



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών  
—ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837—

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Υδροχημική αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων  
υδάτων της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού  
ποταμού, πλησίον της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων.**

Hydrochemical evaluation of groundwater quality in Asopos river basin, near  
Oinofyta industrial zone.

**ΜΑΡΙΑ ΠΙΤΣΟΥ**

1114201700093

Επιβλέπουσα  
Αριάδνη Αργυράκη  
Καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ  
2023

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ρυπασμένα από εξασθενές χρώμιο υπόγεια ύδατα αποτελούν παγκόσμιο πρόβλημα άξιο προσοχής για τη δημόσια υγεία. Στην Ελλάδα, έχει θεσπιστεί κοινή υπουργική απόφαση (αρ. 100079/2015, ΦΕΚ135B/22-1-2015) για τον «Καθορισμό Ποιοτικών Περιβαλλοντικών Προτύπων στον ποταμό Ασωπό και Οριακών Τιμών Εκπομπών υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στη λεκάνη απορροής του Ασωπού», όπου βρίσκεται η μεγαλύτερη βιομηχανική ζώνη της Στερεάς Ελλάδας, έκτασης περίπου 15 km<sup>2</sup> με πάνω από 200 βιομηχανικές μονάδες. Η ταχεία βιομηχανική ανάπτυξη της περιοχής στη δεκαετία του 1970 έχει προκαλέσει εκτεταμένη ρύπανση των υπόγειων υδάτων από εξασθενές χρώμιο για δεκαετίες. Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων 7 δειγμάτων υπόγειων υδάτων από ερευνητικές γεωτρήσεις της περιοχής, τα οποία συλλέχθηκαν κατά την υγρή περίοδο του 2021 και αναλύθηκαν ως προς τον βασικό τους χημισμό και για εξασθενές χρώμιο. Τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων δείχνουν πως τα επικρατέστερα κατιόντα είναι το ασβέστιο και το μαγνήσιο, ενώ τα επικρατέστερα ανιόντα είναι τα χλωριούχα, ενώ οι γεωχημικοί τύποι νερού διαφέρουν από δείγμα σε δείγμα. Οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου βρέθηκαν σε εύρη από 13 έως και 1000μg/l. Η υψηλότερη συγκέντρωση χρωμίου αποδίδεται σε ανθρωπογενή αίτια, σημειακής πηγής ρύπανσης βιομηχανικής προέλευσης, ενώ οι χαμηλότερες τιμές αποδίδονται σε γεωγενείς συνθήκες της περιοχής, με βάση τα δεδομένα διεθνούς βιβλιογραφίας.

**Λέξεις κλειδιά:** υπόγειο νερό, εξασθενές χρώμιο, γεωγενές χρώμιο, ανθρωπογενές χρώμιο, βιομηχανικά απόβλητα

## ABSTRACT

Groundwater contaminated with hexavalent chromium Cr(VI) is a worldwide problem of significant public health importance. In Greece, a special regulatory act (No. 100079/2015) has been enacted for the Assopos River basin, where the largest industrial zone of Central Greece is located, covering approximately 15 km<sup>2</sup> with over 200 industrial units. The rapid industrial development of the area in the 1970's has caused extensive groundwater contamination by hexavalent chromium for decades. This study presents data collected from 7 groundwater samples during the wet season of 2021, that were analysed for major ions and hexavalent chromium. The hydrochemical analysis results show that the groundwater chemistry is dominated by Cl<sup>-</sup> in the anionic chemistry and Mg<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> in the cationic chemistry, while the water types of the samples differ throughout the study area. Hexavalent chromium concentrations range from 13 to 1000µg/l. The evaluation of the highest Cr(VI) concentration has been related to industrial activity, indicating a point source of pollution, while concentrations less than 1000µg/l have been related to geogenic occurrences and assessed by international literature data.

**Keywords:** groundwater, hexavalent chromium, geogenic chromium, anthropogenic chromium, industrial waste

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνονται και οι προπτυχιακές μου σπουδές στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ.

Οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που συνέβαλαν στον αγώνα αυτό και, πρωτίστως, την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Αριάδνη Αργυράκη, για την ανάθεση του θέματος αυτού, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την πολύτιμη καθοδήγησή της. Θα σας είμαι για πάντα ευγνώμων για όλες τις ευκαιρίες που μου έχουν δοθεί μέσα από τη συνεργασία μας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ζαχαρένια Κυπριτίδου, για την υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής και για τη συμβολή της στην διεκπεραίωση των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω την ΓΕΩΣΚΟΠΙΟ ΑΤΕ, για την δυνατότητα που μου έδωσαν να συνεργαστούμε στο πλαίσιο της δειγματοληψίας υπόγειων υδάτων, την συναίνεσή τους να λάβω δείγματα για τις ανάγκες της διπλωματικής μου εργασίας και την άνεση υποστήριξή τους από τότε. Πιο συγκεκριμένα, για την περάτωση της εργασίας αυτής ήταν καθοριστική η συμβολή του Παύλου Δαφνή, τόσο κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, όσο και κατά τη συγγραφή της εργασίας, καθώς και της Αλεξάνδρας Κορασίδη, για την πολύτιμη καθοδήγησή της ως προς την δημιουργία ψηφιοποιημένων σχεδίων. Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά και την μέντορά μου, Χαρά Αλεξιάδου. Χαρά, ευχαριστώ που πιστεύεις σε εμένα και με ωθείς καθημερινά να γίνω καλύτερη επιστήμονα.

Τέλος, κανένα ευχαριστώ δε θα είναι αρκετό για να εκφράσει την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου και, ιδίως, προς την μητέρα μου, της οποίας η υποστήριξη είναι θερμή σε κάθε μου βήμα και επιλογή. Μαμά, ευχαριστώ για όλα, έχεις φροντίσει να μην μου λείψει τίποτα.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ABSTRACT .....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1. Σκοπιμότητα και στόχοι.....	9
1.2. Περιοχή μελέτης.....	10
1.2.1. Γεωγραφική Θέση .....	10
1.2.2. Κάλυψη Γης.....	12
1.2.3. Γεωλογία-Στρωματογραφία .....	14
1.2.4. Γεωμορφολογία .....	19
1.2.5. Υδρογεωλογικές Συνθήκες .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	23
2.1. Ρύπανση Υπόγειων Υδάτων .....	23
2.2. Βιομηχανικές Πηγές Ρύπων .....	24
2.3. Βιομηχανική Ζώνη Οινοφύτων.....	24
2.4. Φυσικοχημικές Ιδιότητες Χρωμίου .....	27
2.5. Γεωγενής Προέλευση Χρωμίου.....	28
2.6. Βιομηχανικές Εφαρμογές και Απόβλητα Χρωμίου .....	29
2.7. Επικινδυνότητα Χρωμίου.....	30
2.8. Υφιστάμενες μελέτες .....	31
2.8.1. CrITERIA Project.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	39
3.1. Δειγματοληψία.....	39

3.1.1.	Προεργασία.....	39
3.1.2.	Διαδικασία Δειγματοληψίας .....	39
3.1.3.	Διαδικασίες Ποιοτικού Ελέγχου .....	40
3.1.4.	Αποθήκευση, συντήρηση και μεταφορά δειγμάτων .....	41
3.2.	Μέθοδοι Χημικών Αναλύσεων .....	41
3.2.1.	Ψηφιακός Τιτλοδότης – Ογκομέτρηση .....	41
3.2.2.	Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης (AAS) .....	42
3.2.3.	Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής (AES) .....	42
3.2.4.	Φασματοφωτομετρία UV-Vis .....	43
3.2.5.	Δοκιμές Περιθλασιομετρίας Ακτίνων-Χ (XRD) .....	43
3.2.6.	Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) .....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....		46
4.1.	Φυσικοχημικές Παράμετροι.....	49
4.2.	Κύρια Ιόντα.....	53
4.3.	Εξασθενές Χρώμιο.....	58
4.4.	Διαχρονική εξέλιξη ποιοτικής κατάστασης .....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....		61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....		63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....		66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ CRITERIA PROJECT-ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ.....		67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-Χ (XRD) .....		71

