάγραμμα 4 Περιεκτικότητα χρωμίου (Cr) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

#### Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων

Co

- <25ppm
- 26ppm - 45ppm
- 45 ppm – 60 ppm

— Ρέμα Σουλού

Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης  
(Mason and Moore, 1982)

Co=25 ppm

Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)  
Co: 240 ppm

Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)  
Co: 9 ppm

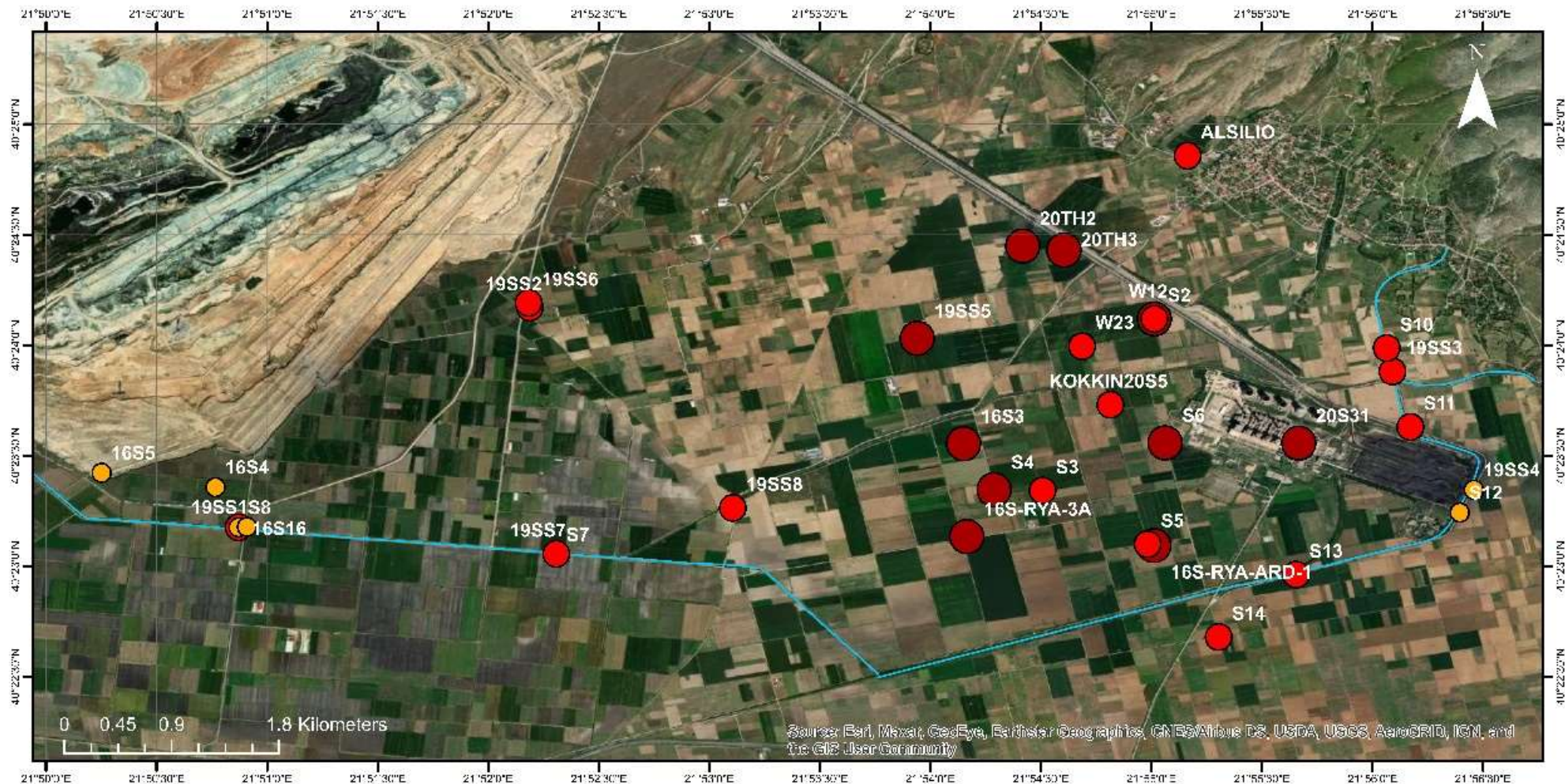
Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Δ. Ψαρράκη

Αθήνα, 2022

Εικόνα 20 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Co στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

#### Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων

- Cr**
- <380ppm
  - 381ppm - 560ppm
  - 560 ppm – 753 ppm
  - Ρέμα Σουλού

Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης  
(Mason and Moore, 1982)

Cr=100 ppm

Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)  
Cr=380 ppm

Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)  
Cr=100 ppm

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Φαρράκη Δέσποινα, 2022

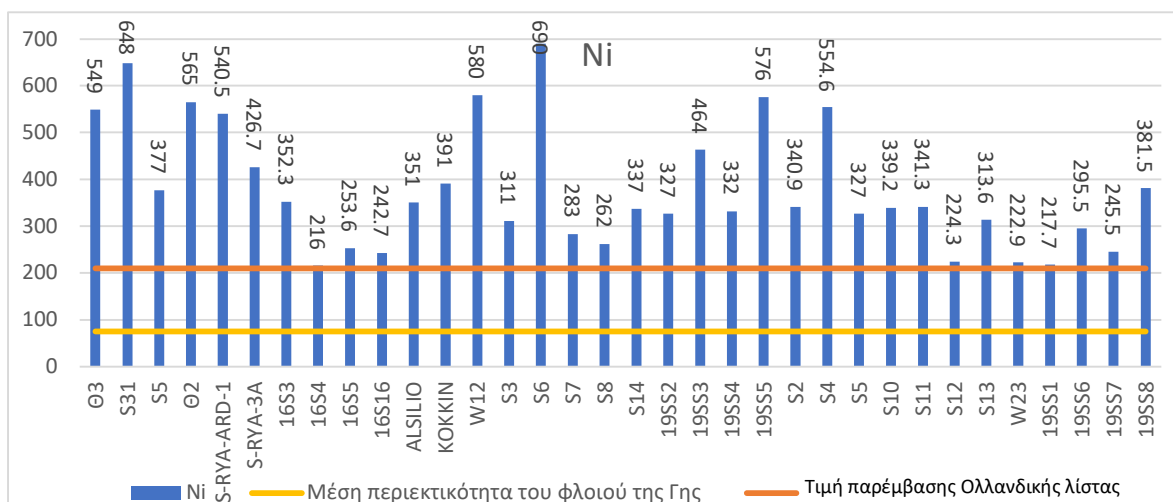
Εικόνα 21 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Cr στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.

### Χαλκός (Cu):

Οι περιεκτικότητες Cu, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 23 ppm- 179 ppm με μέση τιμή 73 ppm και διάμεσο 57.06 ppm (Εικόνα 22). Από τα 34 δείγματα, τα 17 έχουν μεγαλύτερες περιεκτικότητες Cu από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 55 ppm, (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Cu των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από τιμή παρέμβασης (190 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Ακόμα 28 από τα 34 δείγματα ξεπερνούν την τιμή αναφοράς ( 36 ppm) για την συγκέντρωση του Cu στα εδάφη.

### Νικέλιο (Ni):

Οι περιεκτικότητες Ni, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 216 ppm-690 ppm με μέση τιμή 378,8 ppm και διάμεσο 340 ppm (Εικόνα 23 και Διάγραμμα 5). Όλα τα δείγματα έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Ni από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 75 ppm, (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Ni των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι υψηλότερες από την τιμή αναφοράς (35 ppm) και την τιμή παρέμβασης (210 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Οι χαμηλότερες περιεκτικότητες παρατηρούνται στα ανατολικά της περιοχής μελέτης.

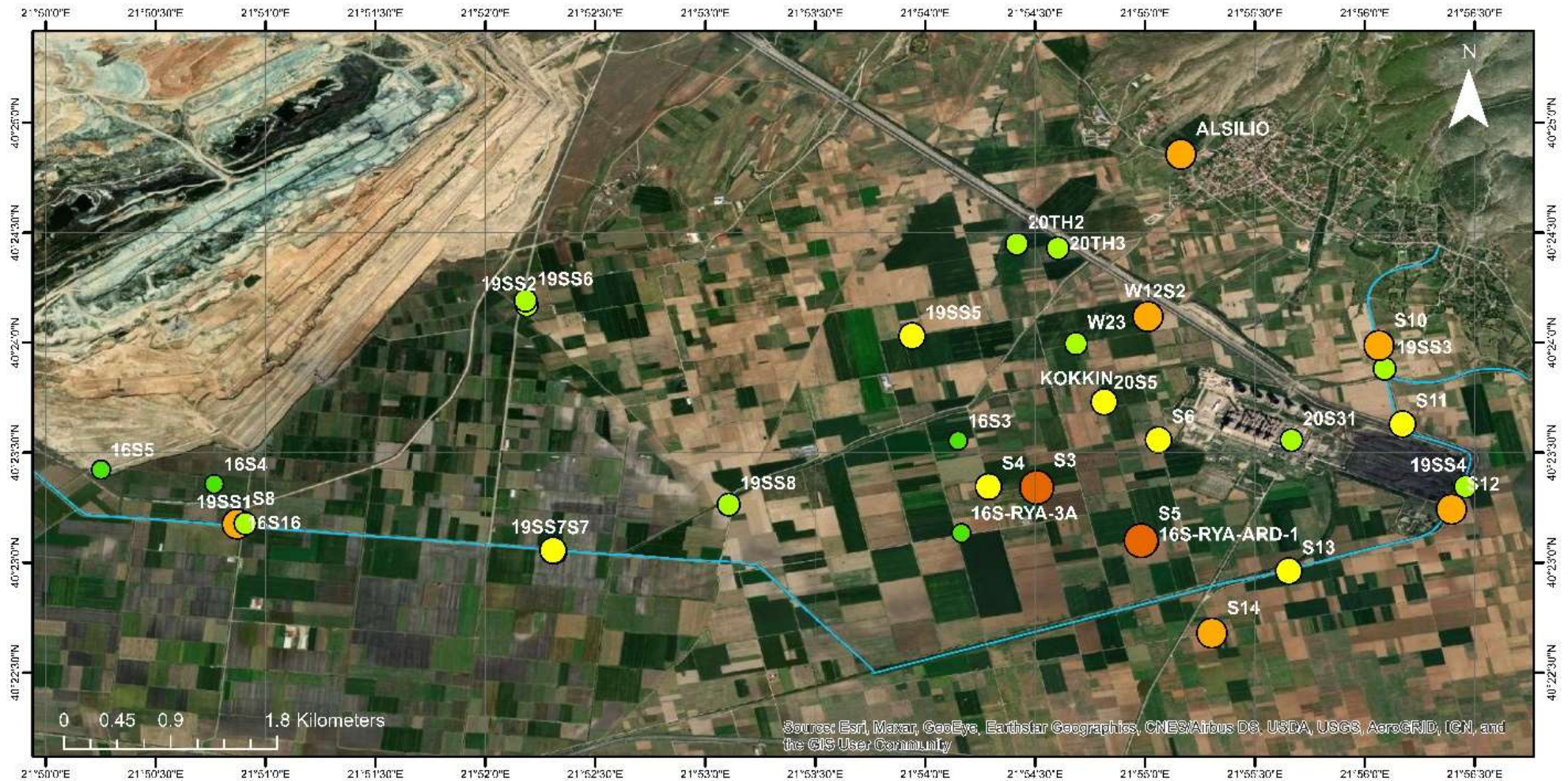


Διάγραμμα 5 Περιεκτικότητα νικελίου (Ni) στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.

### Φωσφόρος (P)

Οι περιεκτικότητες P, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 524 ppm- 1397 ppm με μέση τιμή 956 ppm και διάμεσο 981 ppm (Εικόνα 24). Από τα 34 δείγματα, τα 9 έχουν μεγαλύτερες περιεκτικότητες P από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 1050 ppm, (Mason and Moore, 1982).





## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

#### ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Cu

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| ● 23 ppm - 36 ppm  | ● 101 ppm - 150 ppm |
| ● 37 ppm - 55 ppm  | ● 151 ppm - 180 ppm |
| ● 56 ppm - 100 ppm | — Ρέμα Σουλού       |

Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης  
(Mason and Moore, 1982)

Cu=55 ppm

Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)

Cu: 190 ppm

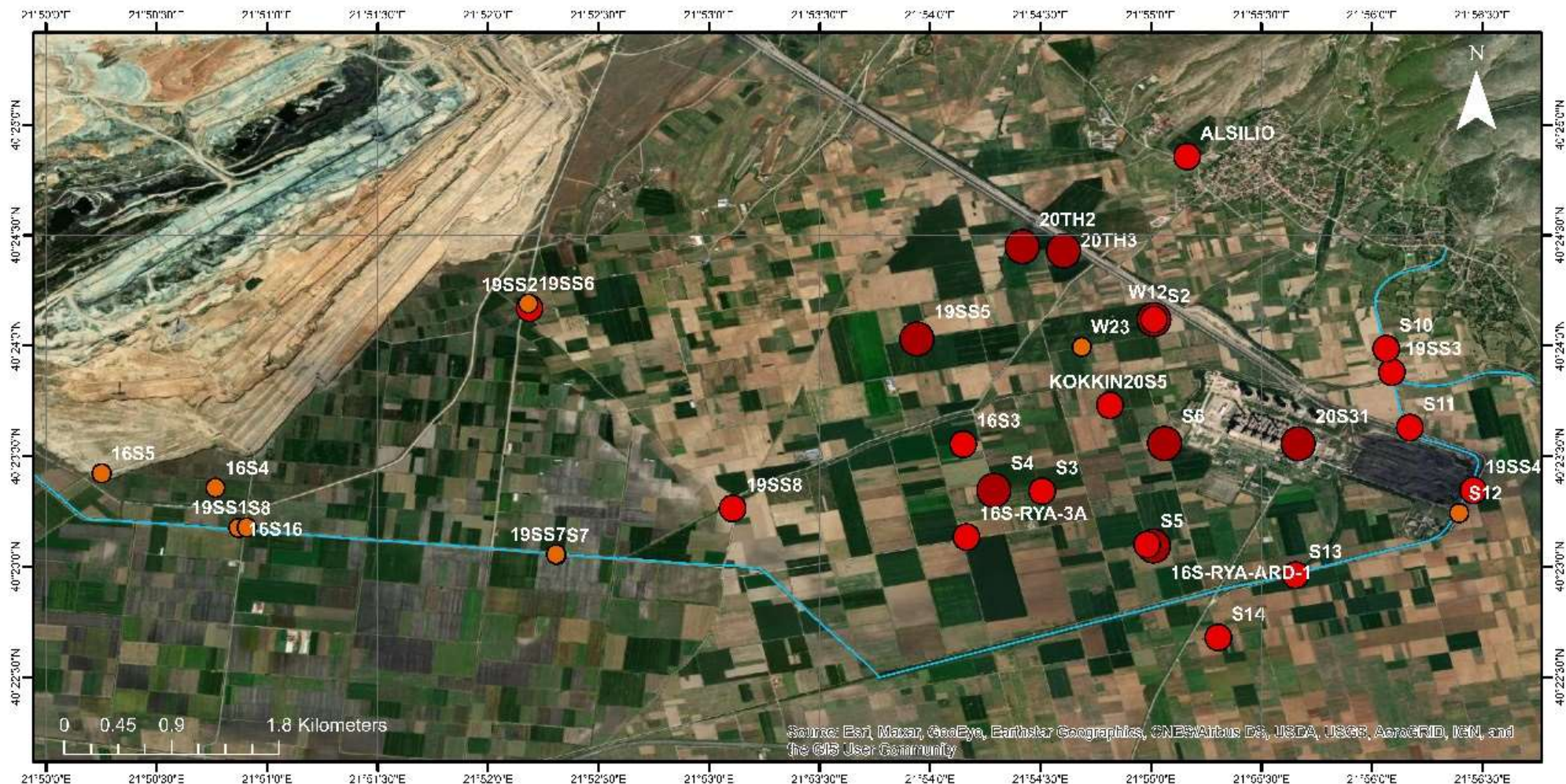
Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας  
(VROM, 2000)

Cu: 36 ppm

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 22 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Cu στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

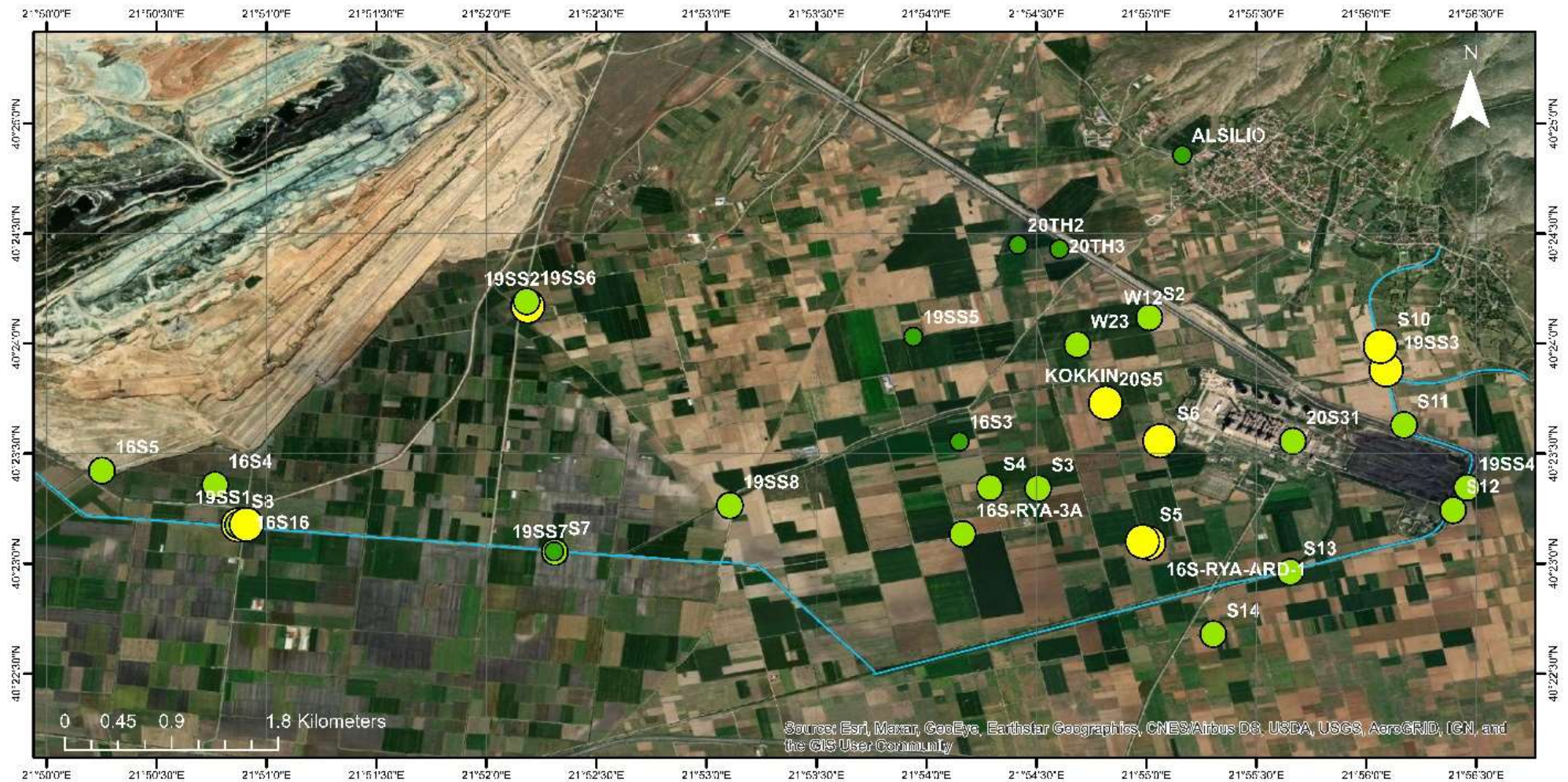
## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

<p><b>Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων</b></p> <p><b>Ni</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: orange;">●</span> &lt;math&gt;&lt; 300 \text{ ppm}&lt;/math&gt;</li> <li><span style="color: red;">●</span> &lt;math&gt;300 \text{ ppm} - 500 \text{ ppm}&lt;/math&gt;</li> <li><span style="color: darkred;">●</span> &lt;math&gt;&lt; 700 \text{ ppm}&lt;/math&gt;</li> </ul> <p>— Ρέμα Σουλού</p>	<p>Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης (Mason and Moore, 1982)</p> <p style="text-align: center;"><b>Ni=75 ppm</b></p>	<p>Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000)</p> <p style="text-align: center;"><b>Ni: 210 ppm</b></p> <p>Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000)</p> <p style="text-align: center;"><b>Ni: 35 ppm</b></p>
--	---	--

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 23 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Ni στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ**

**Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων**

**P**

- 500 ppm - 800 ppm
- 800 ppm - 1050 ppm
- 1050 ppm - 1400 ppm

— Ρέμα Σουιού

Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης  
(Mason and Moore, 1982)

P= 1050 ppm

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 24 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας P στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.

### **Μόλυβδος (Pb):**

Οι περιεκτικότητες Pb, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 8 ppm-29 ppm με μέση τιμή 17.12 ppm και διάμεσο 17 ppm (Εικόνα 25). Η πλειονότητα (88%) των δειγμάτων έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Pb από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 13 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Pb των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς (58 ppm) και την τιμή παρέμβασης (530 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Μεγαλύτερες περιεκτικότητες καταγράφονται στα εδαφικά δείγματα καλλιεργήσιμων εκτάσεων κεντρικά και ανατολικά της περιοχής μελέτης .

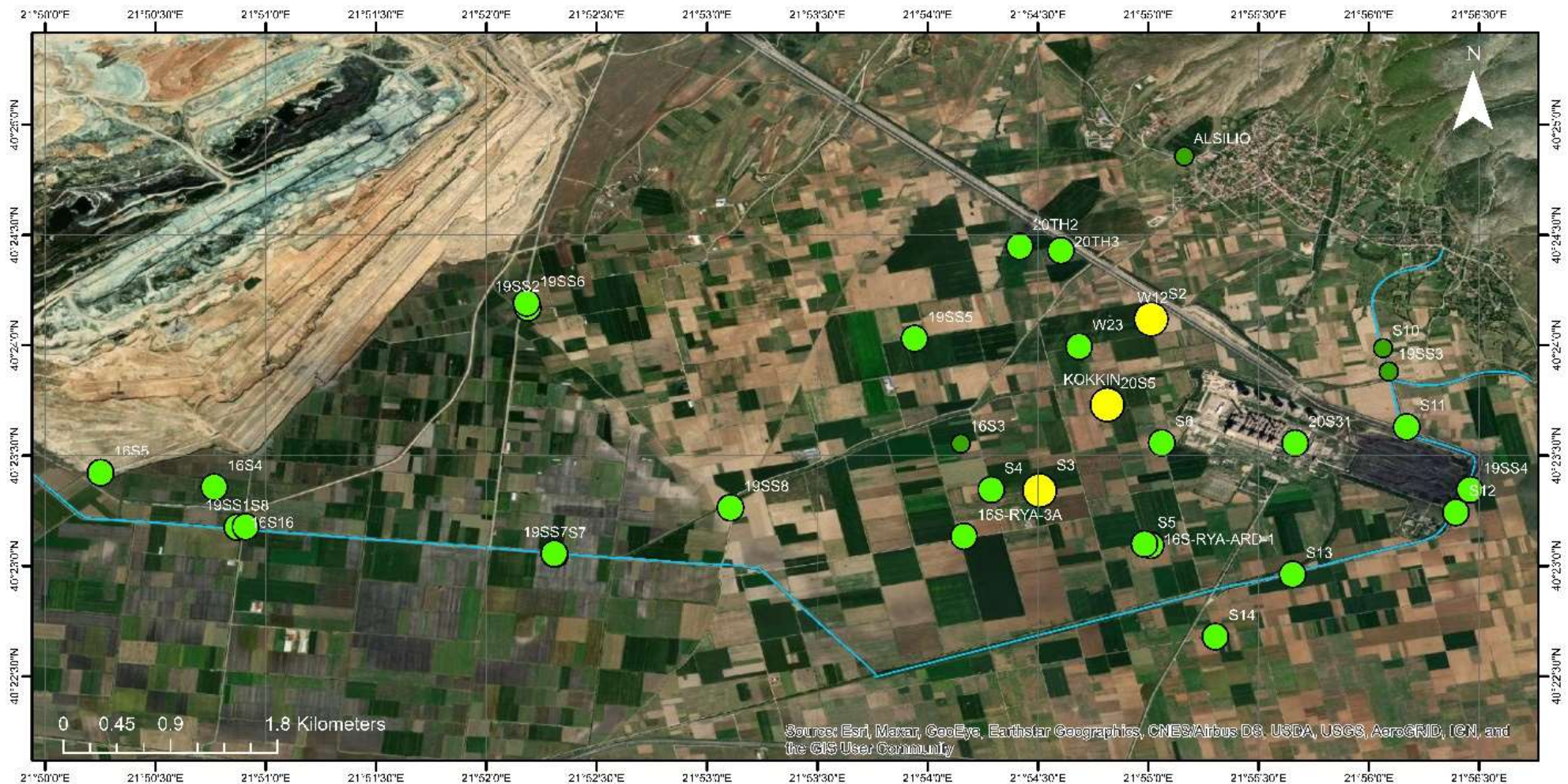
### **Ψευδάργυρος (Zn):**

Οι περιεκτικότητες Zn, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 43 ppm-141 ppm με μέση τιμή 90.85 ppm και διάμεσο 90 ppm (Εικόνα 26). Η πλειονότητα (76%) των δειγμάτων έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Zn από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 70 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Zn των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή παρέμβασης (720 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Ακόμα μόνο το δείγμα S3 ξεπερνά την τιμή αναφοράς (140 ppm) για την συγκέντρωση του Zn στα εδάφη.

### **Αντιμόνιο (Sb):**

Οι περιεκτικότητες Sb, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.1 ppm-0.78 ppm με μέση τιμή 0.33 ppm και διάμεσο 0.3 ppm (Εικόνα 27). Η πλειονότητα των δειγμάτων έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες Sb από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 0.2 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Sb (71%) των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς (3 ppm) και την τιμή παρέμβασης (15 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Μεγαλύτερες περιεκτικότητες καταγράφονται στα εδαφικά δείγματα καλλιεργήσιμων εκτάσεων ανατολικά της περιοχής μελέτης .