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1:</b> Ευρύτερη περιοχή μελέτης και οριοθέτηση των επιμέρους περιοχών διερεύνησης .....	11
<b>Εικόνα 2:</b> Ψηφιοποιημένος χάρτης Κάλυψης Γης της περιοχής μελέτης (πρωτογενή δεδομένα: <i>Corine Land Cover 2000</i> ) .....	13
<b>Εικόνα 3:</b> Προβολή θέσεων δειγματοληψίας στο απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ "Φύλλο Χαλκίδα" .....	18
<b>Εικόνα 4:</b> Ψηφιοποιημένος γεωλογικός και πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης (πρωτογενή δεδομένα από ΙΓΜΕ: Δούνας, 1978 και «Φύλλο Χαλκίδα») .....	22
<b>Εικόνα 5:</b> Θέσεις δειγματοληψίας έργου CrITERIA στην περιοχή μελέτης.....	33
<b>Εικόνα 6:</b> Διάγραμμα Piper δειγμάτων CrITERIA .....	34
<b>Εικόνα 7:</b> Διαγράμματα Stiff δειγμάτων CrITERIA .....	35
<b>Εικόνα 8:</b> Θηκογράμματα συγκεντρώσεων ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA.....	36
<b>Εικόνα 9:</b> Διάγραμμα συσχέτισης ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA.....	37
<b>Εικόνα 10:</b> Διάγραμμα συσχέτισης εξασθενούς χρωμίου και ανιόντων χλωρίου στα δείγματα CrITERIA .....	37
<b>Εικόνα 11:</b> Διάγραμμα εξέλιξης συγκεντρώσεων CrVI στη θέση 53A CrITERIA .....	38
<b>Εικόνα 12:</b> Όργανο μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων και συσκευή διήθησης με αντλία χειρός στο πεδίο .....	40
<b>Εικόνα 13:</b> Διάγραμμα συσχέτισης τιμών TDS και ηλεκτρικής αγωγιμότητας... ..	51
<b>Εικόνα 14:</b> Θηκογράμματα τιμών φυσικοχημικών παραμέτρων .....	52
<b>Εικόνα 15:</b> Διάγραμμα Piper ανά κωδικό δείγματος .....	54
<b>Εικόνα 16:</b> Θηκογράμματα συγκεντρώσεων κύριων κατιόντων .....	54
<b>Εικόνα 17:</b> Θηκογράμματα συγκεντρώσεων κύριων ανιόντων .....	55
<b>Εικόνα 18:</b> Διάγραμμα Stiff ανά κωδικό δείγματος.....	56
<b>Εικόνα 19:</b> Χάρτης γεωχημικών τύπων νερού (διαγράμματα Stiff ανά θέση δειγματοληψίας) .....	57
<b>Εικόνα 20:</b> Θηκογράμματα συγκεντρώσεων εξασθενούς χρωμίου, με και χωρίς συντηρητικό.....	58
<b>Εικόνα 21:</b> Δείγμα X1 με έντονο ροζ χρώμα ύστερα από ανάλυση για CrVI. ....	59

<b>Εικόνα 22:</b> Διάγραμμα συσχέτισης συγκεντρώσεων CrVI με συντηρητική ουσία και χωρίς συντηρητική ουσία.....	59
<b>Εικόνα 23:</b> Διάγραμμα εξέλιξης συγκεντρώσεων CrVI μεταξύ του δείγματος X1 και των δειγμάτων της θέσης 53A-CrITERIA.....	60