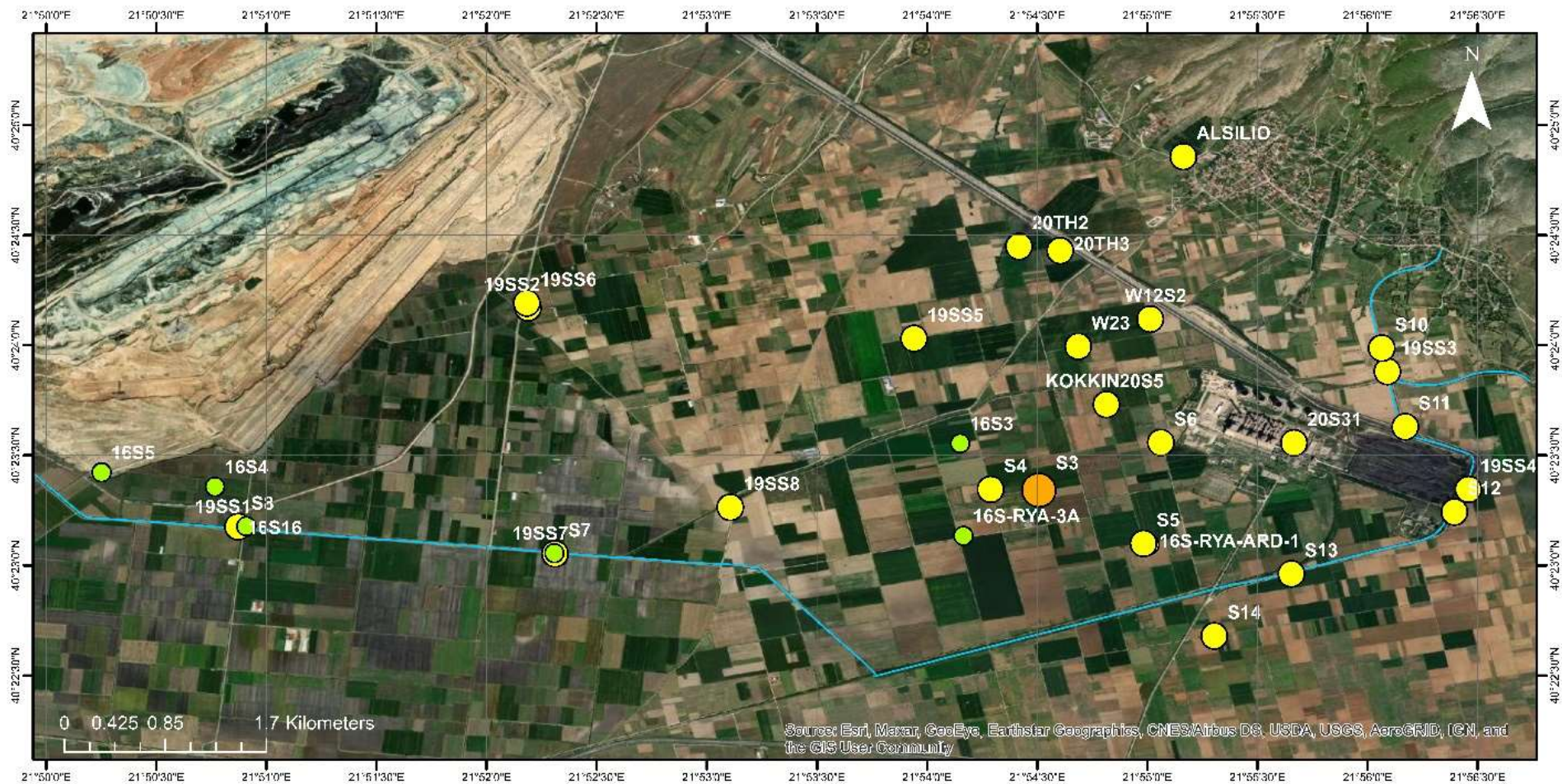
### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

<b>Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων</b> <b>Pb</b> <math>< 13 \text{ ppm}</math> <math>14 \text{ ppm} - 22 \text{ ppm}</math> <math>23 \text{ ppm} - 30 \text{ ppm}</math> Ρέμα Σουλού	Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης (Mason and Moore, 1982)  <b>Pb= 13 ppm</b>	Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Pb: 530 ppm</b>
		Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Pb: 58 ppm</b>

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022





### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

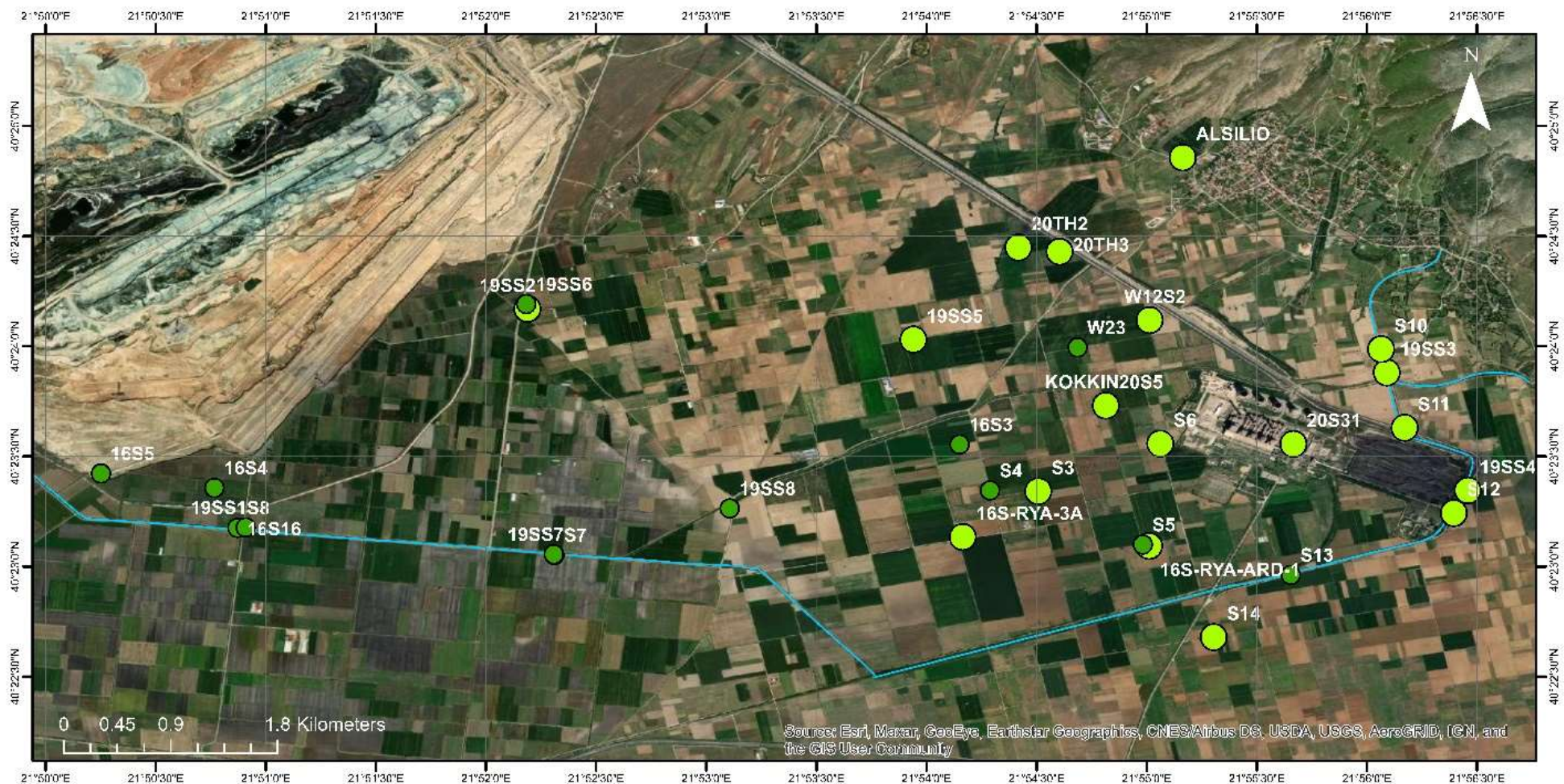
### ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

<b>Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων</b> <b>Zn</b> 43 ppm - 70 ppm 71 ppm - 140 ppm 141 ppm - 150 ppm Ρέμα Σουλού	Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης (Mason and Moore, 1982)  <b>Zn= 70 ppm</b>	Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Zn: 720 ppm</b>
		Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Zn: 140 ppm</b>

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022




Εικόνα 26 Χάρτης χωρικής κατανομής περιεκτικότητας του Zn στα εδαφικά δείγματα της λεκάνης Σαριγκιόλ.





## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

<b>Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων Sb</b>  0.1 ppm - 0.2 ppm  0.2 ppm - 0.8 ppm  Ρέμα Σουλού	Μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης (Mason and Moore, 1982)  <b>Sb= 0.2</b>	Τιμή παρέμβασης Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Sb: 15 ppm</b>
		Τιμή αναφοράς Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) <b>Sb: 3 ppm</b>

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

**Βανάδιο (V):**

Οι περιεκτικότητες V, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 56 ppm-124 ppm με μέση τιμή 95.79 ppm και διάμεσο 98.5 ppm. Η πλειονότητα των δειγμάτων έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες V από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 135 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες V των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή παρέμβασης (250 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000).

**Βάριο (Ba):**

Οι περιεκτικότητες Ba, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα από 196 ppm-386 ppm με μέση τιμή 280.14 ppm και διάμεσο 278 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Ba από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 425 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Ba των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή παρέμβασης (625 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000).

**Υδράργυρος (Hg):**

Οι περιεκτικότητες Hg, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.01 ppm-0.05 ppm με μέση τιμή 0.019 ppm και διάμεσο 0.02 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Hg από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 0.08 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Hg των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς (0.3 ppm) και την τιμή παρέμβασης (10 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000).

**Μολυβδαίνιο (Mo):**

Οι περιεκτικότητες Mo, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.1 ppm-2 ppm με μέση τιμή 0.69 ppm και διάμεσο 0.3 ppm. Η πλειονότητα (97%) των δειγμάτων έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Mo από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 1.5 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Mo των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς (3 ppm) και την τιμή παρέμβασης (200 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000).

**Στρόντιο (Sr):**

Οι περιεκτικότητες Sr, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 70.6 ppm- 203.2 ppm με μέση τιμή 121.87 ppm και διάμεσο 115.85 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Sr από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 375 ppm, (Mason and Moore, 1982).

**Θάλιο (Tl):**

Οι περιεκτικότητες Tl, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.1 ppm-0.4 ppm με μέση τιμή 0.2 ppm και διάμεσο 0.2 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Tl από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 0.5 ppm. (Mason and Moore, 1982). Όλες οι περιεκτικότητες Tl των εδαφικών δειγμάτων στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς (1 ppm) και την τιμή παρέμβασης (15 ppm) της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000).

**Ουράνιο (U):**

Οι περιεκτικότητες U, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 1.3 ppm-5.6 ppm με μέση τιμή 2.12 ppm και διάμεσο 2 ppm. Η πλειονότητα των δειγμάτων, 25 από τα 34, έχουν υψηλότερες περιεκτικότητες U από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 1.8 ppm. (Mason and Moore, 1982).

**Ύτριο (Y):**

Οι περιεκτικότητες Y, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 18.6 ppm- 30.5 ppm με μέση τιμή 22.73 ppm και διάμεσο 21.45 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Y από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 33 ppm, (Mason and Moore, 1982).

**Υπτέριβιο (Yb)**

Οι περιεκτικότητες Yb, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 1.64 ppm- 2.93 ppm με μέση τιμή 2.09 ppm και διάμεσο 2.06 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Yb από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 3.4 ppm, (Mason and Moore, 1982).

**Θούλιο (Tm):**

Οι περιεκτικότητες Tm, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.25 ppm-0.43 ppm με μέση τιμή 0.31 ppm και διάμεσο 0.3 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Tm από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 0.5 ppm, (Mason and Moore, 1982).

**Ταντάλιο (Ta):**

Οι περιεκτικότητες Ta, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.2 ppm- 1.1 ppm με μέση τιμή 0.71 ppm και διάμεσο 0.75 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Ta από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 2 ppm, (Mason and Moore, 1982).

**Νιόβιο (Nb):**

Οι περιεκτικότητες Nb, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 7.6 ppm- 16.4 ppm με μέση τιμή 12.31 ppm και διάμεσο 11.7 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Nb από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 20 ppm, (Mason and Moore, 1982).

**Λουτήτιο (Lu):**

Οι περιεκτικότητες Lu, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.25 ppm- 0.45 ppm με μέση τιμή 0.31 ppm και διάμεσο 0.3 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Lu από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 0.5 ppm, (Mason and Moore, 1982).

**Όλμιο (Ho):**

Οι περιεκτικότητες Ho, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα μεταξύ 0.61 ppm- 1.07 ppm με μέση τιμή 0.78 ppm και διάμεσο 0.78 ppm. Όλα τα δείγματα έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες Ho από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, δηλαδή 1.2 ppm, (Mason and Moore, 1982).

Οι περιεκτικότητες των στοιχείων Βισμούθιο (Bi), Ζιρκόνιο (Zr), Βολφράμιο (W), Τέρβιο (Tb), Θόριο (Th), Σαμάριο (Sm), Ρουβίδιο(Rb), Πρασινοδύμιο (Pr), Νεοδύμιο (Nd), Λανθάνιο (La), Έρβιο (Er), Ευρώπιο (Eu), Γάλλιο (Ga), Γαδολίνιο (Gd), Δημήτριο (Ce) έχουν κατά πλειονότητα χαμηλότερες περιεκτικότητες από τη

μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, (Mason and Moore, 1982). Τα στατιστικά στοιχεία των στοιχείων αυτών και η μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, (Mason and Moore, 1982), υπάρχουν στο Παράρτημα.

Οι περιεκτικότητες των στοιχείων Άφνιο (Hf), Καίσιο (Cs), Δυσπρόσιο (Dy) έχουν κατά πλειονότητα υψηλότερες περιεκτικότητες από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, (Mason and Moore, 1982). Τα στατιστικά στοιχεία των στοιχείων αυτών και η μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, (Mason and Moore, 1982), υπάρχουν στο Παράρτημα.

### **Σπάνιες Γαίες**

Σπάνιες Γαίες καλούνται στη Χημεία τα μέταλλα (χημικά στοιχεία) τα οξείδια των οποίων είναι γαιώδους μορφής και πήραν την ονομασία τους λόγω της σπανιότητάς τους. Τα στοιχεία που χαρακτηρίζονται ως σπάνιες γαίες είναι τα εξής: Υπτέρβιο (Yb), Λουτήτιο (Lu), Καίσιο (Cs), Δυσπρόσιο (Dy), Τέρβιο (Tb), Δημήτριο (Ce), Όλμιο (Ho), Θούλιο (Tm), Έρβιο (Er), Ευρώπιο (Eu), Ύτριο (Y) Πρασινοδύμιο (Pr), Νεοδύμιο (Nd), Λανθάνιο (La). Οι περιεκτικότητες των στοιχείων αυτών ήταν κατά πλειονότητα μικρότερες από τη μέση περιεκτικότητα του φλοιού της Γης, (Mason and Moore, 1982).



#### 4.2 Συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman και Pearson

Στους πίνακες 8 και 9 παρατίθενται οι συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson και Spearman όπως υπολογίστηκαν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS22, για το σύνολο των εδαφικών δειγμάτων.

Οι συσχετίσεις είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01.

Ο συντελεστή συσχέτισης κατά Spearman χρησιμοποιήθηκε στην αξιολόγηση της συσχέτισης των στοιχείων των εδαφικών δειγμάτων. Η συσχέτιση μεταξύ δύο παραμέτρων προσδιορίστηκε μέσω ανάλυσης συσχέτισης που περιλαμβάνει ακραίες τιμές δεδομένων λόγω του περιορισμένου αριθμού δειγμάτων. Ωστόσο, η χρήση του μη παραμετρικού ισχυρού συντελεστή συσχέτισης κατά Spearman ( $r$ ) μείωσε την πιθανή επιρροή των ακραίων τιμών (Filzmoser et al., 2018).

Πίνακας 7 Κλίμακα συντελεστή συσχέτισης

[0.5-0.6)	Μέτρια έως καλή συσχέτιση
[0.6-0.7)	
[0.7-0.8)	Καλή έως πολύ καλή συσχέτιση
[0.8-0.9)	
[0.9-1)	
1	

Πίνακας 8 Συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman για τα στοιχεία ενδιαφέροντος

	Si	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	Fe	Ti	P	Ba	Ce	Cr	Sr	U	V	Y	As	Sb	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Si	1.00	0.83	0.65	-	-	-	0.75	0.69	-	-	0.70	0.64	-	-	-	0.63	0.83	-	-	0.57	0.57	-	-	0.58	0.54
Al	0.83	1.00	-	-	-	-	0.80	-	-	-	0.87	0.85	-	-	-	-	0.88	-	-	0.62	-	-	-	0.80	0.58
Mn	0.65	-	1.00	-	0.68	0.67	-	0.87	0.65	-	-	-	0.71	-	-	0.71	-	0.61	0.59	-	0.94	-	0.75	-	-
Ca	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	0.68	-	1.00	0.69	-	0.63	0.62	-	-	-	0.54	-	-	-	-	0.83	0.60	-	0.71	-	0.63	-	-
Na	-	-	0.67	-	0.69	1.00	-	0.81	0.92	-	-	-	-	-	-	0.73	-	0.81	0.55	-	0.71	-	-	-	-
K	0.75	0.80	-	-	-	-	1.00	-	-	-	0.77	0.72	-	-	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-	0.60	-
Fe	0.69	-	0.87	-	0.63	0.81	-	1.00	0.86	-	-	-	0.63	-	-	0.80	-	0.70	-	-	0.87	-	0.60	-	-
Ti	-	-	0.65	-	0.62	0.92	-	0.86	1.00	-	-	-	-	-	-	0.79	-	0.84	-	-	0.66	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	0.70	0.87	-	-	-	-	0.77	-	-	-	1.00	0.76	-	-	-	-	0.88	-	-	0.61	-	-	-	0.78	-
Ce	0.64	0.85	-	-	-	-	0.72	-	-	-	0.76	1.00	-	-	-	-	0.85	-	-	-	-	-	-	0.77	-
Cr	-	-	0.71	-	0.54	-	-	0.63	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	0.83	-	0.84	-	-
Sr	-	-	-	0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	0.63	-	0.71	-	-	0.73	-	0.80	0.79	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.70	0.57	-	0.63	-	-	-	0.56
Y	0.83	0.88	-	-	-	-	0.78	-	-	-	0.88	0.85	-	-	-	-	1.00	-	-	0.58	-	-	-	0.74	-
As	-	-	0.61	-	0.83	0.81	-	0.70	0.84	-	-	-	-	-	-	0.70	-	1.00	0.70	-	0.64	-	-	-	-
Sb	-	-	0.59	-	0.60	0.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57	-	0.70	1.00	-	0.65	-	0.70	-	0.54
Cd	0.57	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	0.61	-	-	-	-	-	0.58	-	-	1.00	-	-	-	0.62	0.60
Co	0.57	-	0.94	-	0.71	0.71	-	0.87	0.66	-	-	-	0.83	-	-	0.63	-	0.64	0.65	-	1.00	-	0.88	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	0.67
Ni	-	-	0.75	-	0.63	-	-	0.60	-	-	-	-	0.84	-	-	-	-	-	0.70	-	0.88	-	1.00	-	-
Pb	0.58	0.80	-	-	-	-	0.60	-	-	-	0.78	0.77	-	-	-	-	0.74	-	-	0.62	-	-	-	1.00	0.60
Zn	0.54	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	-	-	0.54	0.60	-	0.67	-	0.60	1.00

Πίνακας 9 Συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson για τα στοιχεία ενδιαφέροντος

	Si	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	Fe	Ti	P	Ba	Ce	Cr	Sr	U	V	Y	As	Sb	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Si	1.00	0.83	0.69	-	-	-	0.76	0.71	-	-	0.68	0.67	-	-	-	0.70	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	0.83	1.00	-	-	-	-	0.90	-	-	-	0.91	0.89	-	-	-	-	0.93	-	-	-	-	-	-	0.70	-
Mn	0.69	-	1.00	-	0.69	0.70	-	0.93	0.71	-	-	-	0.67	-	-	0.78	-	0.63	0.58	-	0.80	-	0.70	-	-
Ca	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	0.69	-	1.00	0.69	-	0.65	0.57	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82	0.60	-	0.71	-	0.60	-	-
Na	-	-	0.70	-	0.69	1.00	-	0.81	0.90	-	-	-	-	-	-	0.72	-	0.81	0.57	-	0.72	-	-	-	-
K	0.76	0.90	-	-	-	-	1.00	-	-	-	0.86	0.79	-	-	-	-	0.84	-	-	-	-	-	-	0.55	-
Fe	0.71	-	0.93	-	0.65	0.81	-	1.00	0.85	-	-	-	0.67	-	-	0.82	-	0.70	0.60	-	0.86	-	0.69	-	-
Ti	-	-	0.71	-	0.57	0.90	-	0.85	1.00	-	-	-	-	-	-	0.79	-	0.80	-	-	0.61	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	0.68	0.91	-	-	-	-	0.86	-	-	-	1.00	0.81	-	-	-	-	0.89	-	-	0.57	-	-	-	0.75	-
Ce	0.67	0.89	-	-	-	-	0.79	-	-	-	0.81	1.00	-	-	-	-	0.88	-	-	-	-	-	-	0.73	-
Cr	-	-	0.67	-	-	-	-	0.67	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	0.79	-	0.78	-	-
Sr	-	-	-	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	0.70	-	0.78	-	-	0.72	-	0.82	0.79	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.69	0.57	-	0.57	-	-	-	0.65
Y	0.82	0.93	-	-	-	-	0.84	-	-	-	0.89	0.88	-	-	-	-	1.00	-	-	0.57	-	-	-	0.71	0.54
As	-	-	0.63	-	0.82	0.81	-	0.70	0.80	-	-	-	-	-	-	0.69	-	1.00	0.70	-	0.61	-	-	-	-
Sb	-	-	0.58	-	0.60	0.57	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	0.57	-	0.70	1.00	-	0.69	-	0.69	-	-
Tl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57	-	-	-	-	-	0.57	-	-	1.00	-	-	-	0.64	-
Co	-	-	0.80	-	0.71	0.72	-	0.86	0.61	-	-	-	0.79	-	-	0.57	-	0.61	0.69	-	1.00	-	0.91	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	0.67
Ni	-	-	0.70	-	0.60	-	-	0.69	-	-	-	-	0.78	-	-	-	-	-	0.69	-	0.91	-	1.00	-	-
Pb	-	0.70	-	-	-	-	0.55	-	-	-	0.75	0.73	-	-	-	-	0.71	-	-	0.64	-	-	-	1.00	0.57
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65	0.54	-	-	-	-	0.67	-	0.57	1.00

Παρατηρούνται πολύ ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ Mn και Co (0.94), Ti και Na (0.92), Y και Al(0.88), Y και Ba(0.88), Na και Co (0.88), Fe και Mn (0.87), Ba και Al (0.87), Co και Fe ( 0.87), Fe και Ti ( 0.86), Al και Ce(0.85), Y και Ce (0.85), As και Ti (0.84), Cr και Ni (0.84), Ca και Sr (0.83), Si και Al (0.83), Y και Si (0.83), Y και Mg(0.83), Co και Cr(0.83), Fe και Na (0.81), As και Na(0.81), K και Al (0.8), V και Fe (0.8), Pb και Al (0.8), Ti και V ( 0.79), Y και K (0.78), Ba και Pb(0.78), Pb και Ce (0.77) Ba και K (0.77), Ce και Ba (0.76), Si και K ( 0.75), Mn και Ni (0.75), Y και Pb (0.74), V και Na(0.73), Ce και K (0.72), Co και Mg (0.71), Co και Na(0.71),V και Na(0.71), Cr και Mn (0.71),Ba και Si (0.7), As και Fe (0.7), As και V (0.7), As και Sb (0.7), As και V (0.7), Ni και Sb (0.7)

Παρατηρείται ότι τα στοιχεία Si, Fe, Co, Mn έχουν τις περισσότερες ισχυρές συσχετίσεις με τα υπόλοιπα στοιχεία ( Συντελεστής Spearman  $\rho > 0.5$  ).

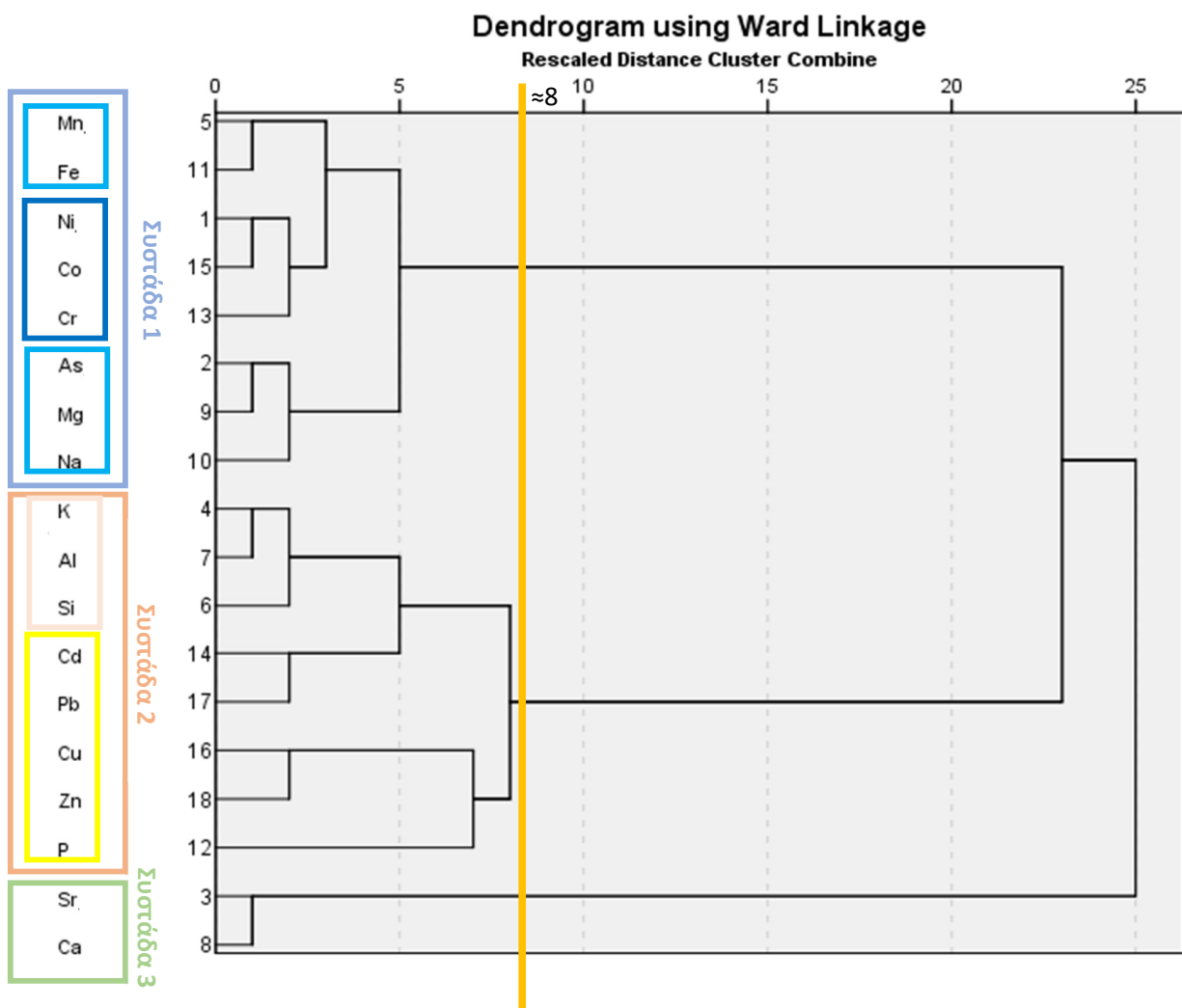
Πίνακας 10 Αριθμούς των συσχετίσεων Spearman για τιμές μεγαλύτερες 0.5 για κάθε στοιχείο.

	<b>Αριθμός Συσχετίσεων (&gt;0.5)</b>
<b>Si</b>	12
<b>Al</b>	8
<b>Mn</b>	11
<b>Ca</b>	1
<b>Mg</b>	9
<b>Na</b>	8
<b>K</b>	6
<b>Fe</b>	10
<b>Ti</b>	7
<b>P</b>	0
<b>Ba</b>	7
<b>Ce</b>	6
<b>Cr</b>	5
<b>Sr</b>	1
<b>U</b>	0
<b>V</b>	9
<b>Y</b>	7
<b>As</b>	8
<b>Sb</b>	8
<b>Cd</b>	6
<b>Co</b>	11
<b>Cu</b>	1
<b>Ni</b>	6
<b>Pb</b>	8
<b>Zn</b>	7

### 4.3 Hierarchical Cluster Analysis – Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες

Τα εδαφικά δείγματα, ομαδοποιούνται σύμφωνα με την ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες σε 3 κύριες συστάδες όπως παρουσιάζεται στο δενδρόγραμμα (Εικόνα 28). Για την ομαδοποίηση των δειγμάτων στην ίδια συστάδα επιλέχθηκε η αναπροσαρμοσμένη κλίμακα απόστασης (rescaled distance) να είναι μικρότερη του 8, ώστε οι συστάδες να περιλαμβάνουν παραμέτρους.

- Η Συστάδα 1 περιλαμβάνει οκτώ χημικές παραμέτρους τα Mn, Fe, Ni, Co, Cr, As, Mg και Na.
- Η Συστάδα 2 περιλαμβάνει 8 χημικές παραμέτρους τα K, Al, Si, Cd, Pb, Cu, Zn και P.
- Η συστάδα 3 περιλαμβάνει 2 χημικές παραμέτρους τα Ca και Sr.



Εικόνα 28 Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες

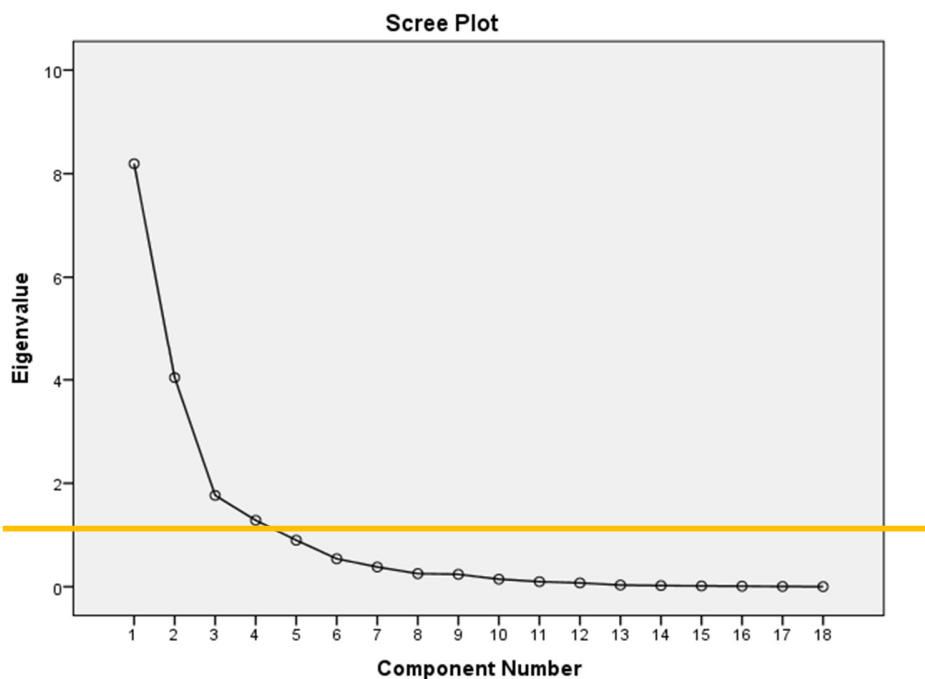
#### 4.4 Παραγοντική ανάλυση

Κατά την παραγοντική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα 34 εδαφικά δείγματα. Για τον προσδιορισμό των κυρίαρχων παραγόντων που επηρεάζουν την σύσταση των εδαφών στη λεκάνη της Σαριγκιόλ, επιλέχθηκαν 18 παράμετροι όπου αναλύθηκαν και υποβλήθηκαν σε κατάλληλη επεξεργασία για να προκύψουν οι κύριες συνιστώσες για το σύνολο των 34 δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παραγοντική ανάλυση. Οι συγκεντρώσεις κάποιων παραμέτρων ήταν χαμηλότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας της αναλυτικής μεθόδου και γι' αυτό το λόγο οι συγκεντρώσεις αυτές αντικαταστάθηκαν από τη συγκέντρωση του αντίστοιχου ορίου ανιχνευσιμότητας (Farnham et al., 2002). Στην επεξεργασία δεν συμπεριλήφθηκαν οι παράμετροι Ge, In, Re, Te, Ag, Mo καθώς η πλειονότητα των παραπάνω χημικών παραμέτρων παρουσιάζουν > 30% των παρατηρήσεων τους χαμηλότερα του ορίου ανιχνευσιμότητας και αναμένεται να μην δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα (Farnham et al., 2002).

Η παραγοντική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της ορθογωνικής περιστροφής Varimax των μεταβλητών εισαγωγής ώστε να εξαχθούν οι κύριες συνιστώσες μέσω του λογισμικού IBM SPSS version 22. Το κρημνογράφημα (scree plot) της εικόνας 29 έδειξε ότι 4 συνιστώσες έχουν ιδιοτιμές μεγαλύτερες από 1, οι οποίες σύμφωνα με το κριτήριο του Kaiser(1958) αποτελούν τις κύριες συνιστώσες όπως φαίνεται και στον πίνακα 12. Ο έλεγχος της υπόθεσης της σφαιρικότητας (Bartlett's test of sphericity) είναι <0.05 και ο στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (KMO) είναι > 0.5 δείχνοντας ότι τα δεδομένα είναι έγκυρα και κατάλληλα για παραγοντική ανάλυση.

Πίνακας 11 Στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (KMO)

KMO	
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.671



Εικόνα 29 Ανάλυση κύριων συνιστωσών από το κρημνογράφημα των ιδιοτιμών συνιστωσών για τα 34 εδαφικά δείγματα στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.

Πίνακας 12 Παραγοντική ανάλυση για τα 34 εδαφικά δείγματα στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.

<b>Rotated Component Matrix</b>				
<b>Στοιχεία</b>	<b>Παράγοντες</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Co	0.944			
Fe	0.873			
Mn	0.864			
Mg	0.843			
Ni	0.838			
Na	0.813			
Cr	0.812			
As	0.745			
Sr	-0.724	-0.508		
Al		0.944		
K		0.905		
Si		0.833		
Pb		0.782		
Ca	-0.552	-0.762		
Cd		0.690		
Cu			0.936	
Zn		0.576	0.680	
P				0.898
<b>Αρχικές ιδιοτιμές της διακύμανσης σε %</b>	<b>38.052</b>	<b>28.408</b>	<b>10.556</b>	<b>7.898</b>
<b>Σωρευτική % της διακύμανσης</b>	<b>38.052</b>	<b>66.460</b>	<b>77.016</b>	<b>84.914</b>

#### 4.4 Αποτελέσματα Προσδιορισμού οργανικής ουσίας (Μέθοδος Walkley – Black)

Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας με τη μέθοδο Walkley - Black εξετάστηκαν δυο συντελεστές διόρθωσης 1,3 (Santi et al., 2006) και 1,47 (Meersmans et al., 2009), με σκοπό να συνεκτιμηθεί η επίδραση των χρήσεων γης στην ανάκτηση του οργανικού άνθρακα.

Πίνακας 13 Αποτελέσματα προσδιορισμού της οργανικής ουσίας %

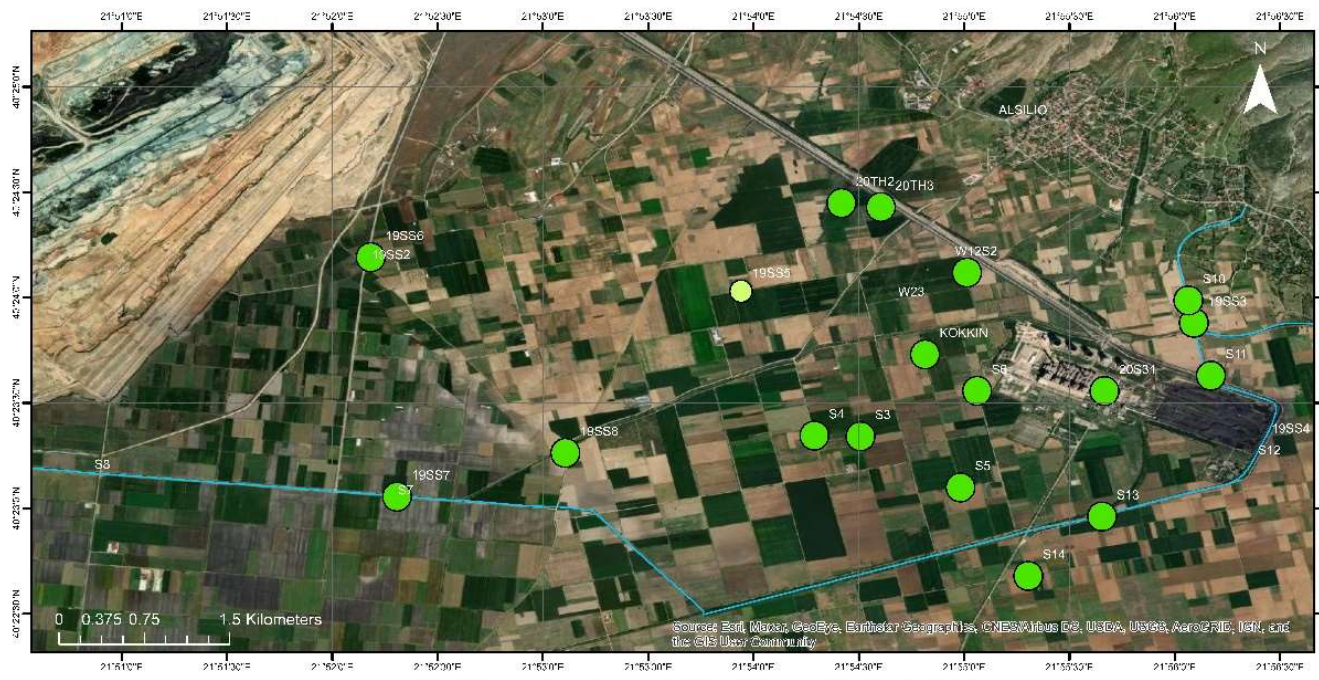
	Οργανική ουσία% ξ.β. εδάφους με 1,3 συντελεστή		Οργανική ουσία% ξ.β. εδάφους με 1,47 συντελεστή	
ALSILIO	6.03	ΠΛΟΥΣΙΑ	6.82	ΠΛΟΥΣΙΑ
W23	4.84	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	5.34	ΠΛΟΥΣΙΑ
KOKKIN	3.62	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.00	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S2	3.73	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.13	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
W12	2.87	ΜΕΤΡΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.17	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S8	5.15	ΠΛΟΥΣΙΑ	5.69	ΠΛΟΥΣΙΑ
S11	4.32	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.78	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S12	7.31	ΠΛΟΥΣΙΑ	8.08	ΠΛΟΥΣΙΑ
S7	5.19	ΠΛΟΥΣΙΑ	5.74	ΠΛΟΥΣΙΑ
S14	2.91	ΜΕΤΡΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.22	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S13	3.34	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.69	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S6	3.73	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.13	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S3	3.85	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.26	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S4	3.30	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.65	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S5	3.85	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.26	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
S10	2.83	ΜΕΤΡΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.13	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
19SS1	6.37	ΠΛΟΥΣΙΑ	7.04	ΠΛΟΥΣΙΑ
19SS2	5.39	ΠΛΟΥΣΙΑ	5.95	ΠΛΟΥΣΙΑ
19SS3	3.26	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.61	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
19SS4	-	-	-	-
19SS5	2.79	ΜΕΤΡΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.08	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
19SS6	3.91	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.32	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
19SS7	4.28	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	4.74	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
19SS8	3.14	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.48	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
2003	3.11	ΜΕΤΡΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.43	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
20S31	3.22	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.56	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ
2002	3.01	ΜΕΤΡΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ	3.32	ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ

#### Κατηγορίες εδαφών

οργανική ουσία g% > 5	:	πλούσια
" " 5-3	:	εφοδιασμένα
" " 3-2	:	μέτρια εφοδιασμένα
" " 2-1	:	φτωχά
" " < 1	:	πολύ φτωχά

Εικόνα 30 Κατηγοριοποίηση της περιεκτικότητας των εδαφών σε ποσοστό οργανικής ουσίας.





ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων  
Οργανική ουσία % για δείκτη 1.47

- 3%-5%
- >5%
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 31 Περιεκτικότητα οργανικής ουσίας εδαφικών δειγμάτων για δείκτη 1.47



ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

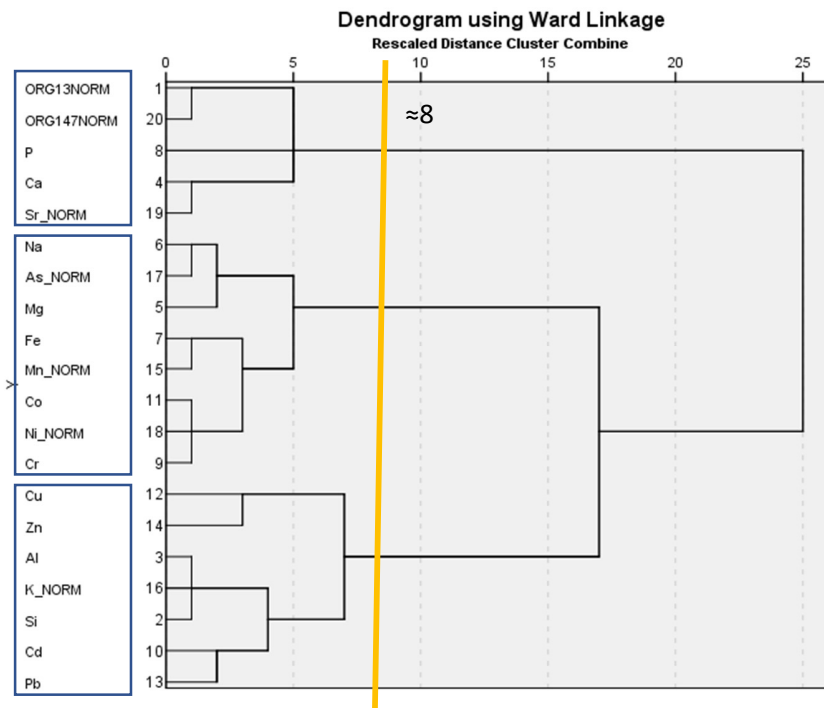
**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

Περιεκτικότητα εδαφικών δειγμάτων  
Οργανική ουσία % για δείκτη 1.3

- 2%-3%
- 3%-5%
- >5%
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 32 Περιεκτικότητα οργανικής ουσίας εδαφικών δειγμάτων για δείκτη 1.3



Εικόνα 33 Ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες για τα 26 εδαφικά δείγματα, στα οποία μετρήθηκε το ποσοστό οργανικής ουσίας, στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.

Πίνακας 14 Στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (KMO)

<b>KMO and Bartlett's Test</b>	
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.544

Πίνακας 15 Παραγοντική ανάλυση για τα 26 εδαφικά δείγματα, στα οποία μετρήθηκε το ποσοστό οργανικής ουσίας, στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας.

	Component				
	1	2	3	4	5
<b>Co</b>	0.896				
<b>Ni NORM</b>	0.881				
<b>Mn NORM</b>	0.822	0.305	-0.315		
<b>Cr</b>	0.803		-0.333		
<b>Sr NORM</b>	-0.793	-0.406			
<b>Mg</b>	0.732	-0.452		0.317	
<b>Fe</b>	0.727	0.374	-0.305	0.432	
<b>Al</b>		0.957			
<b>K NORM</b>		0.900			
<b>Si</b>		0.850	-0.377		
<b>Ca</b>	-0.474	-0.794			
<b>Pb</b>		0.775			
<b>Cd</b>	0.453	0.695			
<b>ORG13NORM</b>	-0.441		0.858		
<b>ORG147NORM</b>	-0.437		0.855		
<b>Na</b>	0.392		-0.443	0.740	
<b>P</b>			0.305	0.735	
<b>As NORM</b>	0.522			0.669	0.381
<b>Cu</b>					0.925
<b>Zn</b>	0.318	0.517			0.698

#### 4.5 Δείκτες ρύπανσης εδάφους

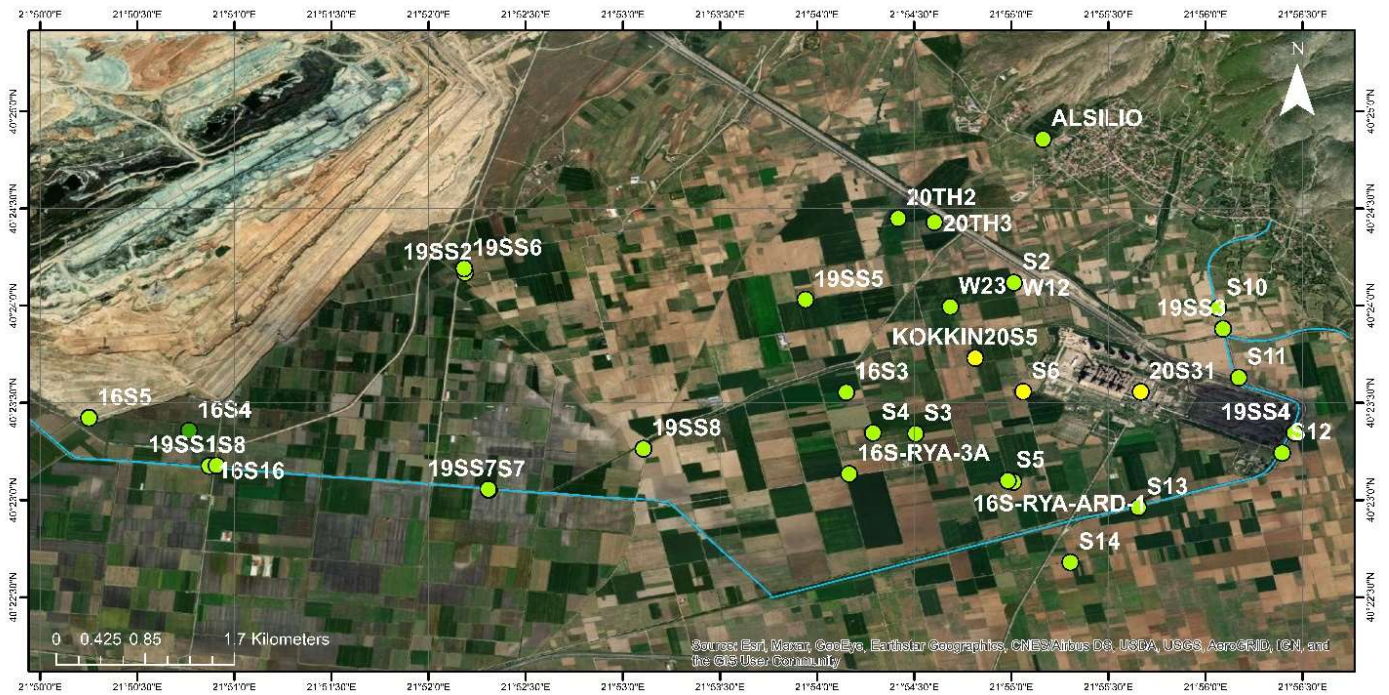
##### 4.5.1 Pollution load index (PLI) - Δείκτης φορτίου ρύπανσης

Η χρωματική κατηγοριοποίηση έγινε με βάση τον Πίνακα 3 στο κεφάλαιο 4.

Πίνακας 16 Δείκτης φορτίου ρύπανσης PLI

Original code	PLI	Χαρακτηρισμός
20TH3	1.63	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
20S31	2.28	Μέτρια ρυπασμένα
20S5	1.85	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
20TH2	1.90	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
16S-RYA-ARD-1	1.83	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
16S-RYA-3A	1.47	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
16S3	1.32	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
16S4	0.87	Μη ρυπασμένα
16S5	1.16	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
16S16	1.07	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
ALSILIO	1.47	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
KOKKIN	2.02	Μέτρια ρυπασμένα
W12	1.88	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S3	1.93	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S6	2.34	Μέτρια ρυπασμένα
S7	1.18	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S8	1.25	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S14	1.98	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS2	1.68	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS3	1.81	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS4	1.67	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS5	1.81	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S2	1.86	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S4	1.68	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S5	1.73	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S10	1.74	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S11	1.59	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S12	1.69	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
S13	1.55	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
W23	1.23	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS1	1.10	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS6	1.43	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS7	1.09	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα
19SS8	1.37	Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα





**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ**

**PLI**

- <math>PLI < 1</math> Unpolluted
- <math>PLI 1-2</math> Low to moderately polluted
- <math>PLI 2-3</math> moderatly polluted
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 34 Χωρική απεικόνιση δείκτη φορτίου ρύπανσης PLI

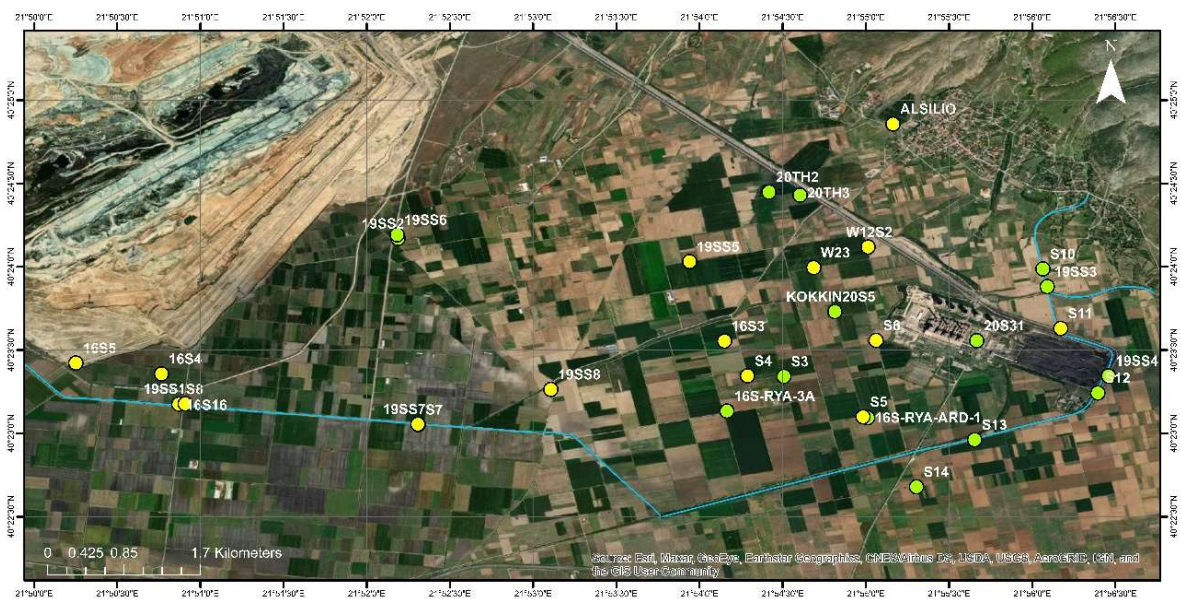


#### 4.5.2 Enrichment factor (EF) – Συντελεστής εμπλουτισμού

Πίνακας 17 Συντελεστής εμπλουτισμού EF

	Cr	As	Hg	Sb	Tl	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	V	Ba
20TH3	4.82	4.41	0.26	1.72	0.31	3.27	1.31	0.58	5.99	1.07	1.19	0.59	0.55
20S31	4.98	10.39	0.27	2.99	0.34	3.07	1.66	0.56	6.62	1.00	1.06	0.65	0.49
20S5	4.64	6.67	0.31	2.41	0.44	3.94	1.16	0.45	4.40	1.42	1.11	0.65	0.64
20TH2	4.45	4.13	0.48	1.69	0.32	1.92	1.29	0.56	5.78	1.12	1.15	0.60	0.54
16S-RYA-ARD-1	4.74	9.98	0.18	1.80	0.29	1.08	1.72	0.49	5.20	0.79	0.69	0.56	0.48
16S-RYA-3A	4.81	6.91	0.10	1.23	0.33	1.64	1.48	0.44	4.65	0.91	0.67	0.52	0.55
16S3	12.23	7.98	0.66	1.75	0.70	2.63	2.17	0.73	8.23	1.63	1.08	0.99	1.00
16S4	5.64	3.70	0.22	0.88	0.35	3.50	1.53	0.89	5.05	1.97	1.15	0.73	1.06
16S5	5.25	4.86	0.38	0.77	1.23	3.07	1.56	0.75	5.18	1.85	1.12	0.81	1.01
16S16	8.39	4.32	0.51	1.02	0.82	4.09	1.98	1.17	6.62	2.50	1.43	0.94	1.39
ALSILIO	5.13	13.20	0.31	2.96	0.31	0.56	1.38	2.60	5.22	0.69	1.59	0.71	0.54
KOKKIN	4.64	7.25	0.22	1.88	0.42	3.94	1.23	1.34	4.57	1.75	1.59	0.65	0.67
W12	4.60	4.17	0.14	1.30	0.29	2.68	1.35	1.64	5.93	1.06	1.43	0.57	0.53
S3	4.40	7.04	0.19	1.74	0.53	4.09	1.27	3.33	4.24	2.28	2.06	0.79	0.87
S6	5.14	12.65	0.15	2.68	0.31	2.68	1.81	1.39	7.05	0.88	1.35	0.65	0.47
S7	6.48	4.77	0.85	1.49	0.53	0.88	1.75	2.99	6.61	2.29	2.40	1.06	1.09
S8	6.54	5.45	0.49	1.84	0.53	5.11	1.88	3.75	7.14	2.67	3.07	1.17	1.29
S14	3.43	8.72	0.20	1.80	0.47	2.45	1.14	1.70	3.67	1.32	1.54	0.75	0.71
19SS2	4.73	4.77	0.20	1.36	0.40	3.50	1.16	0.86	3.82	1.48	1.53	0.70	0.80
19SS3	4.82	12.32	0.23	2.37	0.25	2.19	1.51	0.86	5.42	0.81	1.06	0.73	0.42
19SS4	4.66	13.15	0.37	3.13	0.37	4.29	1.42	1.16	5.43	1.32	1.59	0.90	0.76
19SS5	5.07	4.32	0.24	1.35	0.31	2.45	1.44	1.01	6.28	1.07	1.36	0.59	0.56
S2	5.16	11.17	0.24	1.42	0.38	1.89	1.31	2.21	4.29	1.63	1.44	0.82	0.59
S4	6.15	5.68	0.10	0.82	0.33	2.45	1.46	1.07	6.05	1.09	1.04	0.55	0.55
S5	5.16	11.11	0.12	0.94	0.57	2.36	1.23	2.71	4.11	1.18	1.54	0.68	0.61
S10	4.48	10.72	0.20	1.23	0.33	1.23	1.27	1.93	3.70	0.77	1.00	0.70	0.38
S11	5.16	10.64	0.12	1.42	0.38	1.89	1.18	1.44	4.29	1.18	1.02	0.62	0.45
S12	3.50	12.78	0.26	1.53	0.41	3.07	1.05	2.13	3.06	1.54	1.39	0.77	0.66
S13	3.67	9.20	0.10	0.77	0.31	1.92	1.14	0.99	3.21	1.05	0.95	0.65	0.52
W23	5.16	5.14	0.12	0.47	0.38	2.83	1.01	0.73	2.80	1.31	1.04	0.63	0.67
19SS1	6.99	5.00	0.51	1.02	0.82	4.09	1.84	1.97	5.93	2.63	1.90	1.24	1.31
19SS6	4.20	4.33	0.22	0.44	0.53	2.63	1.13	0.76	3.45	1.30	1.09	0.76	0.79
19SS7	7.19	5.35	0.22	0.88	0.70	3.50	1.70	1.95	5.74	1.86	1.50	1.05	1.01
19SS8	5.60	4.54	0.26	0.51	0.41	2.56	1.30	0.98	5.20	1.22	1.04	0.62	0.57

Παρατηρείται ότι τα εδαφικά δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερο εμπλουτισμό στα στοιχεία Cr, As, Ni ο οποίος φαίνεται και στην χωρική κατανομή των περιεκτικότητων αυτών των στοιχείων στους αντίστοιχους χάρτες (Εικόνα 18, Εικόνα 21, Εικόνα 23). Η χρωματική κατηγοριοποίηση έγινε με βάση τον πίνακα 4 στο κεφάλαιο 4.



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ** ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΥ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

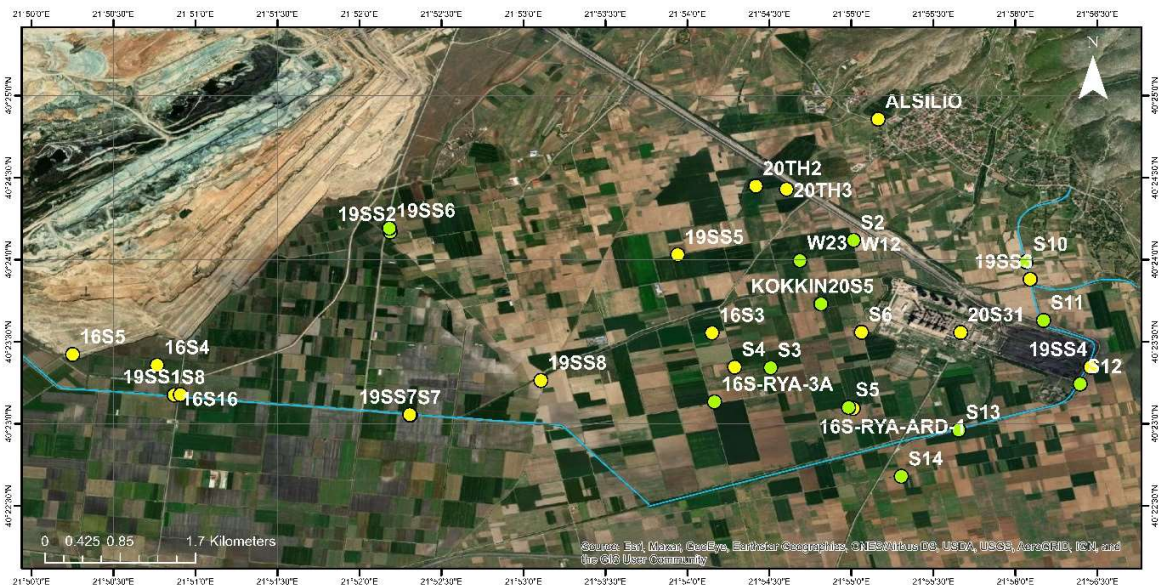
**Soil Contamination Indexes**

**EF Cr**

- 2 - 5 Μέτριος εμπλουτισμός
- 5 - 20 Σημαντικός εμπλουτισμός
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιά, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 35 Χωρική απεικόνιση του συντελεστή εμπλουτισμού EF για το χρώμιο (Cr)



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ** ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΥ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

**Soil Contamination Indexes**

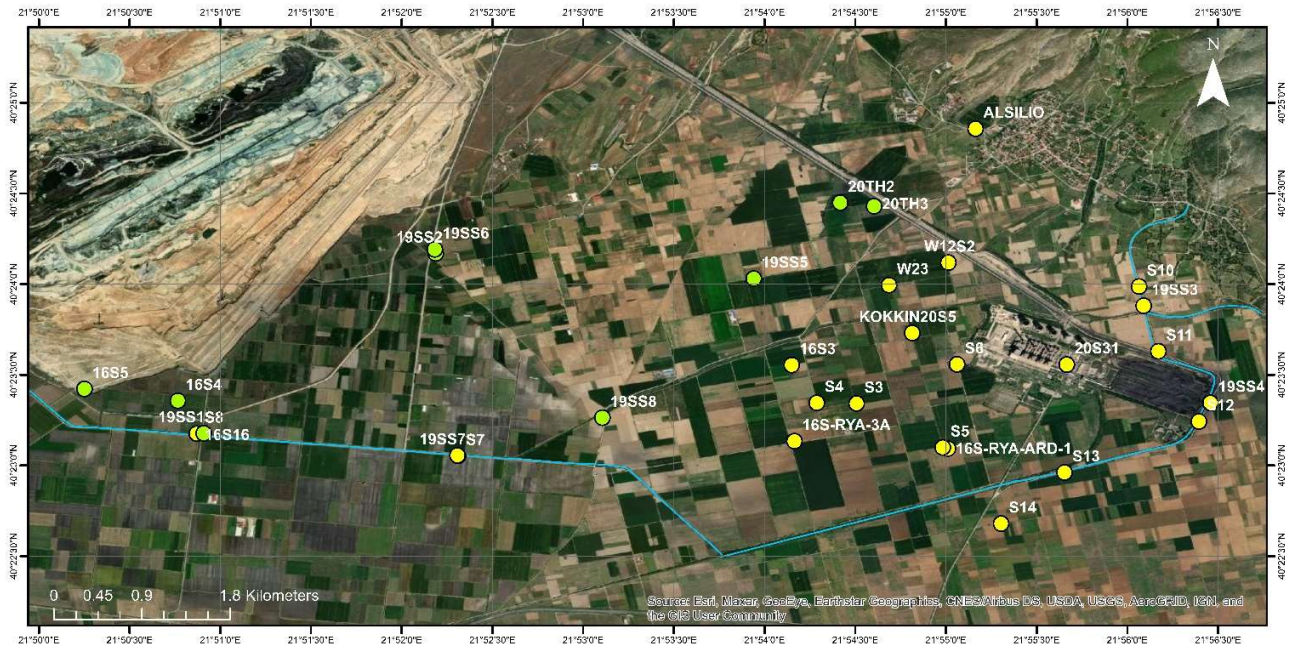
**EF Ni**

- 2 - 5 Μέτριος εμπλουτισμός
- 5 - 20 Σημαντικός εμπλουτισμός
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιά, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 36 Χωρική απεικόνιση του συντελεστή εμπλουτισμού EF για το νικέλιο (Ni)





**ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ**

**Soil Contamination Indexes**  
**EF As**

- 2 - 5 Μέτριος εμπλουτισμός
- 5 - 20 Σημαντικός εμπλουτισμός
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Φαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 37 Χωρική απεικόνιση του συντελεστή εμπλουτισμού EF για το αρσενικό (As)

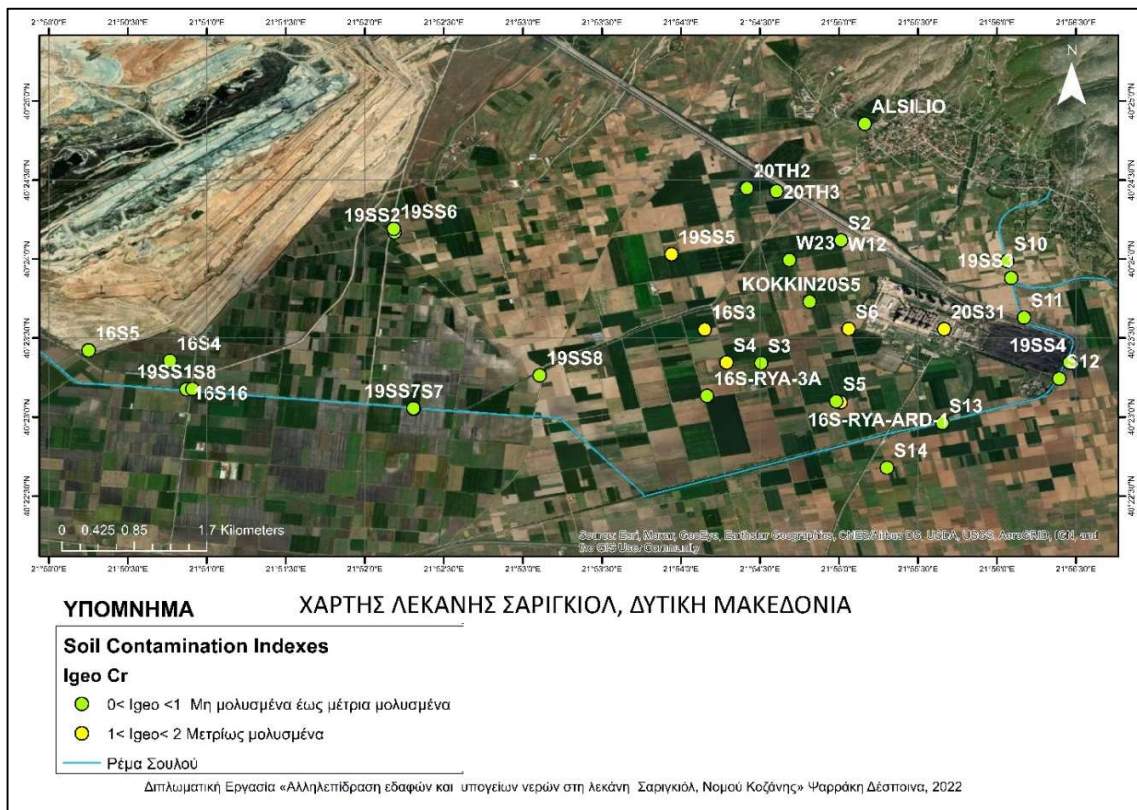
#### 4.5.3 Geo-accumulation index (I<sub>geo</sub>) - Δείκτης γεωσυσσώρευσης

Παρατηρείται ότι τα εδαφικά δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερο εμπλουτισμό στα στοιχεία Cr, As, Ni, Cd, ο οποίος φαίνεται και στην χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων αυτών των στοιχείων στους αντίστοιχους χάρτες (Εικόνα 18, Εικόνα 21, Εικόνα 23, Εικόνα 19). Η χρωματική κατηγοριοποίηση έγινε με βάση ο πίνακα 5 στο κεφάλαιο 4.

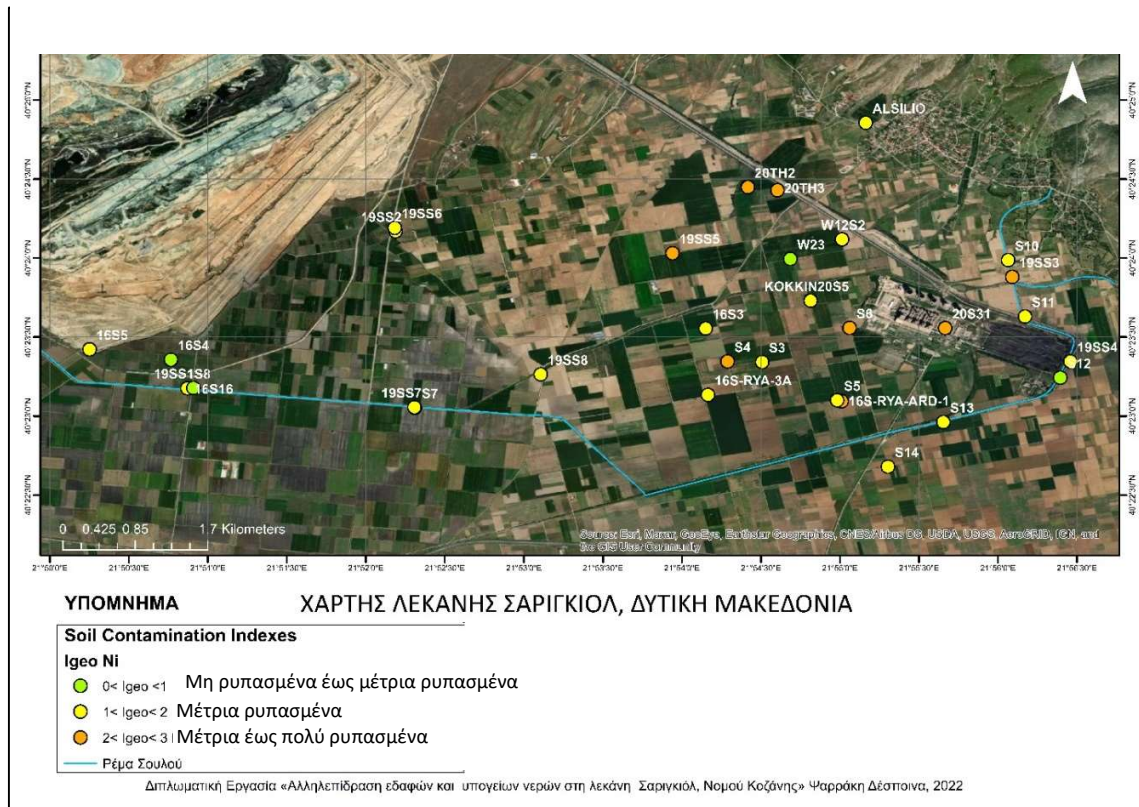
Πίνακας 18 Συντελεστής εμπλουτισμού I<sub>geo</sub>

	Cr	As	Hg	Sb	Tl	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	V	Ba
20TH3	1.98	1.85	-2.26	0.49	-1.98	1.42	0.09	-1.08	2.29	-0.20	-0.04	-1.05	-1.15
20S31	2.12	3.18	-2.10	1.38	-1.77	1.42	0.53	-1.04	2.53	-0.20	-0.11	-0.83	-1.24
20S5	1.82	2.34	-2.10	0.87	-1.58	1.58	-0.18	-1.56	1.74	0.11	-0.24	-1.02	-1.04
20TH2	1.95	1.85	-1.26	0.55	-1.84	0.74	0.16	-1.04	2.33	-0.04	0.00	-0.95	-1.08
16S-RYA-ARD-1	2.13	3.21	-2.58	0.74	-1.91	0.00	0.67	-1.15	2.26	-0.46	-0.65	-0.96	-1.17
16S-RYA-3A	1.97	2.49	-3.58	0.00	-1.91	0.42	0.27	-1.47	1.92	-0.43	-0.88	-1.24	-1.17
16S3	2.22	1.60	-2.00	-0.58	-1.91	0.00	-0.28	-1.84	1.65	-0.69	-1.29	-1.41	-1.39
16S4	1.10	0.49	-3.58	-1.58	-2.91	0.42	-0.78	-1.56	0.94	-0.42	-1.19	-1.85	-1.31
16S5	1.19	1.08	-2.58	-1.58	-0.91	0.42	-0.56	-1.61	1.17	-0.31	-1.04	-1.51	-1.19
16S16	1.45	0.49	-2.58	-1.58	-1.91	0.42	-0.63	-1.39	1.11	-0.29	-1.10	-1.71	-1.15
ALSILIO	1.62	2.98	-2.45	0.82	-2.42	-1.58	-0.27	0.63	1.64	-1.29	-0.07	-1.24	-1.64
KOKKIN	1.82	2.46	-2.58	0.52	-1.64	1.58	-0.10	0.03	1.80	0.42	0.27	-1.02	-0.96
W12	2.00	1.86	-3.00	0.18	-1.98	1.22	0.23	0.52	2.37	-0.12	0.32	-1.00	-1.11
S3	1.52	2.20	-3.00	0.18	-1.53	1.42	-0.27	1.12	1.47	0.57	0.43	-0.96	-0.82
S6	2.16	3.46	-2.91	1.22	-1.91	1.22	0.65	0.28	2.62	-0.38	0.23	-0.83	-1.30
S7	1.30	0.86	-1.62	-0.82	-2.32	-1.58	-0.58	0.19	1.33	-0.20	-0.13	-1.30	-1.27
S8	1.09	0.83	-2.66	-0.74	-2.53	0.74	-0.71	0.29	1.22	-0.20	0.00	-1.39	-1.25
S14	1.49	2.83	-2.58	0.55	-1.37	1.00	-0.10	0.47	1.58	0.11	0.33	-0.71	-0.80
19SS2	1.85	1.86	-2.74	0.05	-1.71	1.42	-0.18	-0.61	1.54	0.17	0.22	-0.91	-0.72
19SS3	1.87	3.23	-2.51	0.85	-2.42	0.74	0.20	-0.61	2.04	-0.70	-0.30	-0.84	-1.64
19SS4	1.34	2.84	-2.32	0.77	-2.32	1.22	-0.37	-0.67	1.56	-0.48	-0.21	-1.03	-1.28
19SS5	2.05	1.81	-2.38	0.14	-1.98	1.00	0.23	-0.28	2.36	-0.20	0.14	-1.06	-1.13
S2	1.87	2.98	-2.58	0.00	-1.91	0.42	-0.11	0.64	1.60	0.21	0.03	-0.79	-1.27
S4	2.33	2.21	-3.58	-0.58	-1.91	1.00	0.25	-0.20	2.30	-0.17	-0.24	-1.15	-1.16
S5	1.87	2.97	-3.58	-0.58	-1.32	0.74	-0.20	0.93	1.54	-0.26	0.12	-1.05	-1.21
S10	1.87	3.13	-2.58	0.00	-1.91	0.00	0.05	0.65	1.59	-0.66	-0.29	-0.80	-1.70
S11	1.87	2.91	-3.58	0.00	-1.91	0.42	-0.27	0.02	1.60	-0.26	-0.47	-1.19	-1.67
S12	1.19	3.06	-2.58	0.00	-1.91	1.00	-0.54	0.48	1.00	0.01	-0.14	-0.99	-1.22
S13	1.67	3.00	-3.58	-0.58	-1.91	0.74	-0.01	-0.21	1.48	-0.13	-0.27	-0.82	-1.14
W23	1.87	1.86	-3.58	-1.58	-1.91	1.00	-0.48	-0.95	0.99	-0.12	-0.45	-1.17	-1.07
19SS1	1.19	0.70	-2.58	-1.58	-1.91	0.42	-0.74	-0.64	0.95	-0.22	-0.69	-1.30	-1.22
19SS6	1.67	1.72	-2.58	-1.58	-1.32	1.00	-0.22	-0.80	1.39	-0.01	-0.27	-0.79	-0.74
19SS7	1.45	1.03	-3.58	-1.58	-1.91	0.42	-0.63	-0.43	1.13	-0.50	-0.81	-1.32	-1.37
19SS8	1.87	1.57	-2.58	-1.58	-1.91	0.74	-0.23	-0.65	1.76	-0.33	-0.56	-1.30	-1.44



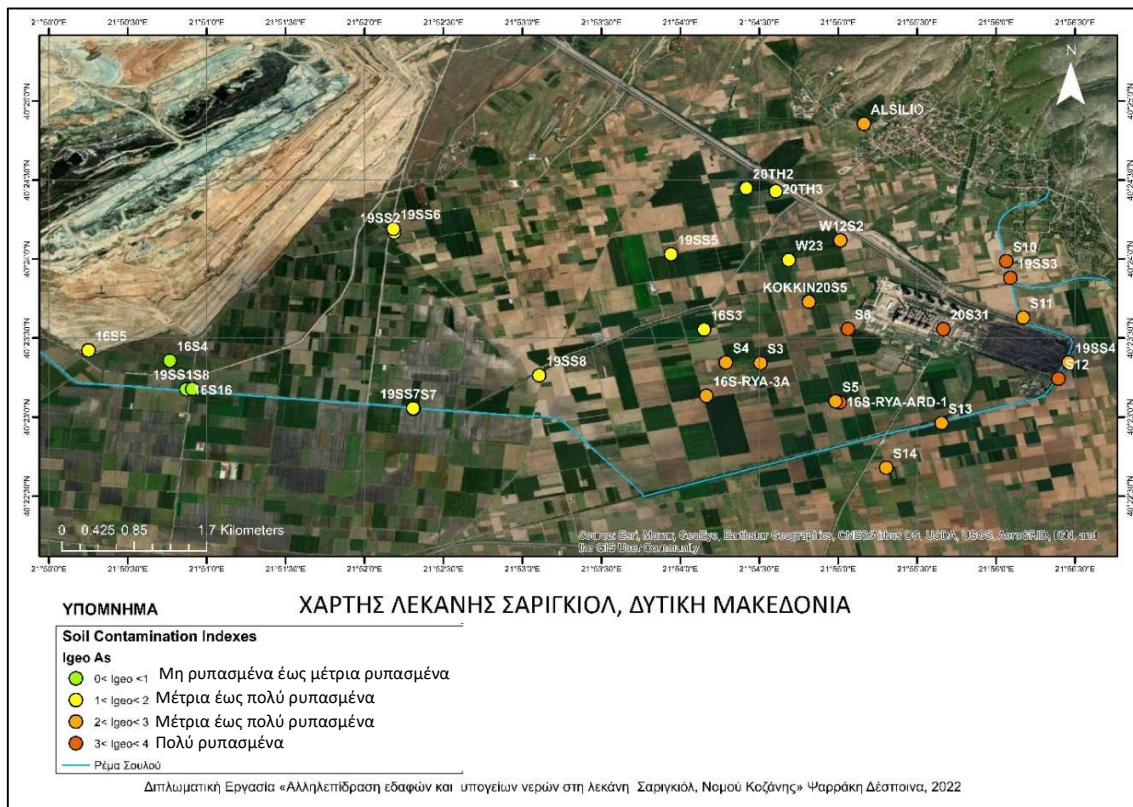


Εικόνα 38 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το χρώμιο (Cr)

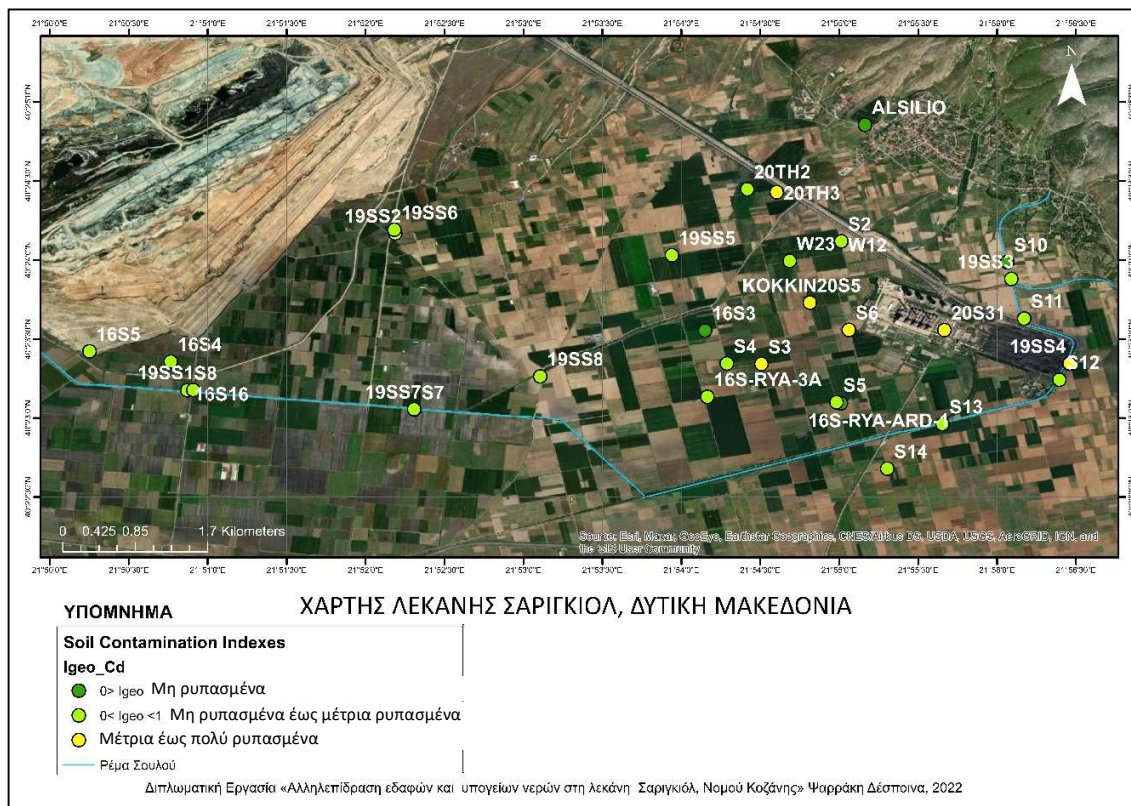


Εικόνα 39 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το νικέλιο (Ni)





Εικόνα 40 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το αρσενικό (As)



Εικόνα 41 Χωρική απεικόνιση δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo για το κάδμιο (Cd)

## 4.6 Δείκτες ρύπανσης υδάτων

### 4.6.1 Water quality index (WQI)- Δείκτης Ποιότητας Υδάτων

Ο Δείκτης Ποιότητας Υδάτων αναπτύχθηκε για να παρέχει μια απλούστερη μέθοδο για την περιγραφή της ποιότητας των υπογείων νερών που χρησιμοποιούνται για διάφορες χρήσεις μεταξύ αυτών και η ύδρευσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας υδάτων WQI (Brown et al., 1972). Για τον υπολογισμό του WQI χρησιμοποιήθηκαν TDS (mg/L), E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, Eh,  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/l),  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/l),  $\text{Na}^+$  (mg/l),  $\text{K}^+$  (mg/l),  $\text{NO}_3^-$  (mg/l),  $\text{Cl}^-$  (mg/l),  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/l).

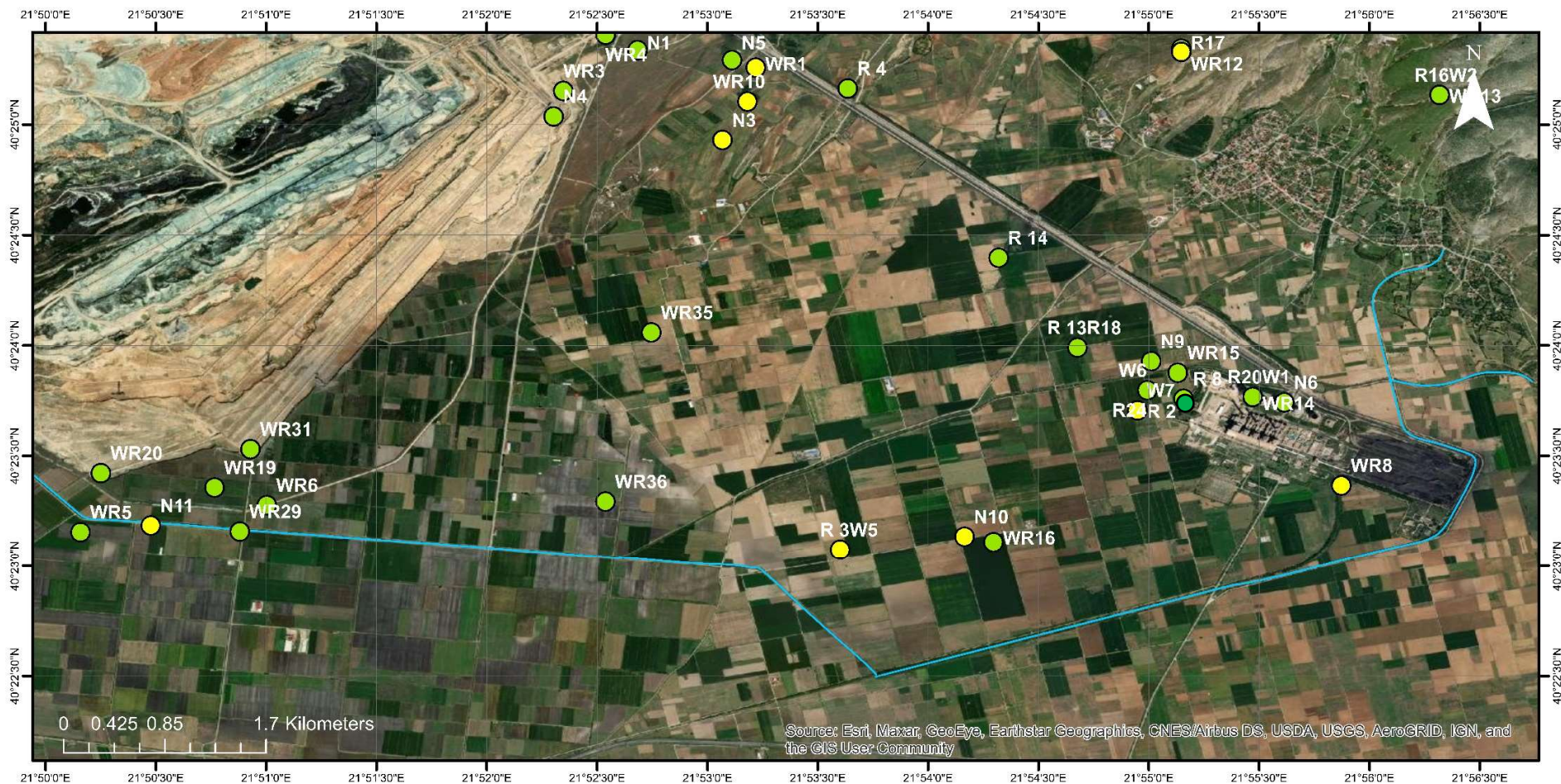
Πίνακας 19 Κατηγοριοποίηση των δειγμάτων των νερών με βάση τον δείκτη ποιότητας υδάτων WQI

Name	WQI	Name	WQI
R 13	38.30	WR15	37.92
R 14	28.77	WR16	42.60
R 2	64.21	WR19	46.80
R 3	57.73	WR20	47.47
R 4	41.38	WR29	46.98
R 8	29.96	WR3	43.90
R16	32.83	WR31	41.79
R17	44.66	WR35	43.25
R18	27.01	WR36	48.01
R20	34.03	WR4	44.24
R24	22.07	WR5	43.52
W1	47.97	WR6	34.85
W2	51.29	WR8	53.11
W5	52.94	N1	45.09
W6	49.91	N10	51.92
W7	64.51	N11	55.87
WR1	50.99	N3	50.94
WR10	50.19	N4	43.97
WR12	56.41	N5	41.78
WR13	45.73	N6	47.10
WR14	38.20	N9	45.81

Πίνακας 20 Κριτήρια Κατηγοριοποίησης του δείκτη Ποιότητας Υδάτων

	Χαρακτηρισμός
0-25	Εξαιρετική
25-50	Ελαφρώς ρυπασμένα ύδατα (Καλή ποιότητα)
50-75	Μέτρια ρυπασμένα ύδατα (Φτωχή ποιότητα)
75-100	Ρυπασμένα ύδατα ( Πολύ φτωχή ποιότητα )
>100	Εξαιρετικά ρυπασμένα ύδατα ( Ακατάλληλη ποιότητα )





## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

### WQI

- 0-25 Excellent
- 25-50 Good
- 50-75 Poor
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 43 Χωρική απεικόνιση του δείκτη ποιότητας υπογείων νερών WQI στη λεκάνη Σαριγκιόλ

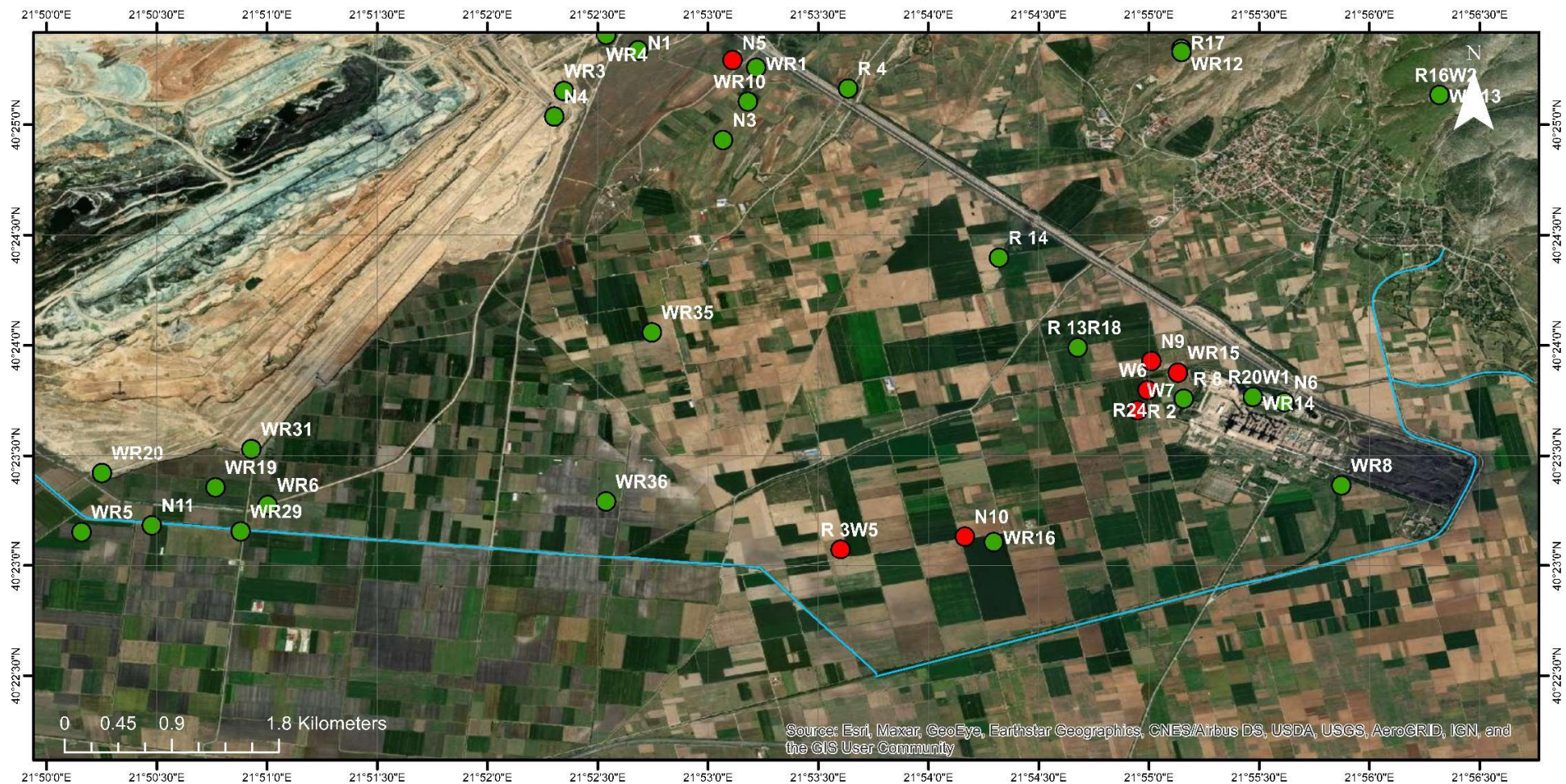


#### 4.6.2 Heavy Metal Pollution Index (HPI) – Δείκτης ρύπανσης δυνητικών τοξικών στοιχείων

Ο δείκτης HPI αναπτύχθηκε για να παρέχει μια μέθοδο περιγραφής της ποιότητας των υδάτων, η οποία να περιλαμβάνει τα δυνητικά τοξικά στοιχεία. Σε κάθε παράμετρο, δηλαδή τα δυνητικά τοξικά στοιχεία, δίνεται ένα συντελεστής βαρύτητας ( $W_i$ ), μια τιμή μεταξύ 0-1, που αντικατοπτρίζει τη σχετική βαρύτητα των παραμέτρων (Horton 1965· Mohan et al. 1996; Reddy 1995). Τα ανώτατα όρια για τις συγκεντρώσεις των στοιχείων στα νερά, δηλαδή η ανώτερη αποδεκτή τιμή κάθε στοιχείου για το πόσιμο νερό ( $S_i$ ) και μέγιστη επιθυμητή τιμή ( $I_i$ ) για κάθε παράμετρο, χρησιμοποιήθηκαν (WHO;FAO, 1972).

*Πίνακας 21 Κατηγοριοποίηση των δειγμάτων των νερών με βάση τον Δείκτη ρύπανσης δυνητικών τοξικών στοιχείων HPI*

Name	HPI	Χαρακτηρισμός
R 13	67.23	Μη επιβαρυσμένο
R 14	79.79	Μη επιβαρυσμένο
R 2	97.85	Μη επιβαρυσμένο
R 3	102.88	Επιβαρυσμένο
R 4	83.92	Μη επιβαρυσμένο
R 8	77.48	Μη επιβαρυσμένο
R16	83.14	Μη επιβαρυσμένο
R17	67.56	Μη επιβαρυσμένο
R18	86.45	Μη επιβαρυσμένο
R20	97.10	Μη επιβαρυσμένο
R24	93.66	Μη επιβαρυσμένο
W1	87.33	Μη επιβαρυσμένο
W2	83.13	Μη επιβαρυσμένο
W5	110.43	Επιβαρυσμένο
W6	102.05	Επιβαρυσμένο
W7	112.31	Επιβαρυσμένο
WR1	99.99	Επιβαρυσμένο
WR10	97.87	Μη επιβαρυσμένο
WR12	79.33	Μη επιβαρυσμένο
WR13	51.02	Μη επιβαρυσμένο
WR14	90.30	Μη επιβαρυσμένο
WR15	110.88	Επιβαρυσμένο
WR16	80.21	Μη επιβαρυσμένο
WR19	84.05	Μη επιβαρυσμένο
WR20	83.18	Μη επιβαρυσμένο
WR29	80.45	Μη επιβαρυσμένο
WR3	85.03	Μη επιβαρυσμένο
WR31	81.29	Μη επιβαρυσμένο
WR35	96.64	Μη επιβαρυσμένο
WR36	86.59	Μη επιβαρυσμένο
WR4	89.31	Μη επιβαρυσμένο
WR5	82.57	Μη επιβαρυσμένο
WR6	42.01	Μη επιβαρυσμένο
WR8	79.91	Μη επιβαρυσμένο
N1	87.68	Μη επιβαρυσμένο
N10	101.62	Επιβαρυσμένο
N11	93.54	Μη επιβαρυσμένο
N3	99.55	Επιβαρυσμένο
N4	84.15	Μη επιβαρυσμένο
N5	152.74	Επιβαρυσμένο
N6	79.30	Μη επιβαρυσμένο
N9	107.88	Επιβαρυσμένο



## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

### Υδρογεωρησεις

#### HPI

- <100 Μη επιβαρυσμένο
- >100 Επιβαρυσμένο
- Ρέμα Σουλού

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 44 Χωρική απεικόνιση του δείκτη ρύπανσης βαρέων μετάλλων HPI για τα υπόγεια νερά της λεκάνης Σαριγκιόλ.

#### 4.6.3 Heavy metal evaluation index (HEI) – Δείκτης αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων

Ο δείκτης HEI αναπτύχθηκε για να παρέχει μια μέθοδο περιγραφής της ποιότητας των υδάτων, η οποία να περιλαμβάνει τα δυνητικά τοξικά στοιχεία. (Edet, 2002; Mohammad, 2010). Οι τιμές του δείκτη αξιολόγησης βαρέως μετάλλων HEI κυμαίνονται μεταξύ 0.26-8.79 και στην εικόνα 45 παρατηρείται η χωρική κατανομή του.

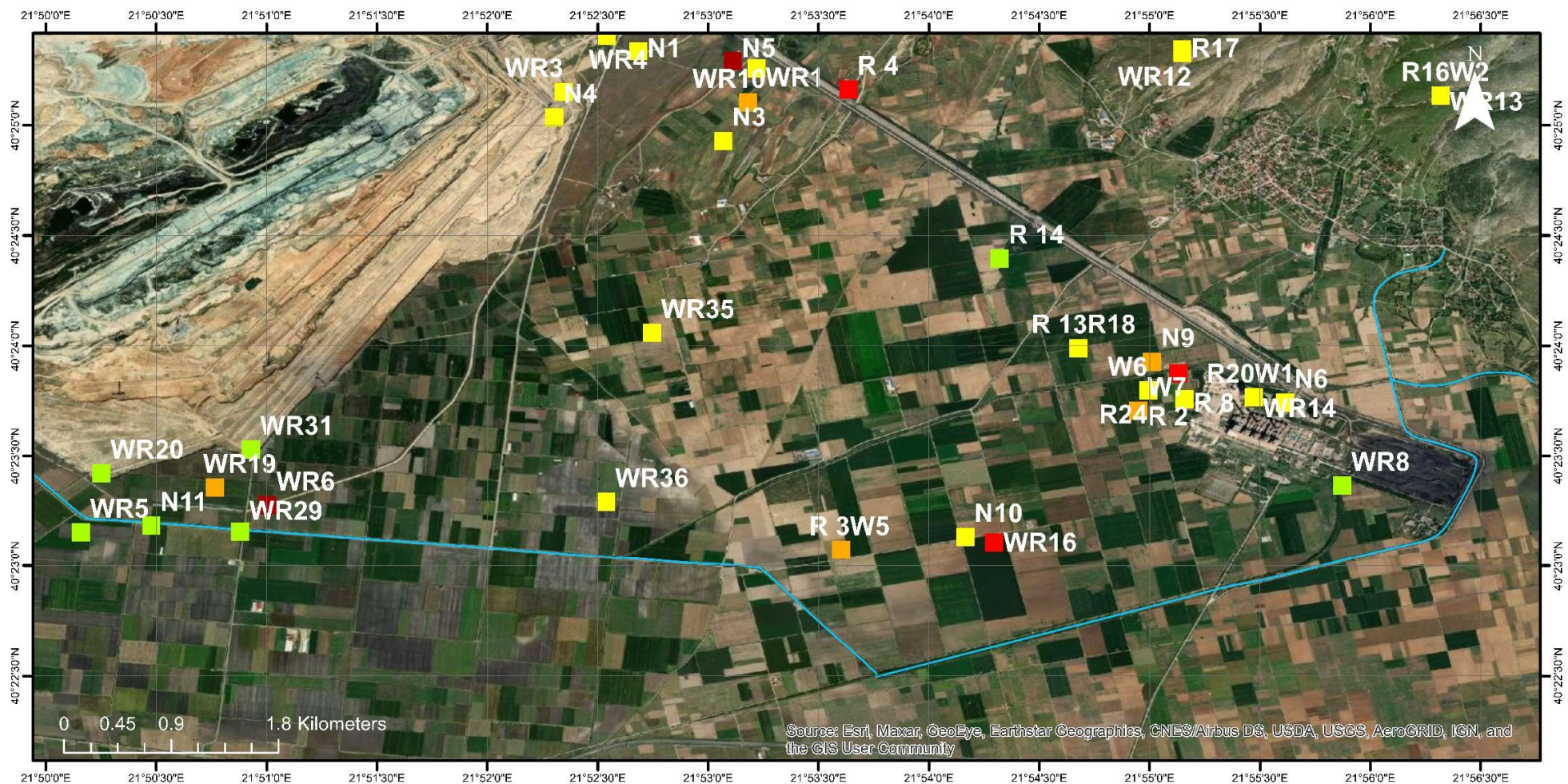
Πίνακας 22 Κατηγοριοποίηση του δείκτη αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων HEI

	Χαρακτηρισμός	
< 0.3	Πολύ καθαρό	1
0.3 - 1	Καθαρό	2
1.0 - 2.0	Ελαφρώς επιβαρυσμένο	3
2.0 - 3.0	Μετρίως επιβαρυσμένο	4
3.0 - 6.0	Έντονα επιβαρυσμένο	5
> 6.0	Σημαντικά επιβαρυσμένο	6

Πίνακας 23 Κατηγοριοποίηση των δειγμάτων των νερών με βάση τον δείκτη αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων HEI

Name	HEI	Χαρακτηρισμός
R 13	1.95	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
R 14	0.74	Καθαρό
R 2	3.31	Έντονα επιβαρυσμένο
R 3	2.11	Μετρίως επιβαρυσμένο
R 4	3.23	Έντονα επιβαρυσμένο
R 8	1.00	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
R16	0.61	Καθαρό
R17	1.18	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
R18	1.54	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
R20	1.91	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
R24	1.29	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
W1	2.25	Μετρίως επιβαρυσμένο
W2	0.66	Καθαρό
W5	2.16	Μετρίως επιβαρυσμένο
W6	1.67	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
W7	2.17	Μετρίως επιβαρυσμένο
WR1	1.59	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR10	1.80	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR12	1.59	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR13	1.37	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR14	1.50	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR15	4.77	Έντονα επιβαρυσμένο
WR16	2.15	Μετρίως επιβαρυσμένο
WR19	1.90	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR20	0.55	Καθαρό
WR29	0.48	Καθαρό
WR3	1.00	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR31	0.65	Καθαρό
WR35	1.44	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR36	1.11	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR4	1.10	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR5	0.66	Καθαρό
WR6	1.32	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
WR8	0.49	Καθαρό
N1	1.04	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
N10	1.68	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
N11	0.26	Πολύ καθαρό
N3	1.62	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
N4	0.87	Καθαρό
N5	8.79	Σημαντικά επιβαρυσμένο
N6	1.06	Ελαφρώς επιβαρυσμένο
N9	1.96	Ελαφρώς επιβαρυσμένο





## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

## ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ

### Υδρογεωρησεις

### HEI

- |   |   |
|---|---|
| <span style="color: green;">■</span> <0,3 Πολύ καθαρό         | <span style="color: red;">■</span> 3-6 Έντονα επιβαρυμένο       |
| <span style="color: lightgreen;">■</span> 0,3-1 Καθαρό        | <span style="color: darkred;">■</span> >6 Σημαντικά επιβαρυμένο |
| <span style="color: yellow;">■</span> 1-2 Ελαφρώς επιβαρυμένο | <span style="color: blue;">—</span> Ρέμα Σουλού                 |
| <span style="color: orange;">■</span> 2-3 Μετρίως επιβαρυμένο |   |

Διπλωματική Εργασία «Αλληλεπίδραση εδαφών και υπογείων νερών στη λεκάνη Σαριγκιόλ, Νομού Κοζάνης» Ψαρράκη Δέσποινα, 2022

Εικόνα 45 Χωρική απεικόνιση του δείκτη αξιολόγησης βαρέων μετάλλων HEI για τα υπόγεια νερά της λεκάνης Σαριγκιόλ.



## 5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### Υπερβασικά πετρώματα

Η γεωλογία της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από μεγάλες εμφανίσεις οφιολιθικών συμπλεγμάτων, το κατώτερο τμήμα των οποίων αποτελείται από υπερβασικά πετρώματα. Σε υπερβασικά περιβάλλοντα, έχουν καταγραφεί αυξημένες συγκεντρώσεις κύριων ιόντων και δυνητικά τοξικών στοιχείων όπως  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ , As, Co, Cr, Cu και Ni (Marques et al., 2008, Ryan et al., 2011, Margiotta et al., 2012, Petrotou et al., 2012, Kelepertzis et al., 2013, Vithanage et al., 2014, Tashakor et al., 2018). Προκύπτει ότι φυσική πηγή χρωμίου στα εδάφη και κατα επέκταση στα υπόγεια νερά μιας περιοχής αποτελεί η διάβρωση μητρικών πετρωμάτων πλούσιων σε χρώμιο όπως τα υπερβασικά μέλη των οφιολιθικών συμπλεγμάτων, καθώς και οι σερπεντινίτες που προκύπτουν από την εξαλλοίωση τους. Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν εκτεταμένες εμφανίσεις τέτοιων σχηματισμών κυρίως στους λόφους και τους ορεινούς όγκους γύρω από τη λεκάνη Σαριγκιόλ. (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016 )

### Ανθρακικοί σχηματισμοί

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί έχουν υψηλότερες μέσες τιμές σε CaO και Sr και χαμηλότερες τιμές  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO,  $SiO_2$ , Ba, Cr, Cs, Cu, Hf, Nb, Ni, Pb, Rb, Ta, Th, U, Zn και Zr σε σύγκριση σε άλλους σχηματισμούς (Zhang et al., 2020). Στην περιοχή μελέτης τα ανθρακικά πετρώματα παρουσιάζονται στα όρια της λεκάνης και βρίσκονται στην ανατολική, νοτιο-ανατολική και δυτική πλευρά της λεκάνης (Petrotou et al., 2012) (Εικόνα 46)

### Λιπάσματα

Τα λιπάσματα είναι απαραίτητα για την παροχή επαρκών θρεπτικών συστατικών για την ανάπτυξη των καλλιεργειών αλλά και την εξασφάλιση επιτυχημένης συγκομιδής. (Mortvedt, 1996; McLaughlin et al., 1996; Westfall et al., 2005). Ωστόσο, με την επαναλαμβανόμενη και αλόγιστη εφαρμογή λιπασμάτων στις καλλιέργειες αυξάνεται ο κίνδυνος συσσώρευσης δυνητικά επικίνδυνων στοιχείων στο πέρασμα του χρόνου. Τα ανόργανα λιπάσματα είναι μια καθαρή πηγή δυνητικά τοξικών στοιχείων και η μακροχρόνια εφαρμογή τους μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα των εδαφών σε αυτά και κατά συνέπεια την περιεκτικότητά τους εντός της τροφικής αλυσίδας. (Jones et al., 1987a). Από το σύνολο των ορυκτών λιπασμάτων, τα φωσφορικά λιπάσματα είναι η κύρια πηγή δυνητικά τοξικών στοιχείων (McLaughlin et al., 1996; Sager, 1997; Nicholson et al., 2003). Χαρακτηριστικά δυνητικά τοξικά στοιχεία που συναντώνται στα φωσφορικά λιπάσματα είναι As, Cd, Pb, Hg Cr, Ni και το V (Mortvedt 1996; McLaughlin et al., 1995; Raven and Loeppert, 1997; Luo et al., 2009).

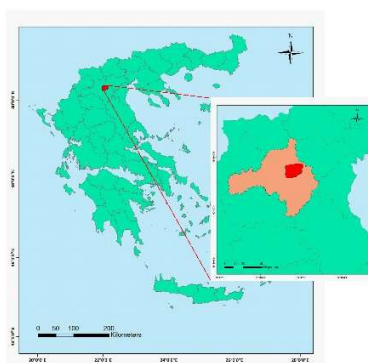
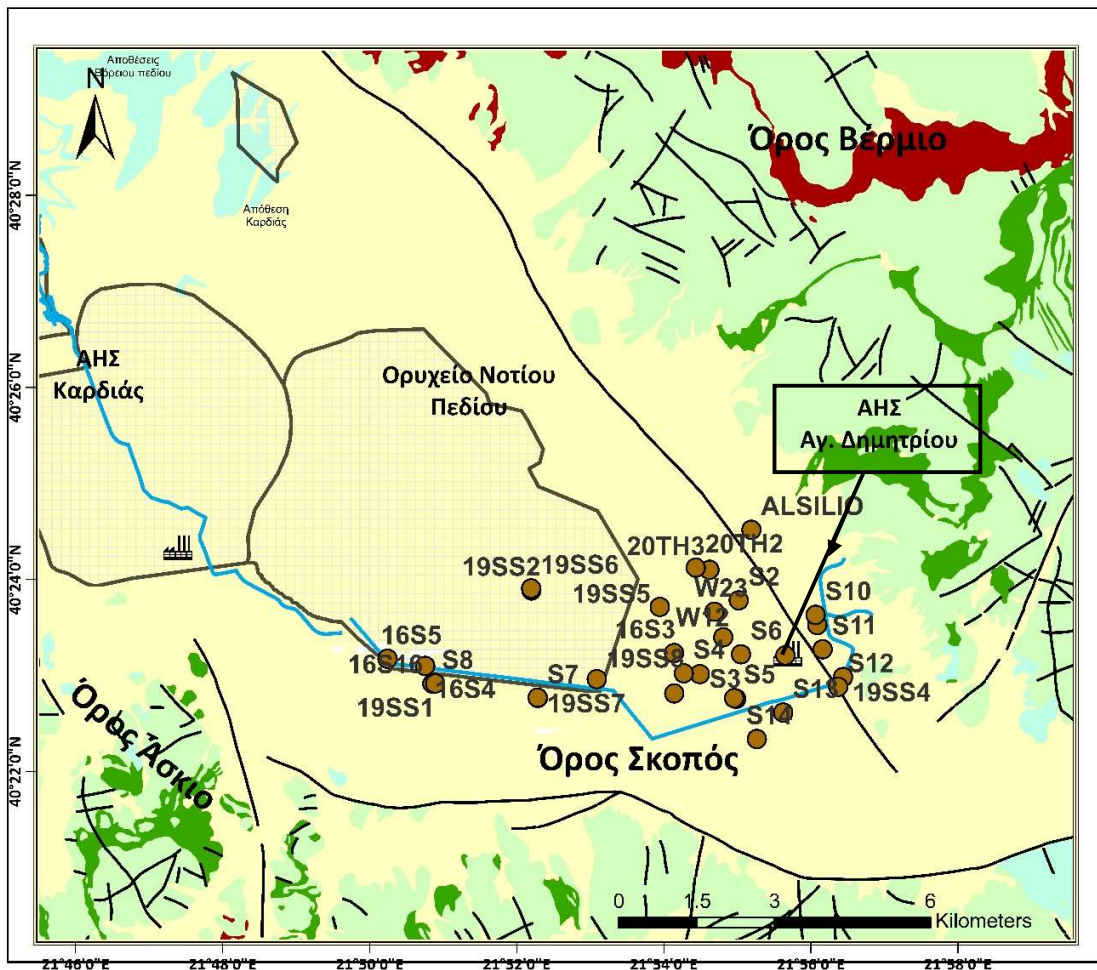
Πίνακας 24 Περιεκτικότητες φωσφορικών λιπασμάτων ( $mg\ kg^{-1}$ ) των δυνητικά τοξικών στοιχείων As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn (Papazotos et al., 2019).

1-3. Papazotos et al. (2019), 4. De López Camelo et al. (1997), 5. Chen et al. (2007), 6. Da Silva et al. (2017), 7. Modaihsh et al. (2004), 8. Molina et al. (2009), 9. Nziguheba and Smolders (2008)

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
P1 <sup>1</sup>	8.7	11.1	< 1	230	26	36	4	323
P2 <sup>2</sup>	20.8	< 0.1	< 0.2	< 10	0.3	0.5	< 0.1	16
P3 <sup>3</sup>	7.6	16.3	0.4	54.74	23.8	28.6	1.6	547
Argentina <sup>4</sup>	na	0–56.8	na	10.4–72.7	2.8–182.6	7–26.9	5.1–30.7	8.8–180.6
USA <sup>5</sup>	0–21	0–163	na	na	na	na	na	na
Brazil <sup>6</sup>	0.54–26.72	0.4–40.03	na	10.72–341.75	na	na	0.35–102.46	na
Saudi Arabia <sup>7</sup>	na	22.7–36.8	na	199.9–410	na	52.8–85.2	11.2–32.4	na
Chile <sup>8</sup>	8.3–19.7	2.6–57.9	1.7–3.8	66.2–924	1.5–155	1.8–17.9	3.8–22.3	28.6–883
Europe <sup>9</sup>	7.6	7.4	na	89.5	na	14.8	2.9	166






### Μεταλλευτική δραστηριότητα

Η καύση του λιγνίτη συνοδεύεται από την παραγωγή παραπροϊόντων των οποίων η σύσταση και οι ποσότητες εξαρτώνται από την σύσταση του λιγνίτη και των γεωλογικών στρωμάτων μέσα στα οποία βρίσκεται. Τα παραπροϊόντα είναι αέρια όπως το CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> και στερεά όπως η τέφρα πυθμένα (bottom ash/ slag) και η ιπτάμενη τέφρα (fly ash). Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί το κύριο σε ποσοστά παραπροϊόν. Είναι ένα στερεό και κονιώδες υλικό αποτελούμενο κυρίως από σφαιρικά υαλώδη σωματίδια το οποίο παράγεται κατά την καύση των κονιοποιημένων στερεών καυσίμων (λιθανθράκων, λιγνίτη, τύρφης) στους λέβητες των θερμοηλεκτρικών σταθμών (ΘΗΣ) (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016). Τα δυνητικά τοξικά στοιχεία που αποδεσμεύονται στο περιβάλλον εξαρτώνται κυρίως από την αρχική σύσταση των γαιανθράκων και περιλαμβάνουν ως επί το πλείστον As, Ba, Pb, Cr, Hg, Ni, Zn, Cu, Mo, Se (Kingston et al., 2005).



### Υπόμνημα

#### Θέσεις εδαφικών δειγμάτων

-  Θέσεις εδαφικών δειγμάτων
-  ΑΗΣ
-  Ρέμα Σουλού
-  Επώθησεις και ρήγματα
-  Όρια ορυχείου

-  Τεταρτογενή ιζήματα
-  Νεογενή ιζήματα
-  Φλύσχης
-  Ασβεστόλιθοι
-  Υπερβασικά πετρώματα

Εικόνα 46 Απλοποιημένος χάρτης γεωλογίας της λεκάνης Σαριγκιόλ, Δυτικής Μακεδονίας (Vasileiou et al., 2019, τροποποιημένος)

### 5.1 Συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στον πίνακα 8:

- Το Cr παρουσιάζει υψηλές συσχετίσεις με Ni Co Mn Fe.
- Το Ca παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση Sr.
- Τα Al, Si παρουσιάζουν υψηλές συσχετίσεις με K, Cd, Pb, Zn.

Οι παρατηρήσεις αυτές δηλώνουν δυνητικά κοινή πηγή προέλευσης για τα στοιχεία που έχουν υψηλό συντελεστή συσχέτισης.

- Για παράδειγμα το Cr και το Ni πιθανώς προέρχονται από γεωγενή υπερβασικά πετρώματα (οφιολιθικά) τα οποία εμφανίζονται στη περιοχή μελέτης (Petrotou et al., 2012). Γενικά, στην περιοχή έχουν ταυτοποιηθεί Cr-ούχες ορυκτολογικές φάσεις όπως σπινέλιοι (χρωμίτης και Cr-μαγνητίτης), σερπεντίνης, πυρόξενος, αμφίβολος, χλωρίτης κ.α. (Ερευνητικό έργο ΕΜΠ, 2016). Σε υπερβασικά περιβάλλοντα, έχουν καταγραφεί αυξημένες συγκεντρώσεις κύριων ιόντων και δυνητικά τοξικών στοιχείων όπως  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ , As, Co, Cr, Cu και Ni (Marques et al., 2008, Ryan et al., 2011, Margiotta et al., 2012, Petrotou et al., 2012, Kelepertzis et al., 2013, Vithanage et al., 2014, Tashakor et al., 2018).
- Το Ca και το Sr παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση πιθανώς έχουν κοινή προέλευση από τα ανθρακικά που παρουσιάζονται στα όρια της λεκάνης. Τα ανθρακικά πετρώματα βρίσκονται στην ανατολική, νοτιο-ανατολική και δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης (Petrotou et al., 2012)

### 5.2 Hierarchical cluster

Η **συστάδα 1** περιλαμβάνει οκτώ χημικές παραμέτρους τα Mn, Fe, Ni, Co, Cr, As, Mg και Na. Η συστάδα αυτή μπορεί να αποδοθεί σε στοιχεία του γεωγενούς περιβάλλοντος δεδομένου ότι τα Cr, Ni, Co, As, Mg, Fe είναι εμπλουτισμένα στα υπερβασικά πετρώματα (Tashakor et al., 2018, Ryan et al., 2011, Oze et al., 2004, Fantoni et al., 2002) και τα Fe και Mn μπορεί να αποδοθούν στην παρουσία οξειδίων και υδροξειδίων στα εδάφη της περιοχής. (Petrotou et al., 2012; Cédric et al., 2008; Laveuf et al.; Baize et al., 1994).

Η **συστάδα 2** περιλαμβάνει 8 χημικές παραμέτρους τα K, Al, Si, Cd, Pb, Cu, Zn και P. Τα κύρια στοιχεία K, Al, Si συνδέονται με την αποσάθρωση αργιλοπηριτικών ορυκτών και την διεργασία της πεδογένεση. Επιπλέον, στη συστάδα αυτή ανήκει ο P, στοιχείο που είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις έντονες γεωργικές δραστηριότητες και τη χρήση αγροχημικών προϊόντων στη λεκάνη Σαριγκιόλ και αποδίδεται κυρίως στην εκτεταμένη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων ( Petrotou et al., 2012, Vasileiou et al., 2019). Η σχέση του P με τα Cu, Pb, Cd, Zn που προκύπτει από την εικόνα 28 είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της εργασίας των Petrotou et al. (2012), οι οποίοι αποδίδουν τις αυξημένες περιεκτικότητες των προαναφερθέντων ιχνοστοιχείων στις εκτεταμένες ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην περιοχή μελέτης και κυρίως στις υψηλές περιεκτικότητες σε δυνητικά τοξικά στοιχεία που καταγράφονται στα φωσφορικά λιπάσματα της της Ελληνικής αγοράς (Papazotos et al., 2019). Επιπροσθέτως, αξίζει να αναφερθεί ότι στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η παρουσία Pb, Cd και As στα εδάφη σχετίζεται άμεσα με την χρήση λιπασμάτων (Wentao, 2012; Nziguheba and Smolders, 2008; Feng et al., 2009; Molina et al., 2009).



Η **συστάδα 3** περιλαμβάνει 2 χημικές παραμέτρους τα Ca και Sr. Τα στοιχεία Sr, Ca παρουσιάζουν παρόμοια γεωχημική συμπεριφορά ως κατιόντα αλκαλικών γαιών και υποδεικνύουν την παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι) στην περιοχή μελέτης (Petrotou et al., 2012; Heuel-Fabianek, 2014; Ober, 2010).

### 5.3 Παραγοντική ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε κατά την παραγοντική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα 34 εδαφικά δείγματα. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την τελική παραγοντική ανάλυση είναι Mn, K, Sr, As, Ni, Si, Al, Ca, Mg, Na, Fe, P, Cr, Cd, Co, Cu, Pb, Zn. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι 4 και ο στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (KMO) είναι 0.671. Οι 4 παράμετροι εξηγούν το 84.91% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων.

**Ο παράγοντας I** εξηγεί το 38% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει τα στοιχεία Co, Fe, Mn, Mg, Ni, Na, Cr, As, Si, Ca, Sr, με σημαντική θετική φόρτιση στα στοιχεία Co, Fe, Mn, Mg, Ni, Na, Cr, As η οποία κυμαίνεται από 0.75 έως 0.94 και με σημαντική αρνητική συσχέτιση στα στοιχεία Ca και Sr. Ο πρώτος παράγοντας μπορεί να αποδοθεί σε στοιχεία του γεωγενούς περιβάλλοντος αφού τα Cr, Ni, Co, As, Mg, Fe βρίσκονται εμπλουτισμένα στα υπερβασικά πετρώματα (Tashakor et al., 2018, Ryan et al., 2011, Oze et al., 2004, Fantoni et al., 2002). Ακόμα ο πρώτος παράγοντας μπορεί να αποδοθεί επίσης στην παρουσία οξειδίων και υδροξειδίων στα εδάφη της περιοχής. (Petrotou et al., 2012) Όταν ο Fe(II) απελευθερώνεται από πυριτικά ορυκτά, οξειδώνεται και καταβυθίζεται ως οξείδιο ή υδροξείδιο του Fe. Οι επικρατούσες αλκαλικές γεωχημικές συνθήκες ευνοούν την καταβύθιση Fe (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Κατά τη διάρκεια της αποσάθρωσης, οι ενώσεις Mn οξειδώνονται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, τα οξείδια του Mn που απελευθερώνονται αποτίθενται με τη μορφή δευτερογενών ορυκτών του Mn. (Petrotou et al., 2012). Η περιεκτικότητα Mn στα εδάφη αναφέρεται ευνοούν τη συσσώρευση του Fe και άλλων ιχνοστοιχείων (Bartlett, 1986). Το As συνδέεται με τα οξείδια του σιδήρου και τα ένυδρα οξείδια στα υπερβασικά πετρώματα, αφού βρέθηκε σε αξιοσημείωτες ποσότητες (4 mg/kg, Γεωργακόπουλος κ.ά. 2002α) στα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής και έτσι σχετίζεται άμεσα με τον παράγοντα I. Γενικότερα, στο υπερβασικό περιβάλλον η υψηλή συγκέντρωση As έχει συνδεθεί με την παρουσία σερπεντινιτών, τάλκη-μαγνησίτη και δευτερογενών Fe-οξειδίων/υδροξειδίων (Smedley and Kinniburgh, 2002, Ryan et al., 2011). Επίσης, οι Petrotou et al. (2012) αποδίδουν την παρουσία του As στα εδάφη στα εμπλουτισμένα σε As υπερβασικά πετρώματα της περιοχής μελέτης.

**Ο παράγοντας II** εξηγεί το 28.41% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει τα στοιχεία Al, K, Si, Pb, Cd, Zn, Sr, Ca με σημαντική θετική φόρτιση στα στοιχεία Al, K, Si, Pb, Cd, Zn η οποία κυμαίνεται από 0.58 έως 0.94 και με σημαντική αρνητική συσχέτιση στα στοιχεία Ca και Sr. Ο δεύτερος παράγοντας μπορεί να αποδοθεί σε στοιχεία του γεωγενούς περιβάλλοντος, τα στοιχεία K, Al, Si συνδέονται με την αποσάθρωση αργιλοπυριτικών ορυκτών και την πεδογένεση. Τακτικά, τα προϊόντα φωσφορικών λιπασμάτων περιέχουν μεγάλες ποσότητες Cu, Cd, Pb, Zn, και άλλα στοιχεία, τα οποία θεωρούνται ουσιώδη θρεπτικά συστατικά για τα φυτά. Γι' αυτό και οι υψηλές τιμές αυτών στοιχείων έχουν αναφερθεί σε περιοχές όπου αυτά τα προϊόντα παρασκευάζονται ή εφαρμόζονται (Kabata-Pendias και Pendias 2001; Παπαστέργιος κ.ά. 2009, 2010β, 2011; Petrotou et al., 2012).

**Ο παράγοντας III** εξηγεί το 10.56% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει τα στοιχεία Cu, Zn με σημαντική θετική φόρτιση η οποία κυμαίνεται από 0.46 έως 0.94. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να αποδοθεί σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως είναι η γεωργία μέσω της εκτενούς χρήσης λιπασμάτων. τα προϊόντα φωσφορικών λιπασμάτων περιέχουν μεγάλες ποσότητες Cu, Cd, Pb, Zn. (Kabata-Pendias και Pendias 2001; Παπαστέργιος κ.ά. 2009, 2010β, 2011; Petrotou et al., 2012).

**Ο παράγοντας IV** εξηγεί το 7.9% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει το στοιχείο P με σημαντική θετική φόρτιση 0.9. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να αποδοθεί στις εκτεταμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχή και στην χρήση αγροχημικών προϊόντων που αποτελούν την πηγή P στα εδάφη. Gikas et al. 2009; Papadopoulos et al. 2007)

Στο πλαίσιο αξιοποίησης όλων των πρωτογενών δεδομένων, εφαρμόστηκε μια δεύτερη παραγοντική ανάλυση (Πίνακας 13) περιλαμβάνοντας στα δεδομένα εισόδου και τις μεταβλητές του ποσοστού οργανικής ουσίας που προσδιορίστηκε για τα 26 εδαφικά δείγματα. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την τελική παραγοντική ανάλυση είναι Mn, K, Sr, As, Ni, Si, Al, Ca, Mg, Na, Fe, P, Cr, Cd, Co, Cu, Pb, Zn, Ποσοστό Οργανικής Ουσίας 1.3 και 1.4. **Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι 5 και ο στατιστικός έλεγχος των Kaiser Meyer Olkin (KMO) είναι 0.544.** Οι 5 παράμετροι εξηγούν το 84.91% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων.

Ο παράγοντας III εξηγεί το 12.17% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει ως μεταβλητές το ποσοστό οργανικής ουσίας και το P με θετική συσχέτιση η οποία κυμαίνεται από 0.31 έως 0.86. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να αποδοθεί στις εκτεταμένες καλλιέργειες και τις αγροτικές δραστηριότητες της περιοχής.

## **5.4 Δείκτες επιμόλυνσης εδάφους**

### **5.4.1 Pollution load index (PLI) - Δείκτης φορτίου ρύπανσης**

Με βάση τη χωρική κατανομή του δείκτη σχετικά με το φορτίο ρύπανσης PLI (Εικόνα 34) παρατηρείται υψηλότερη συνολική ρύπανση σε 3 από τα 34 δείγματα και χαρακτηρίζονται ως «μέτρια ρυπασμένα». Τα υπόλοιπα δείγματα χαρακτηρίζονται «Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα» και το δείγμα 16S6 ως «μη ρυπασμένα».

### **5.4.2 Enrichment factor (EF) – Συντελεστής εμπλουτισμού**

Τα εδάφη της περιοχής μελέτης φαίνεται να είναι σημαντικά εμπλουτισμένα στα στοιχεία Cr, Ni και As. Και μέτρια εμπλουτισμένα στο Cd. Τα στοιχεία Cr, Ni και As από τους συντελεστές συσχέτισης, την παραγοντική ανάλυση και το HCA προκύπτει ότι σχετίζονται με τα υπερβασικά πετρώματα. Το Cd σχετίζεται με τα φωσφορικά λιπάσματα (Kubier, 2019).

### **5.4.3 Geo-accumulation index (Igeo) - Δείκτης γεωσυσσώρευσης**

Σύμφωνα με τον δείκτη Igeo, τα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, φαίνεται να είναι σημαντικά έως πολύ ρυπασμένα για το As, μέτρια ρυπασμένα για τα στοιχεία Cr και Ni, μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα για το Cd. Τα στοιχεία Cr, Ni και As από τους συντελεστές συσχέτισης, την παραγοντική ανάλυση και το

HCA προκύπτει ότι σχετίζονται με τα υπερβασικά πετρώματα. Το Cd σχετίζεται με τα φωσφορικά λιπάσματα (Kubier, 2019).

Τα αποτελέσματα των δεικτών επιμόλυνσης του εδάφους συμπίπτουν με τις περιεκτικότητες των στοιχείων στα εδαφικά δείγματα. Ο δείκτης PLI βοηθά στον υπολογισμό της συνολικής επιβάρυνσης των δυνητικά τοξικών στοιχείων στις θέσεις δειγματοληψίας.

Τα εδαφικά δείγματα της περιοχής μελέτης μπορούν να χαρακτηριστούν ως «Μη ρυπασμένα έως μέτρια ρυπασμένα» με κύριες πηγές ρύπανσης το Cr το Ni και το As.

## **5.5 Δείκτες ρύπανσης υδάτων**

### **5.5.1 Water quality index (WQI)- Δείκτης Ποιότητας Υδάτων**

Ο δείκτης WQI (Brown et al., 1972) δεν λαμβάνει υπόψιν του τις τιμές των δυνητικών τοξικών στοιχείων. Για τον υπολογισμό του WQI χρησιμοποιήθηκαν TDS (mg/L), E.C. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, Eh,  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/L),  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/L),  $\text{Na}^+$  (mg/L),  $\text{K}^+$  (mg/L),  $\text{NO}_3^-$  (mg/L),  $\text{Cl}^-$  (mg/L),  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/L).

Το δείγμα R2 που βρίσκεται βορειοδυτικά στα όρια του ΑΗΣ χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικής ποιότητας. Το 29% των νερών χαρακτηρίζονται ως μέτρια ρυπασμένα ύδατα (φτωχή ποιότητα) και τα υπόλοιπα χαρακτηρίζονται ως ελαφρώς ρυπασμένα ύδατα (καλή ποιότητα).

### **5.5.2 Heavy Metal Pollution Index (HPI) – Δείκτης ρύπανσης δυνητικών τοξικών στοιχείων**

Για τον υπολογισμό του δείκτη ρύπανσης δυνητικών τοξικών στοιχείων HPI χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Se, Zn, Pb, As. Το 81% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυσμένα. Το υπόλοιπο 19% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται ως επιβαρυσμένα.

Κατά τον υπολογισμό του δείκτη HPI με τα στοιχεία Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Se, Zn, Pb τα νερά χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυσμένα σε ποσοστό 62% των δειγμάτων. Για τα στοιχεία Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Se, Zn, Pb, As, Fe, Cd χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυσμένα το 100% των δειγμάτων. Ο δείκτης HPI εξαρτάται από τους συντελεστές βαρύτητας των στοιχείων. Γι' αυτό και όταν προστίθενται στοιχεία στην εξίσωση του HPI η σημαντικότητα κάθε παράγοντα μειώνεται. Σε αυτή την εργασία θεωρούμε ότι ο HPI για τα Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Se, Zn, Pb, As είναι πιο αντιπροσωπευτικός, αφού όλες οι συγκεντρώσεις των στοιχείων είναι μεγαλύτερες από το όριο ανιχνευσιμότητας (Farnham et al., 2002).

### **5.5.3 Heavy metal evaluation index (HEI) – Δείκτης αξιολόγησης δυνητικών τοξικών στοιχείων**

Το δείγμα N11 χαρακτηρίζεται ως πολύ καθαρό. Το 21% των νερών χαρακτηρίζονται ως «καθαρό», το 55% των νερών χαρακτηρίζονται ως «ελαφρώς επιβαρυσμένο», το 10% των νερών χαρακτηρίζονται ως «μέτρια επιβαρυσμένο», Το 7% των νερών χαρακτηρίζονται ως «έντονα επιβαρυσμένο» και ένα δείγμα χαρακτηρίζεται «σημαντικά επιβαρυσμένο».

## 5.6 Συνδυαστικά αποτελέσματα νερών- εδαφών - Δυνητικά τοξικά στοιχεία που παρουσιάζουν ενδιαφέρον

**Αρσενικό (As):** Οι περιεκτικότητες As, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα από 3.8 ppm έως 29.7 ppm. Αν και καταγράφονται περιεκτικότητες As στα εδάφη 2 έως 18 φορές μεγαλύτερες από τη μέση σύσταση του φλοιού της γης (Mason and Moore, 1982), όλες οι τιμές είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς και την τιμή παρέμβασης της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Στα περισσότερα δείγματα υπόγειων νερών οι συγκεντρώσεις του As είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς στη ολλανδική λίστα για τους υπόγειους υδροφόρους που θεωρούνται ως βαθιοί (βάθος στάθμης >10m). Δυο δείγματα τα οποία βρίσκονται βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης στη παρυφές του Βέρμιου παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τη τιμή αναφοράς και μικρότερες από την τιμή παρέμβασης της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Σε αντίθεση με τα περισσότερα δυνητικά τοξικά στοιχεία τα οποία δυνητικά υπάρχουν στο υδατικό διάλυμα με τη μορφή κατιόντων (π.χ.  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ) των οποίων η διαλυτότητα μειώνεται με αύξηση του pH (Smedley and Kinniburgh, 2002), το  $As^{5+}$ , όπως και τα περισσότερα οξυανιόντα, τείνουν να προσροφώνται λιγότερο κι επομένως κινητοποιούνται περισσότερο με αύξηση του pH (Dzombak and Morel, 1990).

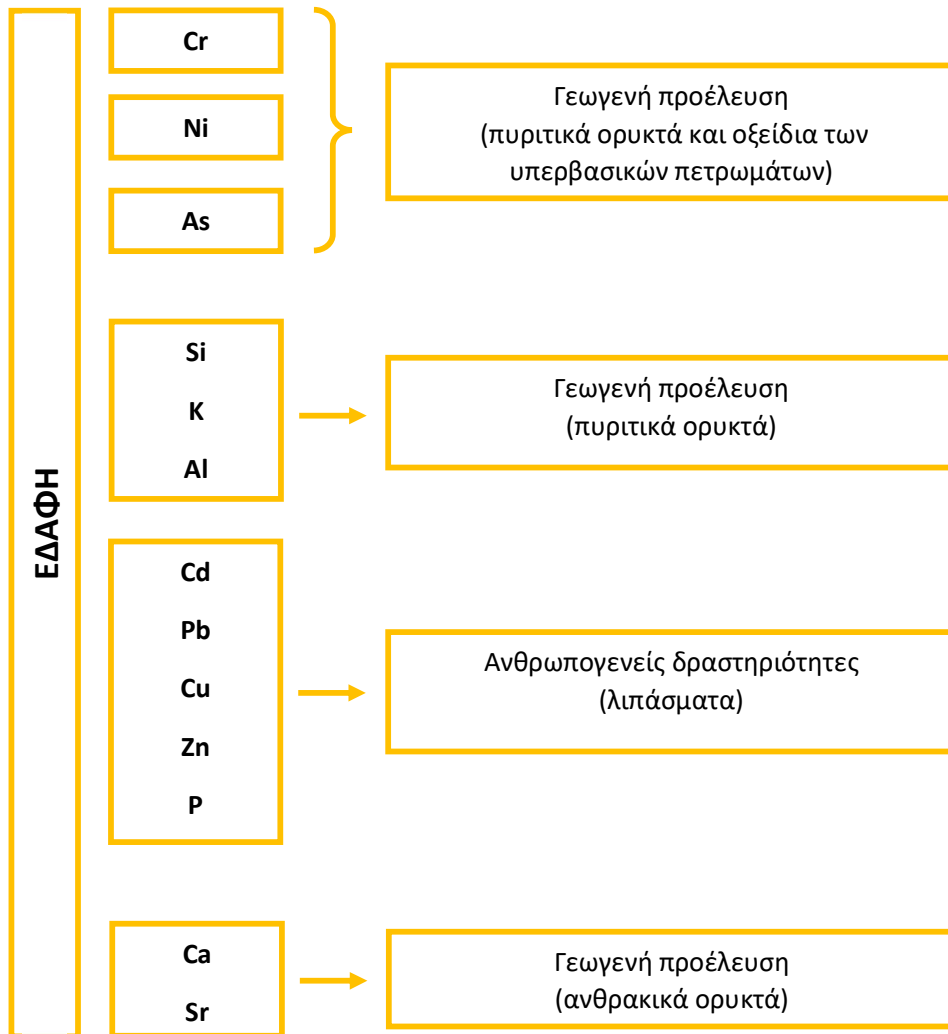
**Νικέλιο (Ni):** Οι περιεκτικότητες Ni, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα από 216 ppm έως 690 ppm. Καταγράφονται περιεκτικότητες Ni στα εδάφη 3 έως 9 φορές μεγαλύτερες από τη μέση σύσταση του φλοιού της γης (Mason and Moore, 1982) και υψηλότερες από την τιμή αναφοράς και την τιμή παρέμβασης της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Εντούτοις, στα υπόγεια νερά το 65% των συγκεντρώσεων του Ni είναι χαμηλότερες από την τιμή αναφοράς της ολλανδικής λίστας για τους υπόγειους υδροφόρους που είναι βαθιοί (βάθος στάθμης >10m). Το 35% των συγκεντρώσεων είναι μεγαλύτερες από τη τιμή αναφοράς και όλες οι συγκεντρώσεις είναι μικρότερες από την τιμή παρέμβασης της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Το  $Ni^{+2}$  είναι ευκίνητο σε όξινες συνθήκες. Σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή του Ni στις διάφορες εδαφικές φάσεις είναι τα αργιλικά ορυκτά και τα ένυδρα οξειδία του Fe και του Mn (Kabata-Pendias et al., 1992). Συνεπώς οι συγκεντρώσεις του Ni στα νερά είναι πολύ χαμηλότερες σε σχέση με τις περιεκτικότητες στα εδαφικά δείγματα.

**Χρώμιο (Cr):** Οι περιεκτικότητες Cr, κυμαίνονται στα εδαφικά δείγματα από 320 ppm έως 753 ppm. Καταγράφονται τιμές με 3 έως 7.5 φορές μεγαλύτερη περιεκτικότητα από τη μέση σύσταση του φλοιού της γης (Mason and Moore, 1982). Όλες οι τιμές είναι υψηλότερες από την τιμή αναφοράς της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000) και το 82% των περιεκτικότητων των δειγμάτων είναι μεγαλύτερο από την τιμή παρέμβασης της Ολλανδικής λίστας (VROM, 2000). Στα υπόγεια νερά το 65% των συγκεντρώσεων του Cr είναι υψηλότερες από την τιμή παρέμβασης της ολλανδική λίστα για τους υπόγειους υδροφόρους (βάθος στάθμης >10m). Το 93% των συγκεντρώσεων είναι μεγαλύτερες από τη τιμή αναφοράς της Ολλανδικής λίστας. Η κατανομή των ενώσεων που περιέχουν  $Cr^{3+}$  και  $Cr^{6+}$  εξαρτάται από το pH, το Eh, την παρουσία οξειδωτικών ή αναγωγικών ενώσεων, την κινητική των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων, το σχηματισμό συμπλόκων ή αδιάλυτων αλάτων  $Cr^{3+}$  και τη συγκέντρωση του Cr (Sharma et al., 2008). Στο νερό, το  $Cr^{3+}$  εμφανίζεται ως κατιόν που σχηματίζει υδατικά σύμπλοκα και υδροξείδια που καταβυθίζονται (Sharma et al., 2008). Η κινητοποίηση του Cr πραγματοποιείται σε μεγάλο εύρος pH.

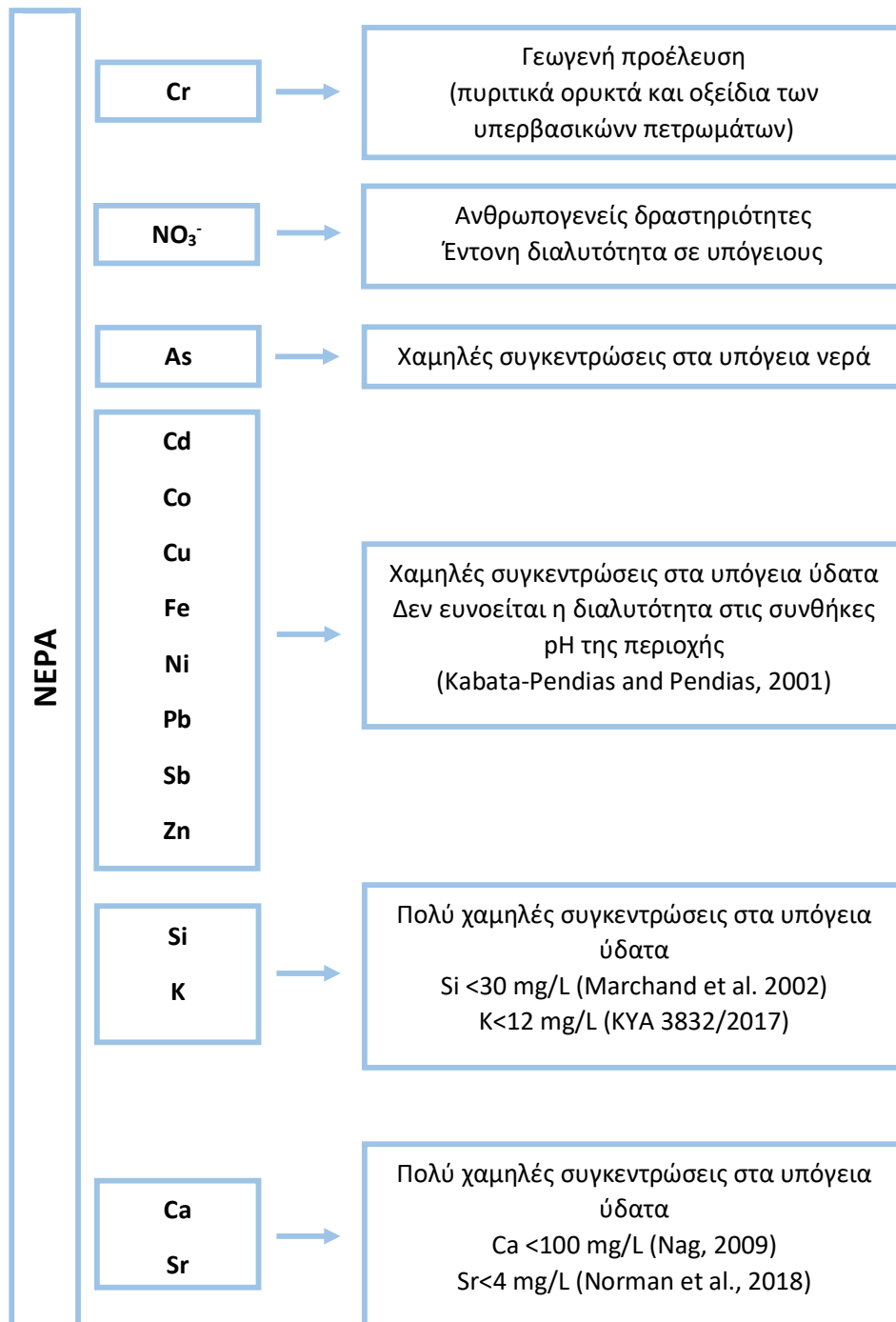


## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στην περιοχή έχουν ταυτοποιηθεί Cr-ούχες ορυκτολογικές φάσεις όπως σπινέλιοι (χρωμίτης και Cr-μαγνητίτης), σερπεντίνης, πυρόξενος, αμφίβολος, χλωρίτης κ.α. (Ερευνητικό Έργο ΕΜΠ, 2016; Petrotou et al., 2012) Επιπλέον τόσο στις ορυκτολογικές φάσεις των υπερβασικών πετρωμάτων, όσο και στα εδάφη της περιοχής υπάρχουν οξειδία και υδροξειδία Fe/Mn. Γενικότερα, τα υπερβασικά πετρώματα είναι πλούσια σε MgO και FeO και εμπλουτισμένα σε δυνητικά τοξικά στοιχεία μεταξύ των οποίων As, Co, Cr, Ni (Ryan et al., 2011; Margiotta et al., 2012; Petrotou et al., 2012; Kelepertzis et al., 2013; Vithanage et al., 2014; Tashakor et al., 2018).
- Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Cr παρουσιάζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στο οποίο τα εδάφη εμφανίζουν υψηλό ποσοστό Cr-ούχου σερπεντίνη, λόγω της τροφοδοσίας της λεκάνης με κλαστικό υλικό από τον ορεινό όγκο του Βερμίου, στον οποίο επικρατούν τα υπερβασικά πετρώματα.
- Τα υπόγεια ύδατα στην περιοχή μελέτης μπορούν να χαρακτηριστούν από καλή έως μέτρια ποιότητα και η πλειονότητα των δειγμάτων θεωρούνται μη επιβαρυμένα (81% με βάση το δείκτη HPI). Τα περισσότερα από τα δυνητικά τοξικά στοιχεία παρουσιάζουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στα νερά, κυρίως λόγω των αλκαλικών συνθηκών που επικρατούν στη λεκάνη οι οποίες δεν ευνοούν την κινητοποίηση των δυνητικά τοξικών στοιχείων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του Cr και του NO<sub>3</sub><sup>-</sup> έχουν τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση στα υπόγεια ύδατα.
- Όλα τα δείγματα νερού στη λεκάνη Σαριγκιόλ είναι σχεδόν ουδέτερα έως ελαφρώς αλκαλικά (pH 7.3–8.5) και οξειδωτικά (Eh = 194.4–412 mV). Τέτοιες συνθήκες είναι τυπικές για υδροφορείς που σχετίζονται με υπερβασικά και ανθρακικά πετρώματα (Barnes and O'Neil 1969; Neal και Stanger 1983; Marques et al. 2008; Margiotta et al. 2012; Vasileiou et al. 2017).
- Παρόλου που στα εδαφικά δείγματα παρατηρούνται υψηλές περιεκτικότητες γεωγενούς Ni, στα νερά οι συγκεντρώσεις του Ni είναι κάτω και από τις τιμές αναφοράς της Ολλανδικής λίστας, λόγω της χαμηλής κινητικότητας του Ni σε αλκαλικές συνθήκες, όπως αυτές που επικρατούν στην περιοχή μελέτης.
- Οι συγκεντρώσεις των δυνητικά τοξικών στοιχείων Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, U, Sb, Se, U, Zn στα υπόγεια νερά είναι μικρότερες των ανώτερων αποδεκτών ορίων βάσει της ΚΥΑ 3832/2017 για την ποιότητα των φυσικών υπόγειων νερών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Στα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία οι συγκεντρώσεις ήταν μικρότερες του ορίου ανίχνευσης του οργάνου.



Εικόνα 47 Συνοπτική παρουσίαση προέλευσης στοιχείων στα εδάφη



Εικόνα 48 Συνοπτική παρουσίαση προέλευσης στοιχείων στα υπόγεια ύδατα

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Μανδηλαράς Δ. (2005). Περιβαλλοντική – Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γλαύκου. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών

Αλιφραγκής Δημήτριος (2008), «Το έδαφος Γένεση-Ιδιότητες-Ταξινόμηση»

Αναστόπουλος, Ι., & Κούκουζας, Κ. (1972). Γεωλογική και κοιτασματολογική μελέτη νοτίου τμήματος λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας. Γεωλογική και γεωφυσική μελέτη του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους.

Βασιλάκης Στυλιανός (2021) «Οι επιπτώσεις των αγροτικών δραστηριοτήτων στην ποιότητα των εδαφών και των υπογείων νερών στη περιοχή της λεκάνης των Ψαχνών κεντρικής Εύβοιας» Αθήνα, 2021, Διπλωματική εργασία

ΔΕΗ (2012) Ετήσιες Εκθέσεις Ποιότητας Περιβάλλοντος Ορυχείων Πτολεμαΐδας.

Δημητρακόπουλος Δ., Τσουφλίδου Σ., Τερζοπούλου Ε., Γρηγοράκου Ε. (2001). «Υδρογεωλογική Μελέτη Αποστράγγισης και Προστασίας Ορυχείου Νότιου Πεδίου», Αθήνα 2001.

Δημητρακόπουλος, Δ., Γρηγοράκου, Ε. (2010). Χρήση της μαθηματικής προσομοίωσης στο σχεδιασμό της αποστράγγισης του Νότιου λιγνιτικού πεδίου λεκάνης Πτολεμαΐδας. Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, τόμος 20, Ιαν- Δεκ. 2010, σελ 51-70.

Δημητρακόπουλος, Δ., Λουλούδης, Γ., Κουτσοθεοδώρου, Ε. (2014). Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο υδατικό σύστημα και πορεία αποστράγγισης Ορυχείου Νότιου Πεδίου, Αθήνα.

ΕΛΙΜΕΙΑ (1998). Ερευνητικό Πρόγραμμα “ ΕΛΙΜΕΙΑ-Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε περιοχές λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων - Πιλοτική εφαρμογή στο Νότιο Πεδίο Πτολεμαΐδας”, Συνεργαζόμενοι φορείς ΔΕΗ., ΕΜΠ., ΚΤΕΣΚ, ΔΕΥΑ. Κοζάνης, ΙΝΤΕΛΕΚ ΑΕ, χρηματοδότηση από ΓΓΕΤ.

ΕΛΙΜΕΙΑ (1998). Ερευνητικό Πρόγραμμα “ ΕΛΙΜΕΙΑ-Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε περιοχές λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων – Πιλοτική εφαρμογή στο Νότιο Πεδίο Πτολεμαΐδας”, Συνεργαζόμενοι φορείς ΔΕΗ., ΕΜΠ., ΚΤΕΣΚ, ΔΕΥΑ. Κοζάνης, ΙΝΤΕΛΕΚ ΑΕ, χρηματοδότηση από ΓΓΕΤ.

Ερευνητικό Πρόγραμμα ΔΠΠ1511434\_ΕΜΠ623147(2016): «Ορυκτολογική - ορυκτοχημική, πετρολογική και γεωχημική συσχέτιση της παρουσίας βαρέων μετάλλων, με έμφαση στο χρώμιο, στους γεωλογικούς σχηματισμούς (υπερβασικά πετρώματα, λιγνίτης, ενδιάμεσα στείρα) και στα προϊόντα καύσης του λιγνίτη (ιπτάμενη τέφρα), με την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών στα λιγνιτικά πεδία της λεκάνης Σαριγκιόλ»

ΙΓΜΕ (1980). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, 1:50000, Φύλλο Κοζάνη, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

ΙΓΜΕ (2010). Ερευνητικό πρόγραμμα “Χημικές αναλύσεις υπογείων νερών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτ. Μακεδονίας”, στο πλαίσιο του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης.



ΙΓΜΕ (2010). Ερευνητικό πρόγραμμα «Χημικές αναλύσεις υπογείων νερών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτ. Μακεδονίας», στο πλαίσιο του Γ Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης - Έργο :Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας (7.3.2.1)

Λουλούδης, Γ. 1991 .Υδρογεωλογικές συνθήκες Νοτίου λιγνιτοφόρου πεδίου Πτολεμαΐδας. Προβλήματα υπογείων νερών και αντιμετώπιση τους κατά την εκμετάλλευση. Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, 503 σελ.

Μουντράκης, Δ., (2010) Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press, 374p, Θεσσαλονίκη.

Παπαζώτος, Π., (2020).Γεωχημικό αποτύπωμα υπερβασικών περιβαλλόντων στην ποιότητα υπογείων νερών, με έμφαση στο χρώμιο και το αρσενικό. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Παυλίδης, Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας - Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Παυλίδης, Σ., & Μουντράκης, Δ. (1986). Νεοτεκτονική, Εισαγωγή στη μελέτη των πρόσφατων γεωλογικών δομών. University Studio Press, 135 σελ, Θεσσαλονίκη.

### **Ξένη βιβλιογραφία**

Adimalla, N., Qian, H. & Wang, H. (2019). Assessment of heavy metal (HM) contamination in agricultural soil lands in northern Telangana, India: an approach of spatial distribution and multivariate statistical analysis. *Environ Monit Assess* 191, 246 <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7408-1>

Armstrong, J. S., & Soelberg, P. (1968). On the interpretation of factor analysis. *Psychological Bulletin*. doi:10.1037/h0026434

Aschonitis, V. G., Mastrocicco, M., Colombani, N., SalemiE., Kazakis, N., Voudouris, K., & Castaldelli, G. (2012). Assessment of the intrinsic vulnerability of agricultural land to water and nitrogen losses via deterministic approach and regression analysis. *Water, Air, and Soil Pollution*. doi:10.1007/s11270-011-0968-5

Ayed, B., Jmal, I., Sahal, S., Mokadem, N., Saidi, S., Boughariou, E., & Bouri, S. (2017). Hydrochemical characterization of groundwater using multivariate statistical analysis: the Maritime Djeffara shallow aquifer (Southeastern Tunisia). *Environmental Earth Sciences*. doi:10.1007/s12665-017-7168-6

Barbieri, M. (2016) The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. *J. Geol. Geophys.*, 5, 237.

Bartlett, R., & James, B. (1979). Behavior of chromium in soils: III. Oxidation 1. *Journal of Environment Quality*, 8. <https://doi.org/10.2134/jeq1979.00472425000800010008x>

Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., O'Connor, M.F. (1972). A Water Quality Index — Crashing the Psychological Barrier. In: Thomas, W.A. (eds) *Indicators of Environmental Quality*. Environmental Science Research, vol 1. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2856-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2856-8_15)

Buat-Menard, P.; Chesselet, R. Variable (1979), Influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1979, 42, 399–411.

C. Laveuf, S. Cornu, D. Baize, M. Hardy, O. Josière, S. Drouin, A. Bruand, F. Juillot, Effect of pedogenesis on zinc location in soils developed from limestones, *Pedosphere* (in press)

C. Spearman, (1904) , "The proof and measurement of association between two things" *Amer. J. Psychol.*, 15 pp. 72–101

Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 245–276. [https://doi.org/10.1207/s15327906mbr0102\\_10](https://doi.org/10.1207/s15327906mbr0102_10).

Cédric Laveuf, Sophie Cornu, Farid Juillot, Rare earth elements as tracers of pedogenetic processes, *Comptes Rendus Geoscience*, Volume 340, Issue 8, 2008, Pages 523-532, ISSN 1631-0713, <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.07.001>.

Chopin, E.I.B.; Alloway, B.J. Distribution and Mobility of Trace Elements in Soils and Vegetation around the Mining and Smelting Areas of Tharsis, Ríotinto and Huelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain. *Water Air Soil Pollut.* 2007, 182, 245–261.

D. Baize, J. Chrétien, (1994), Les couvertures pédologiques de la plateforme sinémurienne en Bourgogne, *Étude Gestion Sols* 2 7–27.

Dimitrakopoulos D., Koumantakis J., Poutios G., Heliadis K. (1998). Methods of artificial recharge, in areas with open pit exploitation. Case of South Field open pit, West Macedonia, Greece. *Proceedings of 5th international symposium on environmental issues and waste management in energy and mineral production - Swemp '98, Ankara/ Turkey. A.A. Balkema, Rotterdam/1998; pp. 299–305*

Dimitrakopoulos, D., Vasileiou E., Stathopoulos, N., Dimitrakopoulou S. (2016) Estimation of the qualitative characteristics of post mining lakes in different lignite fields in Greece. In: *Drebenstedt, C. & Paul, M.: IMWA 2016— Environ Monit Assess (2019) 191: 509 Page 29 of 34 509*

Dunteman, G.H. (1989). *Principal Components Analysis*. Beverly Hills: Sage

El-Naggar, A.; Shaheen, S.M.; Ok, Y.S.; Rinklebe, J., 2018, Biochar affects the dissolved and colloidal concentrations of Cd, Cu, Ni, and Zn and their phytoavailability and potential mobility in a mining soil under dynamic redox-conditions. *Sci. Total. Environ.* 2018, 624, 1059–1071.

FAO, Overall Study of the Messara Plain. Report on Study of the Water Resources and their Exploitation for Irrigation in Eastern Crete, 1972, FAO Report No. AGL:SF/GRE/31.

Farnham, I. M., Singh, A. K., Stetzenbach, K. J., & Johannesson, K. H. (2002). Treatment of nondetects in multivariate analysis of groundwater geochemistry data. In *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. doi:10.1016/S0169-7439(01)00201

Fazekašová, Danica, František Petrovič, Juraj Fazekaš, Lenka Štofejová, Ivan Baláž, Filip Tulis, and Tomáš Tóth. 2021. "Soil Contamination in the Problem Areas of Agrarian Slovakia" *Land* 10, no. 11: 1248. <https://doi.org/10.3390/land10111248>

Feng, Z.H., Liu, H.F., Wang, X., 2009. Toxic substances contents in fertilizers and its environmental risk assessment in China. *Soils and Fertilizers Sciences in China* 4, S14eS31 (in Chinese)

Field, A. (2009). *Discovering Statistics using SPSS (3 rd edition)*. London: Sage Publications.

Fytianos, K., Tsaniklidi, B., & Voudrias, E. (1998). Leachability of heavy metals in Greek fly ash from coal combustion. *Environment International*, 24, 477–486. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(98\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(98)00027-0).

G.W. Corder, D.I. Foreman, (2009) "Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach", Wiley (2009)

Georgakopoulos, A. (2003). Chemistry and morphology of fly ash samples from the main lignite Power Stations of Northern Greece. In *Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Vol B, Poster Presentations*

Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Iordanidis, A., Fernández-Turiel, J. L., Llorens, J. F., & Gimeno, D. (2002). Environmentally important elements in fly ashes and their leachates of the power stations of Greece. *Energy Sources*, 24, 83–91. <https://doi.org/10.1080/00908310252712325>.

Grigorakou, E., Dimitrakopoulos, D., & Koumantakis, J. (2002). Sensitivity analysis of parameters affecting the dewatering process of an open pit: case-study of South Field, Greece. *Acta Universitatis Carolinae. Geologica.*, 46(2–3), 665–669. Gülaçar, O. F., & Delaloye, M. (1976). Geochemistry of nickel, cobalt and copper in alpine-type ultramafic rocks. *Chemical Geology*, 17, 269–280. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(76\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(76)90041-3).

Heuel-Fabianek, B. (2014). "Partition Coefficients (Kd) for the Modelling of Transport Processes of Radionuclides in Groundwater" (PDF). *Berichte des Forschungszentrums Jülich*. 4375. ISSN 0944-2952.

Iliopoulou, P. (2015). Γεωγραφική ανάλυση [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions. <http://hdl.handle.net/11419/2059>

Jaishankar, M.; Tseten, T.; Anbalagan, N.; Mathew, B.B.; Beeregowda, K.N., (2014), Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip. Toxicol.* 2014, 7, 60–72.

Jankowski Jerzy, Colin R. Ward, David French, Sarah Groves, Mobility of trace elements from selected Australian fly ashes and its potential impact on aquatic ecosystems, *Fuel*, Volume 85, Issue 2, 2006, Pages 243-256, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.05.028>.

Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika.*, 23, 187–200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.

Kaiser, H.F. (1970). A second-generation little jiffy. *Psychometrika*, 35(4):401–415/0048-9697(02)00683-6

Kantiranis, N., Georgakopoulos, A., Filippidis, A. & Drakoulis, A. (2004). Mineralogy and organic matter content of bottom ash samples from Agios Dimitrios power plant, Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, vol. 36, pp. 320-326. doi: 10.12681/bgsg.16673

Li Zhang, Jennifer McKinley, Mark Cooper, Wei Han, Fei Liu, Yuntao Song, Min Peng, Xiujin Liu, Wei Yang, Hangxin Cheng, Transfer processes of potential toxic elements (PTE) between rock-soil systems and soil risk evaluation in the Baoshan area, Yunnan Province, Southwest China, *Applied Geochemistry*, Volume 121, 2020, 104712, ISSN 0883-2927, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104712>.

Liu, C.W., Lin, K.H., & Kuo, Y.M., (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.10>

Loska, K.; Wiechuła, D.; Korus, I. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ. Int.* 2004, 30, 159–165. Durža, O. Využitie Pôdnej Magnetometrie v Environmentálnej Geochemii Ťažkých Kovov/Use of Soil Magnetometry in Environmental Geochemistry of Heavy Metals. *Acta Geol. Univ. Comen.* 2003, 58, 29–55.

Louloudis, G. (1991). Hydrogeological conditions of South lignite bearing field of Ptolemais region. *Confrontation of Environ Monit Assess* (2019) 191: 509 Page 31 of 34 509 groundwater problems during the exploitation. Ph.D. thesis. National Technical University of Athens.

Louloudis, G., Stathopoulos, N., & Dimitrakopoulos, D. (2017). Groundwater flow simulation via mathematical modeling and drainage planning of mavropigi mining site. 11th International Hydrogeological Congress of Greece. Athens

Marchand D, Rayan MC, Bethune DN, Chu A (2002) Groundwater–surface water interaction and nitrate origin in municipal water supply aquifers, Sanjose, Costa Rica

Marrugo-Negrete, J.; Pinedo-Hernández, J.; Díez, S. (2017), Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environ. Res.* 2017, 154, 380–388.

Meersmans, J., Van Wesemael, B. and Van Molle, M. (2009), Determining soil organic carbon for agricultural soils: a comparison between the Walkley & Black and the dry combustion methods (north Belgium). *Soil Use and Management*, 25: 346-353. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00242.x>

Metaxas, A., Karageorgiou, D.E., Varvarousis, G., Kotis, Th., Ploumidis, M., & Papanikolaou, G. 2007. Geological evolution-stratigraphy of Florina, Ptolemaida, Kozani and Saradaporo graben. *Bulletin of Geological Society of Greece*, XXXX, (1), 161-172.

Mohamed, B.A.; Ellis, N.; Kim, C.S.; Bi, X. The role of tailored biochar in increasing plant growth, and reducing bioavailability, phytotoxicity, and uptake of heavy metals in contaminated soil. *Environ. Pollut.* 2017, 230, 329–338.

Mohan SV, Nithila P, Reddy SJ (1996) Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index. *J Environ Sci Health A31:283–289- 5*

Molina, M., Aburto, F., Calderóón, R., Cazanga, M., Escudey, M., (2009). Trace element composition of selected fertilizers used in Chile: phosphorus fertilizers as a source of long-term soil contamination. *Soil Sediment Contam. Int. J.* 18, 497e511

Müller, G. The heavy metal pollution of the sediments of Neckars and its tributary: A stocktaking. *Chem. Zeit.* 1981, 105, 157–164

Nag SK (2009) Quality of groundwater in parts of ARSA block, Purulia District, West Bengal. *Bhu-Jal* 4(1):58–64

Norman J.E., P.L. Toccalino, S.A. Morman (2018), Health-based Screening Levels for Evaluating Water-Quality Data (second ed.), U.S. Geol. Surv. National Water-Quality Assessment Program web page, 10.5066/F71C1TWP



Nziguheba, G., Smolders, E., 2008. Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphorus fertilizers in European countries. *Sci. Tot. Environ.* 390 (1), 53e57

Ober, Joyce A. "Mineral Commodity Summaries 2010: Strontium" (PDF). United States Geological Survey. Retrieved 14 May 2010.

Panagiotis Papazotos, Eleni Vasileiou, Maria Perraki, Elevated groundwater concentrations of arsenic and chromium in ultramafic environments controlled by seawater intrusion, the nitrogen cycle, and anthropogenic activities: The case of the Gerania Mountains, NE Peloponnese, Greece, *Applied Geochemistry*, Volume 121, 2020, 104697, ISSN 0883-2927, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104697>.

Papazotos, P., Vasileiou, E., & Perraki, M. (2019). The synergistic role of agricultural activities in groundwater quality in ultramafic environments: the case of the Psachna basin, Central Euboea. Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 317. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7430-3>.

Perraki M. (2016). Mineralogical, petrological and geochemical study of heavy minerals with emphasis on chromium in the geological formations (ultrabasic rocks, lignite, clay formations) and the coal-fired products (fly ash) and the quality of surficial and underground aquifers of the Sarigkiol basin (NW Greece). NTUA, final report, p. 826.

Perraki Maria, Eleni Vasileiou, Georgios Bartzas, Tracing the origin of chromium in groundwater: Current and new perspectives, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Volume 22, 2021, 100267, ISSN 2468-5844, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100267>.

Petrotou, A., Skordas, K., Papastergios, G., & Filippidis, A. (2012). Factors affecting the distribution of potentially toxic elements in surface soils around an industrialized area of northwestern Greece. *Environmental Earth Sciences*. doi:10.1007/s12665-011-1127-4

Reimann, C.; de Caritat, P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: Regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Sci. Total. Environ.* 2005, 337, 91–107.

RoyChowdhury, A.; Datta, R.; Sarkar, D. Heavy Metal Pollution and Remediation. *Green Chem.* 2018, 359–373.

Sastre, J.; Sahuquillo, A.; Vidal, M.; Rauret, G. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: Microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction. *Anal. Chim. Acta* 2002, 462, 59–72.

Sdiri, Ali. (2019). Silicates enhanced the removal of heavy metals in aqueous systems.. 5. <https://www.researchgate.net/publication/336461398>

Sharma, S. K., Petrusevski, B., & Amy, G. (2008). Chromium removal from water: A review. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*. doi:10.2166/aqua.2008.080

Smith David B., Laurel G. Woodruff, Richard M. O’Leary, William F. Cannon, Robert G. Garrett, James E. Kilburn, Martin B. Goldhaber, (2009), Pilot studies for the North American Soil Geochemical Landscapes Project – Site selection, sampling protocols, analytical methods, and quality control protocols, *Applied*

Geochemistry, Volume 24, Issue 8, Pages 1357-1368, ISSN 0883-2927, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.04.008>.

Tziritis, E., Kelepertzis, E., Korres, G., Perivolaris, D., & Repani, S. (2012). Hexavalent chromium contamination in groundwaters of Thiva Basin, Central Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. doi:10.1007/s00128-012-0831-4

Vasileiou, E., Dimitrakopoulos, D., Papazotos, P., Oikonomopoulos, I., Stathopoulos, N., Skliros, V., & Perraki, M. (2018). Do lignite combustion products affect the groundwater quality near power plants of the Western Macedonia Lignite Center? 14th international symposium of continuous surface mining, Thessaloniki, Greece, September 23–26, 2018

Vasileiou, E., Papazotos, P., Dimitrakopoulos, D. (2019) Expounding the origin of chromium in groundwater of the Sarigkiol basin, Western Macedonia, Greece: a cohesive statistical approach and hydrochemical study. *Environ Monit Assess* 191, 509 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7655-1>

Vasileiou, E., Perraki M., & Dimitrakopoulos D. (2015). Using leaching tests to investigate mine water contamination. The case study of Open South Lignite Field, Western Macedonia, Greece. Volume 40, 2015, *Freiberg Online Geoscience (FOG) Electronic Journal* Registered under ISSN 1434-7512

Vasileiou, E., Perraki, M., & Dimitrakopoulos, D. (2017). Hydrochemical characteristics of mine water in the lignite South Field, Western Macedonia, Greece. *Proceedings of 11th hydrogeological congress*, 4–7 October, Athens Vasileiou, E., Perraki, M., Stamatis, G., & Gartzos, E. (2014). The effects of water rock interaction and the human activities on the occurrence of hexavalent chromium in waters. The case study of the Psachna basin, Central Euboea, Greece. *EGU General Assembly 2014*, 27 April–2 May, 2014 in Vienna, Austria, id.15467

Voudouris, K. (2009). Assessing groundwater pollution risk in Sarigkiol basin, NW Greece. In: *River Pollution Research Progress*, Chapter 7, 265-281. Nova Science Publishers Inc. (Eds: Gallo M., & Herrari M.). ISBN 978-1-60456-643-7.

Voutsis, N., Kelepertzis, E., Tziritis, E., & Kelepertzis, A. (2015). Assessing the hydrogeochemistry of groundwaters in ophiolite areas of Euboea Island, Greece, using multivariate statistical methods. *Journal of Geochemical Exploration*. doi:10.1016/j.gexplo.2015.08.007

VROM, (2000). Circular on target values and intervention values for soil remediation: DBO/1999226863. *Netherlands Government Gazette* 39, 1–11.

Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58.

Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. Source: *Journal of the American Statistical Association* (Vol. 58).

WHO (1993). *Guidelines for drinking water quality*. World Health Organization, Geneva. 2nd edn. vol 1: Recommendations, p 188

WHO (2008) *Guidelines for drinking water quality*, vol 1, 3rd edn. World Health Organization, Geneva, p 515

WHO (2011) Guidelines for drinking water quality, 4th edn. World Health Organization, Geneva, p 340

Wojciechowska, E.; Nawrot, N.; Walkusz-Miotk, J.; Matej-Łukowicz, K.; Pazdro, K. Heavy Metals in Sediments of Urban Streams: Contamination and Health Risk Assessment of Influencing Factors. *Sustainability* 2019, 11, 563.

Zhang, Y.; Gu, A.Z.; Cen, T.; Li, X.; He, M.; Li, D.; Chen, J. (2018), Sub-inhibitory concentrations of heavy metals facilitate the horizontal transfer of plasmid-mediated antibiotic resistance genes in water environment. *Environ. Pollut.*, 237, 74–82.

Zhou, H.-Y.; Peng, X.-T.; Pan, J.-M., (2004), Distribution, source and enrichment of some chemical elements in sediments of the Pearl River Estuary, China. *Cont. Shelf Res.*, 24, 1857–1875.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Μέση σύσταση του φλοιού της γης

Πίνακας 25 Μέση σύσταση του φλοιού της γης (ppm) (Mason and Moore 1982).

Στοιχείο	Μ.Ο. στο φλοιό της γης
Si	277200
Al	81300
Mn	950
Ca	36300
Mg	20900
Na	28300
K	25900
Fe	50000
Ti	4400
P	1050
Ba	425
Ce	60
Cr	100
Cs	3
Dy	3
Er	2.8
Eu	1.2
Ga	15
Gd	5.4
Ge	1.5
Hf	3
Ho	1.2
La	30
Lu	0.5
Nb	20
Nd	28
Pr	8.2
Rb	90
Sm	6
Sn	2
Sr	375
Ta	2
Tb	0.9
Th	7.2
Tm	0.5
U	1.8
V	135
W	1.5
Y	33
Yb	3.4
Zr	165
As	1.8
Bi	0.2
Hg	0.08
In	0.1
Re	0.001
Sb	0.2
Se	0.05
Te	0.01

Στοιχείο	Μ.Ο. στο φλοιό της γης
Tl	0.5
Ag	0.07
Cd	0.2
Co	25
Cu	55
Li	20
Mo	1.5
Ni	75
Pb	13
Sc	22
Zn	70



Πλήρεις χημικές αναλύσεις

Original code	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	BaO	LOI	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Θ3</b>	41.3	10.3	6.09	13.1	6.25	0.54	1.54	0.081	0.52	0.15	0.15	0.01	0.03	20.4	100.45
<b>S31</b>	40.9	9.95	7.41	10.15	8.22	0.88	1.26	0.088	0.78	0.16	0.23	0.01	0.03	19.15	99.22
<b>S5</b>	39.9	10.3	6.04	12.85	4.75	0.6	1.32	0.074	0.64	0.14	0.19	0.01	0.03	21.9	98.74
<b>Θ2</b>	42	10.75	6.28	10.7	6.08	0.55	1.58	0.08	0.55	0.16	0.14	0.01	0.03	19.2	98.1
<b>S-RYA-ARD-1</b>	41.18	10.08	7.80	10.37	9.59	0.96	1.34	0.096	0.82	0.17	0.27		0.03	17.19	99.90
<b>S-RYA-3A</b>	39.32	9.95	6.79	13.75	7.12	0.79	1.32	0.086	0.77	0.15	0.24		0.03	19.36	99.66
<b>S3</b>	38.29	9.19	4.78	17.3	2.97	0.48	1.14	0.102	0.44	0.07	0.12		0.02	24.20	99.11
<b>S4</b>	30.54	9.13	4.27	21.45	2.86	0.36	1.24	0.047	0.47	0.07	0.24		0.03	28.87	99.57
<b>S5</b>	31.86	9.69	4.89	20.32	3.13	0.34	1.24	0.05	0.49	0.08	0.19		0.03	27.75	100.07
<b>S16</b>	34.01	9.88	4.61	17.75	3.14	0.41	1.48	0.06	0.50	0.06	0.28		0.03	27.67	99.88
<b>ALSILIO</b>	31.8	8.3	5.43	18.5	7.78	0.64	1.02	0.064	0.61	0.11	0.13	0.01	0.02	26.5	100.91
<b>KOKKIN</b>	41.8	11.7	6.44	12.4	4.75	0.59	1.48	0.073	0.69	0.14	0.26	0.01	0.03	20.8	101.16
<b>W12</b>	42.1	11.25	6.47	11.2	6.33	0.56	1.62	0.081	0.56	0.16	0.14	0.01	0.03	18.45	98.95
<b>S3</b>	44.8	12.75	6.18	9.18	3.81	0.61	1.7	0.058	0.68	0.12	0.23	0.01	0.04	19.55	99.71
<b>S6</b>	41.2	10.35	7.75	9.95	8.88	0.9	1.31	0.09	0.81	0.16	0.28	0.01	0.03	17.7	99.41
<b>S7</b>	34.9	9.59	4.39	17.3	3.24	0.48	1.47	0.05	0.48	0.07	0.19	0.01	0.03	26.1	98.3
<b>S8</b>	32.2	9.75	4.45	20.5	2.95	0.39	1.32	0.045	0.49	0.06	0.24	0.02	0.03	28.2	100.65
<b>S14</b>	47.8	13.95	6.87	5.62	5.33	0.74	2.11	0.059	0.76	0.15	0.19	0.01	0.04	16.1	99.72
<b>19SS2</b>	48.5	13.35	6.44	5.76	3.57	0.62	2.17	0.072	0.68	0.14	0.32	0.01	0.04	17.85	99.51
<b>19SS3</b>	38.3	9.17	6.43	14.05	8.43	0.93	1.11	0.074	0.76	0.14	0.25	0.01	0.02	19.35	99.01
<b>19SS4</b>	33.8	9.75	5.31	11.85	6.43	0.56	1.27	0.051	0.58	0.1	0.22	0.01	0.03	29.5	99.46
<b>19SS5</b>	43.9	11	6.42	11.2	6.5	0.62	1.6	0.086	0.57	0.15	0.15	0.01	0.03	17.5	99.73
<b>S2</b>	39.66	10.56	6.55	15.1	5.64	0.69	1.2	0.08	0.79	0.13	0.22	0.007	0.01	17.8	0.003
<b>S4</b>	43.62	11.33	6.8	10.7	8.1	0.54	1.61	0.11	0.6	0.15	0.23	0.007	0.02	15.9	0.034
<b>S5</b>	43.45	11.37	6.48	12.93	5.48	0.85	1.63	0.08	0.77	0.13	0.3	0.012	0.02	16.4	0.045
<b>S10</b>	39.75	9.28	6.75	14.89	8.7	1.03	1.11	0.08	0.85	0.15	0.25	0.008	0.01	16.94	0.002
<b>S11</b>	35.35	8.61	5.71	15.72	9.68	0.65	1.06	0.08	0.63	0.13	0.22	0.01	0.01	21.66	0.012
<b>S12</b>	35.83	10.98	5.51	12.16	8.46	0.49	1.41	0.05	0.6	0.12	0.24	0.01	0.02	23.63	0.064
<b>S13</b>	42.46	11.73	6.75	11.41	7.31	0.71	1.54	0.07	0.75	0.16	0.19	0.011	0.02	16.87	<0.002
<b>W23</b>	42.27	11.44	5.7	14.98	3.5	0.55	1.4	0.08	0.63	0.13	0.22	0.008	0.03	19.16	0.01
<b>19SS1</b>	35.18	10.52	4.71	18.59	3.1	0.42	1.44	0.05	0.54	0.06	0.3	0.017	0.02	24.36	0.045
<b>19SS6</b>	51.59	14.55	6.94	5.6	4.05	0.69	2.14	0.07	0.75	0.14	0.22	0.008	0.03	12.32	0.014
<b>19SS7</b>	36.43	9.52	4.62	20.03	3.71	0.54	1.48	0.06	0.51	0.07	0.18	0.011	0.02	22.84	0.045
<b>19SS8</b>	40.09	9.44	5.37	16.78	5.82	0.6	1.48	0.08	0.52	0.12	0.23	0.008	0.02	19.42	0.016
<b>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ</b>	<b>39.59</b>	<b>10.57</b>	<b>5.98</b>	<b>13.65</b>	<b>5.75</b>	<b>0.63</b>	<b>1.45</b>	<b>0.07</b>	<b>0.64</b>	<b>0.12</b>	<b>0.22</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>20.90</b>	<b>66.41</b>
<b>MAX</b>	<b>51.59</b>	<b>14.55</b>	<b>7.80</b>	<b>21.45</b>	<b>9.68</b>	<b>1.03</b>	<b>2.17</b>	<b>0.11</b>	<b>0.85</b>	<b>0.17</b>	<b>0.32</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>29.50</b>	<b>101.16</b>
<b>MIN</b>	<b>30.54</b>	<b>8.30</b>	<b>4.27</b>	<b>5.60</b>	<b>2.86</b>	<b>0.34</b>	<b>1.02</b>	<b>0.05</b>	<b>0.44</b>	<b>0.06</b>	<b>0.12</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>12.32</b>	<b>0.00</b>
<b>ΔΙΑΜΕΣΟΣ</b>	<b>40.00</b>	<b>10.30</b>	<b>6.23</b>	<b>13.02</b>	<b>5.73</b>	<b>0.60</b>	<b>1.43</b>	<b>0.07</b>	<b>0.62</b>	<b>0.14</b>	<b>0.23</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>19.39</b>	<b>99.11</b>
<b>ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>	<b>4.98</b>	<b>1.45</b>	<b>0.98</b>	<b>4.25</b>	<b>2.19</b>	<b>0.18</b>	<b>0.28</b>	<b>0.02</b>	<b>0.12</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>4.37</b>	<b>47.67</b>
<b>Q1</b>	<b>35.47</b>	<b>9.62</b>	<b>5.33</b>	<b>10.83</b>	<b>3.61</b>	<b>0.54</b>	<b>1.26</b>	<b>0.06</b>	<b>0.53</b>	<b>0.10</b>	<b>0.19</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>17.73</b>	<b>0.05</b>
<b>Q3</b>	<b>42.23</b>	<b>11.31</b>	<b>6.70</b>	<b>17.17</b>	<b>7.66</b>	<b>0.71</b>	<b>1.57</b>	<b>0.08</b>	<b>0.76</b>	<b>0.15</b>	<b>0.25</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>24.06</b>	<b>99.72</b>
<b>N</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>28.00</b>	<b>34.00</b>	<b>34.00</b>	<b>33.00</b>

Original code	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Ge	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Pr	Rb	Sm
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Θ3	288.00	49.40	590.00	4.55	3.92	2.35	0.96	13.40	4.59	5.00	3.50	0.83	24.20	0.31	9.90	23.30	5.53	86.60	4.27
S31	269.00	44.00	650.00	4.78	4.12	2.08	1.01	13.20	4.12	5.00	3.40	0.77	21.40	0.31	14.30	20.50	4.92	71.60	4.30
S5	309.00	57.80	530.00	4.63	4.08	2.30	1.06	13.90	4.52	5.00	4.60	0.83	28.90	0.37	13.90	25.30	6.55	79.30	5.14
Θ2	302.00	52.00	580.00	4.95	3.97	2.26	1.08	14.80	4.29	5.00	3.60	0.83	25.50	0.32	10.40	23.20	5.76	89.50	4.51
S-RYA-ARD-1	284.00	48.60	656.83	4.80	3.89	2.12	1.12	12.50	4.07		3.60	0.78	23.00	0.30	14.10	21.70	5.52	71.80	4.34
S-RYA-3A	284.00	52.70	588.41	4.40	4.12	2.23	1.09	12.90	4.26		3.80	0.81	26.10	0.30	14.30	22.60	6.08	71.70	4.33
S3	243.00	40.00	697.89	3.20	3.38	1.72	0.83	10.70	3.47		3.00	0.61	19.80	0.28	7.60	17.80	4.75	61.00	3.29
S4	258.00	47.90	321.57	4.10	3.57	1.89	0.85	11.50	3.78		3.20	0.71	24.20	0.30	9.70	21.80	5.66	85.20	4.07
S5	280.00	50.90	342.10	5.00	3.63	2.10	0.95	12.20	4.03		3.00	0.70	26.10	0.30	10.80	22.20	6.01	88.60	4.43
S16	288.00	51.90	410.52	4.90	3.65	2.04	0.97	12.70	4.18		3.90	0.75	26.90	0.30	11.10	23.10	6.19	91.10	4.49
ALSILIO	204.00	42.10	460.00	3.17	3.48	1.86	0.89	10.20	3.59	5.00	3.10	0.63	20.80	0.25	11.30	20.20	5.06	49.30	3.94
KOKKIN	327.00	62.30	530.00	5.07	4.58	2.54	1.22	14.90	4.91	5.00	4.40	0.89	31.70	0.34	14.50	29.60	7.45	87.50	5.85
W12	295.00	53.10	600.00	5.07	4.23	2.55	1.08	13.70	4.68	5.00	3.70	0.81	26.80	0.33	10.50	26.20	6.53	88.80	5.25
S3	362.00	66.90	430.00	5.43	4.95	2.89	1.30	15.90	5.47	5.00	5.10	0.90	34.00	0.37	15.00	32.30	8.07	101.00	6.24
S6	259.00	43.70	670.00	4.86	3.78	2.24	1.00	12.90	4.17	5.00	3.40	0.71	22.00	0.28	13.90	21.70	5.22	68.00	4.29
S7	264.00	50.20	370.00	4.24	3.60	2.11	0.93	12.00	3.93	5.00	3.60	0.71	25.40	0.29	10.40	24.40	6.06	80.90	4.28
S8	268.00	47.90	320.00	4.24	3.61	2.16	0.86	12.00	4.07	5.00	3.10	0.66	24.90	0.27	10.80	23.10	5.84	79.20	4.61
S14	367.00	69.40	420.00	6.06	5.23	2.86	1.33	16.60	5.85	5.00	4.90	0.99	34.80	0.37	16.40	33.50	8.21	114.50	6.42
19SS2	386.00	71.70	540.00	5.80	5.35	2.91	1.36	16.90	5.90	5.00	5.20	0.96	36.30	0.37	15.70	34.00	8.56	114.50	6.66
19SS3	205.00	41.70	550.00	3.05	3.82	2.09	1.03	11.40	3.96	5.00	3.20	0.69	20.40	0.25	12.40	20.20	4.93	49.90	4.42
19SS4	263.00	50.40	380.00	4.19	3.59	2.07	0.99	12.00	4.09	5.00	3.50	0.67	25.50	0.27	11.60	23.30	5.95	70.40	4.60
19SS5	292.00	53.40	620.00	4.72	4.40	2.43	1.05	12.90	4.69	5.00	3.60	0.83	26.90	0.30	10.20	25.50	6.47	84.50	5.07
S2	265.00	63.30	547.36	4.00	4.09	2.44	1.21	12.70	4.67		3.80	0.83	30.80	0.34	13.80	25.20	6.69	60.80	5.27
S4	286.00	57.10	752.62	5.00	3.98	2.39	0.99	12.70	4.37		3.60	0.81	30.30	0.33	11.00	23.50	6.22	83.90	4.68
S5	276.00	62.80	547.36	4.30	4.20	2.55	1.21	13.30	4.84		4.30	0.82	31.40	0.35	14.50	25.80	6.84	79.20	5.09
S10	196.00	48.10	547.36	2.90	3.87	2.21	1.10	11.00	4.34		3.20	0.78	24.30	0.29	13.80	20.00	5.32	48.50	4.40
S11	201.00	46.90	547.36	3.30	3.41	2.05	0.96	9.80	3.83		3.00	0.66	24.50	0.29	11.00	19.40	5.24	54.90	3.93
S12	274.00	60.50	342.10	4.80	3.70	2.20	1.00	12.70	4.34		3.60	0.75	29.90	0.30	11.80	23.70	6.47	82.50	4.95
S13	290.00	60.30	478.94	5.40	4.13	2.49	1.08	13.80	4.91		3.90	0.88	31.50	0.35	13.90	24.90	6.72	85.60	4.84
W23	303.00	66.10	547.36	4.80	4.36	2.45	1.11	12.60	4.92		4.60	0.92	33.40	0.35	13.90	27.60	7.32	82.80	5.55
19SS1	273.00	54.80	342.10	4.70	3.70	2.06	0.97	11.30	4.10		3.50	0.74	29.40	0.30	10.80	23.00	6.14	87.90	4.43
19SS6	383.00	77.10	478.94	5.90	5.55	3.32	1.37	16.70	5.94		5.10	1.07	39.30	0.45	15.80	32.80	8.75	125.30	6.31
19SS7	246.00	52.40	410.52	3.90	3.49	2.09	0.91	10.70	4.14		3.40	0.72	27.50	0.29	10.10	23.00	6.07	76.10	4.43
19SS8	235.00	52.20	547.36	4.10	3.24	2.08	0.85	10.50	4.04		3.40	0.69	26.80	0.28	9.60	22.40	5.71	72.10	4.20
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	280.15	54.40	510.20	4.54	4.02	2.30	1.05	12.85	4.44	5.00	3.76	0.79	27.49	0.31	12.32	24.32	6.26	80.13	4.79
MAX	386.00	77.10	752.62	6.06	5.55	3.32	1.37	16.90	5.94	5.00	5.20	1.07	39.30	0.45	16.40	34.00	8.75	125.30	6.66
MIN	196.00	40.00	320.00	2.90	3.24	1.72	0.83	9.80	3.47	5.00	3.00	0.61	19.80	0.25	7.60	17.80	4.75	48.50	3.29
ΔΙΑΜΕΣΟΣ	278.00	52.30	543.68	4.71	3.91	2.22	1.02	12.70	4.28	5.00	3.60	0.78	26.80	0.30	11.70	23.25	6.08	81.70	4.50
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	46.77	9.03	115.69	0.79	0.56	0.33	0.15	1.82	0.62	0.00	0.64	0.11	4.72	0.04	2.19	4.04	1.03	17.61	0.78
Q1	260.00	48.23	412.89	4.12	3.62	2.08	0.96	11.63	4.07	5.00	3.40	0.71	24.35	0.29	10.58	21.90	5.56	71.63	4.31
Q3	294.25	60.45	586.31	4.99	4.18	2.45	1.11	13.63	4.69	5.00	3.90	0.83	30.68	0.34	14.05	25.45	6.66	87.80	5.13
N	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	16.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00

Original code	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	As	Bi	Hg	In	Re	Sb	Se	Te	Tl	Ag
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Θ3	3.00	82.70	0.50	0.68	7.22	0.35	1.64	98.00	3.00	23.40	2.14	125.00	9.70	0.25	0.03	0.03	0.00	0.42	0.20	0.07	0.19	0.50
S31	2.00	98.10	0.50	0.66	5.61	0.27	1.30	114.00	3.00	20.60	2.05	138.00	24.40	0.16	0.03	0.03	0.00	0.78	0.20	0.05	0.22	0.50
S5	3.00	119.00	0.20	0.67	7.55	0.34	1.73	100.00	3.00	24.20	2.24	179.00	13.70	0.23	0.03	0.04	0.00	0.55	0.20	0.06	0.25	0.50
Θ2	2.00	71.70	0.30	0.68	7.60	0.35	1.70	105.00	2.00	21.90	2.21	150.00	9.70	0.26	0.05	0.03	0.00	0.44	0.20	0.08	0.21	0.50
S-RYA-ARD-1	2.00	107.30	0.90	0.65	6.50	0.30	1.40	104.00	1.70	21.30	2.04	135.70	24.90	0.10	0.02			0.50	0.50		0.20	0.10
S-RYA-3A	2.00	122.50	1.00	0.68	7.50	0.31	1.50	86.00	1.90	23.00	2.08	151.00	15.20	0.20	0.01			0.30	0.50		0.20	0.10
S3	1.00	170.50	0.60	0.52	7.20	0.29	5.60	76.00	1.90	18.60	1.83	111.10	8.20	0.20	0.03			0.20	0.50		0.20	0.10
S4	2.00	203.20	0.70	0.57	8.20	0.28	1.80	56.00	1.70	19.30	1.91	116.90	3.80	0.20	0.01			0.10	0.50		0.10	0.10
S5	2.00	191.80	0.80	0.60	8.90	0.30	1.80	71.00	1.90	21.40	2.03	120.00	5.70	0.30	0.02			0.10	0.50		0.40	0.10
S16	2.00	187.40	0.70	0.61	8.40	0.29	2.10	62.00	1.20	20.60	2.02	137.40	3.80	0.20	0.02			0.10	0.50		0.20	0.10
ALSILIO	2.00	116.50	0.80	0.57	5.59	0.25	1.81	86.00	2.00	18.60	1.64	116.00	21.30	0.14	0.02	0.02	0.00	0.53	0.20	0.05	0.14	0.50
KOKKIN	3.00	114.00	0.70	0.75	8.95	0.35	2.04	100.00	2.00	26.80	2.24	159.00	14.90	0.22	0.02	0.04	0.00	0.43	0.20	0.04	0.24	0.50
W12	2.00	70.60	0.60	0.71	8.29	0.34	1.86	101.00	2.00	24.90	2.18	132.00	9.80	0.23	0.02	0.03	0.00	0.34	0.20	0.06	0.19	0.50
S3	3.00	103.50	0.80	0.81	10.30	0.38	2.21	104.00	2.00	28.80	2.52	178.00	12.40	0.26	0.02	0.04	0.00	0.34	0.20	0.06	0.26	0.50
S6	2.00	96.40	0.60	0.60	5.97	0.30	1.51	114.00	2.00	21.10	1.91	125.00	29.70	0.15	0.02	0.03	0.00	0.70	0.30	0.05	0.20	0.50
S7	2.00	153.00	0.20	0.63	8.34	0.26	1.94	82.00	2.00	21.10	1.93	126.00	4.90	0.19	0.04	0.03	0.00	0.17	0.20	0.03	0.15	0.50
S8	2.00	185.00	0.80	0.58	8.09	0.28	2.12	77.00	2.00	20.10	1.74	107.00	4.80	0.19	0.02	0.03	0.00	0.18	0.30	0.03	0.13	0.50
S14	3.00	88.80	1.10	0.86	10.75	0.40	2.09	124.00	3.00	29.00	2.73	188.00	19.20	0.27	0.02	0.04	0.00	0.44	0.20	0.06	0.29	0.50
19SS2	3.00	94.00	0.90	0.89	11.20	0.41	2.28	108.00	2.00	29.70	2.67	181.00	9.80	0.27	0.02	0.03	0.00	0.31	0.20	0.06	0.23	0.50
19SS3	2.00	107.00	0.50	0.59	5.21	0.28	1.50	113.00	2.00	20.50	1.74	111.00	25.30	0.12	0.02	0.02	0.00	0.54	0.40	0.05	0.14	0.50
19SS4	2.00	120.50	0.80	0.60	7.78	0.27	4.09	99.00	2.00	20.00	1.75	121.00	19.30	0.18	0.02	0.03	0.00	0.51	0.50	0.04	0.15	0.50
19SS5	2.00	72.40	0.70	0.73	8.13	0.30	1.90	97.00	2.00	24.10	2.07	128.00	9.50	0.21	0.02	0.03	0.00	0.33	0.20	0.07	0.19	0.50
S2	2.00	128.50	0.80	0.73	8.20	0.36	2.40	117.00	2.00	22.20	2.29	148.90	21.30	0.20	0.02			0.30	<0.5		0.20	<0.1
S4	3.00	81.90	0.80	0.69	9.00	0.33	2.00	91.00	1.30	22.50	2.14	135.80	12.50	0.20	0.01			0.20	<0.5		0.20	<0.1
S5	2.00	125.70	1.00	0.73	8.40	0.33	2.20	98.00	1.80	24.10	2.25	162.20	21.20	0.20	0.01			0.20	<0.5		0.30	<0.1
S10	2.00	124.70	0.80	0.67	5.60	0.32	1.50	116.00	1.50	20.30	2.00	121.20	23.60	0.10	0.02			0.30	<0.5		0.20	<0.1
S11	2.00	120.20	0.70	0.58	6.30	0.27	2.00	89.00	1.80	18.90	1.75	114.10	20.30	0.10	0.01			0.30	<0.5		0.20	<0.1
S12	3.00	107.30	0.70	0.67	9.20	0.30	2.60	102.00	2.50	21.10	2.09	128.40	22.50	0.20	0.02			0.30	<0.5		0.20	<0.1
S13	2.00	99.90	0.90	0.73	8.50	0.36	2.00	115.00	2.40	24.80	2.41	144.80	21.60	0.20	0.01			0.20	<0.5		0.20	<0.1
W23	3.00	115.20	0.90	0.76	9.90	0.38	2.60	90.00	1.70	26.80	2.27	184.30	9.80	0.40	0.01			0.10	<0.5		0.20	<0.1
19SS1	2.00	188.00	0.80	0.62	9.10	0.29	2.40	82.00	1.80	20.60	1.85	122.60	4.40	0.20	0.02			<0.1	<0.5		0.20	<0.1
19SS6	3.00	93.10	1.10	0.92	12.50	0.43	2.60	117.00	2.60	30.50	2.93	190.20	8.90	0.30	0.02			<0.1	<0.5		0.30	<0.1
19SS7	2.00	166.40	0.60	0.62	8.30	0.28	2.20	81.00	1.80	21.50	1.81	130.80	5.50	0.20	0.01			<0.1	<0.5		0.20	<0.1
19SS8	2.00	117.00	0.60	0.60	7.90	0.29	1.90	82.00	1.30	20.70	1.86	124.40	8.00	0.20	0.02			0.10	<0.5		0.20	<0.1
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	2.26	121.88	0.72	0.68	8.12	0.32	2.13	95.79	2.02	22.74	2.10	139.52	14.11	0.21	0.02	0.03	0.00	0.33	0.31	0.05	0.21	0.39
MAX	3.00	203.20	1.10	0.92	12.50	0.43	5.60	124.00	3.00	30.50	2.93	190.20	29.70	0.40	0.05	0.04	0.00	0.78	0.50	0.08	0.40	0.50
MIN	1.00	70.60	0.20	0.52	5.21	0.25	1.30	56.00	1.20	18.60	1.64	107.00	3.80	0.10	0.01	0.02	0.00	0.10	0.20	0.03	0.10	0.10
ΔΙΑΜΕΣΟΣ	2.00	115.85	0.75	0.67	8.20	0.30	2.00	98.50	2.00	21.45	2.06	131.40	12.45	0.20	0.02	0.03	0.00	0.30	0.20	0.06	0.20	0.50
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0.51	37.26	0.22	0.09	1.64	0.05	0.79	16.60	0.46	3.26	0.30	24.57	7.58	0.06	0.01	0.01	0.00	0.18	0.14	0.01	0.06	0.18
Q1	2.00	96.83	0.60	0.60	7.29	0.28	1.75	83.00	1.80	20.60	1.87	121.55	8.38	0.19	0.02	0.03	0.00	0.20	0.20	0.05	0.19	0.20
Q3	3.00	127.80	0.80	0.73	8.94	0.35	2.21	107.25	2.00	24.18	2.24	150.75	21.28	0.23	0.02	0.03	0.00	0.44	0.50	0.06	0.22	0.50
N	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	16.00	16.00	31.00	22.00	16.00	34.00	22.00

Original code	Cd	Co	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sc	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ø3	0.80	40.00	39.00	50.00	1.00	549.00	17.00	14.00	102.00
S31	0.80	54.00	40.00	40.00	1.00	648.00	17.00	15.00	97.00
S5	0.90	33.00	28.00	40.00	1.00	377.00	21.00	13.00	89.00
Ø2	0.50	42.00	40.00	50.00	1.00	565.00	19.00	15.00	105.00
S-RYA-ARD-1	0.30	59.50	37.20		0.20	540.50	14.20		67.00
S-RYA-3A	0.40	45.20	29.80		0.30	426.70	14.50		57.00
S3	0.30	30.90	23.00		0.60	352.30	12.10		43.00
S4	0.40	21.80	27.90		0.10	216.00	14.60		46.00
S5	0.40	25.50	27.00		0.20	253.60	15.70		51.00
S16	0.40	24.20	31.50		0.20	242.70	15.90		49.00
ALSILIO	0.50	31.00	128.00	30.00	1.00	351.00	8.00	11.00	100.00
KOKKIN	0.90	35.00	84.00	40.00	1.00	391.00	26.00	13.00	127.00
W12	0.70	44.00	118.00	50.00	2.00	580.00	18.00	14.00	131.00
S3	0.80	31.00	179.00	40.00	1.00	311.00	29.00	13.00	141.00
S6	0.70	59.00	100.00	40.00	1.00	690.00	15.00	15.00	123.00
S7	0.50	25.00	94.00	30.00	1.00	283.00	17.00	11.00	96.00
S8	0.50	23.00	101.00	30.00	1.00	262.00	17.00	10.00	105.00
S14	0.60	35.00	114.00	50.00	2.00	337.00	21.00	15.00	132.00
19SS2	0.80	33.00	54.00	50.00	1.00	327.00	22.00	14.00	122.00
19SS3	0.50	43.00	54.00	30.00	1.00	464.00	12.00	14.00	85.00
19SS4	0.70	29.00	52.00	30.00	1.00	332.00	14.00	11.00	91.00
19SS5	0.60	44.00	68.00	50.00	1.00	576.00	17.00	14.00	116.00
S2	0.40	34.70	128.80		0.60	340.90	22.50		107.00
S4	0.60	44.70	71.70		0.30	554.60	17.30		89.00
S5	0.50	32.60	157.70		0.40	327.00	16.30		114.00
S10	0.30	38.80	129.60		0.30	339.20	12.30		86.00
S11	0.40	31.20	83.80		0.40	341.30	16.30		76.00
S12	0.60	25.80	114.70		0.40	224.30	19.60		95.00
S13	0.50	37.20	71.10		0.40	313.60	17.80		87.00
W23	0.60	26.80	42.70		0.40	222.90	18.00		77.00
19SS1	0.40	22.50	53.00		0.20	217.70	16.70		65.00
19SS6	0.60	32.20	47.40		0.30	295.50	19.30		87.00
19SS7	0.40	24.20	61.20		0.10	245.50	13.80		60.00
19SS8	0.50	31.90	52.50		0.40	381.50	15.50		71.00
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	0.55	35.02	73.05	40.63	0.70	378.79	17.13	13.25	90.85
MAX	0.90	59.50	179.00	50.00	2.00	690.00	29.00	15.00	141.00
MIN	0.30	21.80	23.00	30.00	0.10	216.00	8.00	10.00	43.00
ΔΙΑΜΕΣΟΣ	0.50	32.80	57.60	40.00	0.60	340.05	17.00	14.00	90.00
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0.17	9.90	41.19	8.54	0.48	133.20	4.01	1.65	26.47
Q1	0.40	27.35	40.00	30.00	0.30	286.13	14.70	12.50	72.25
Q3	0.68	41.50	100.75	50.00	1.00	454.68	18.75	14.25	106.50
N	34.00	34.00	34.00	16.00	34.00	34.00	34.00	16.00	34.00