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<b>Πίνακας 1:</b> Κάλυψη γης κατά Corine 2000.....	12
<b>Πίνακας 2:</b> Κατανομή Βιομηχανικών Μονάδων ανά Κλάδο (Κουρούτου, 2019).....	26
<b>Πίνακας 3:</b> Τυπικά εύρη συγκέντρωσης γεωγενούς Cr(VI) σε υπόγεια υδατικά συστήματα που συνδέονται με υπερμαφικά πετρώματα.....	29
<b>Πίνακας 4:</b> Δείγματα έργου CrITERIA.....	32
<b>Πίνακας 5:</b> Συγκεντρώσεις ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA.....	35
<b>Πίνακας 6:</b> Πίνακας περιγραφικών στατιστικών στοιχείων ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA. Συγκεντρώσεις σε µg/L.....	36
<b>Πίνακας 7:</b> Κωδικοί σημείων δειγματοληψίας και εκτέλεσης χημικών αναλύσεων.....	46
<b>Πίνακας 8:</b> Ημερομηνίες δειγματοληψίας και διήθησης υδατικών δειγμάτων ..	46
<b>Πίνακας 9:</b> Αποτελέσματα επί τόπου χημικών αναλύσεων.....	47
<b>Πίνακας 10:</b> Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων κύριων κατιόντων.....	47
<b>Πίνακας 11:</b> Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων κύριων ανιόντων.....	47
<b>Πίνακας 12:</b> Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων εξασθενούς χρωμίου.....	48
<b>Πίνακας 13:</b> Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων λοιπών φυσικοχημικών παραμέτρων.....	48
<b>Πίνακας 14:</b> Οριακές τιμές παραμέτρων νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση (ΚΥΑ67322, ΦΕΚ 3282Β/19-09-2017).....	48
<b>Πίνακας 15:</b> Περιγραφικά στατιστικά φυσικοχημικών παραμέτρων.....	49
<b>Πίνακας 16:</b> Ταξινόμηση υδάτων, με βάση τα ολικά διαλυμένα στερεά.....	50
<b>Πίνακας 17:</b> Ταξινόμηση υδάτων, με βάση την σκληρότητα.....	53

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Σκοπιμότητα και στόχοι

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση της ποιότητας υπόγειων υδάτων, επιρρεπών σε φαινόμενα ρύπανσης από εκτεταμένη βιομηχανική δραστηριότητα στην περιοχή της λεκάνης του Ασωπού ποταμού στο νομό Βοιωτίας. Στην περιοχή ενδιαφέροντος αναπτύσσεται μακροχρόνια έντονη και «άναρχη» βιομηχανική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα ο ποταμός να αποτελεί διαχρονικά δέκτη λυμάτων και υγρών αποβλήτων ποικίλων συστάσεων. Η περιοχή, επιπλέον, χαρακτηρίζεται από απουσία οργανωμένων μονάδων επεξεργασίας αυτού του είδους αποβλήτων, γεγονός που συντέλεσε σημαντικά στην αύξηση των συγκεντρώσεων εξασθενούς χρωμίου στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα.

Οι βασικοί στόχοι της εργασίας δίδονται παρακάτω:

- Η συλλογή και η ανάλυση υπόγειων υδατικών δειγμάτων από γεωτρήσεις, για την διερεύνηση της ποιότητας του νερού κοντά στη βιομηχανική ζώνη.
- Ο καθορισμός της προέλευσης (γεωγενούς ή ανθρωπογενούς) του εξασθενούς χρωμίου στο υπόγειο νερό.
- Η υδρογεωχημική αξιολόγηση της περιοχής μελέτης και της εξέλιξης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων, σε σχέση με παλαιότερα δεδομένα.

Αναλυτικότερα, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν 7 δείγματα υπόγειων υδάτων από 7 ερευνητικές γεωτρήσεις της περιοχής, τεσσάρων εκ των οποίων βρίσκονταν εντός της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων. Τα δείγματα αναλύθηκαν ως προς τον βασικό τους χημισμό (κύρια ιόντα και φυσικοχημικές παράμετροι) και για εξασθενές χρώμιο. Παράλληλα, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν με τη μέθοδο Δοκιμών Περιθλασιομετρίας Ακτίνων-Χ (XRD) 18 στερεά δείγματα από τα καρότα ερευνητικών γεωτρήσεων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν για να καθοριστούν: τα υδροχημικά προφίλ των υπόγειων υδάτων, η προέλευση του εξασθενούς χρωμίου και η εξέλιξη της ποιότητας των υπόγειων υδάτων σε σύγκριση με τα δεδομένα του CrITERIA Project (2017-18).

Τα σχέδια που χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο των χαρτών προέρχονται από δορυφορικές εικόνες Google Earth. Η επεξεργασία των στοιχείων, η δημιουργία της βάσης δεδομένων και η σχεδίαση των χαρτών, έγινε στα λογισμικά Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (G.I.S.) ESRI Arc/Info για PC/UNIX και QGIS v. 3.22.7. Białowieża, καθώς και στο σχεδιαστικό λογισμικό Autodesk Civil 3D. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων έγινε με τη χρήση του λογισμικού Minitab 17.

## 1.2. Περιοχή μελέτης

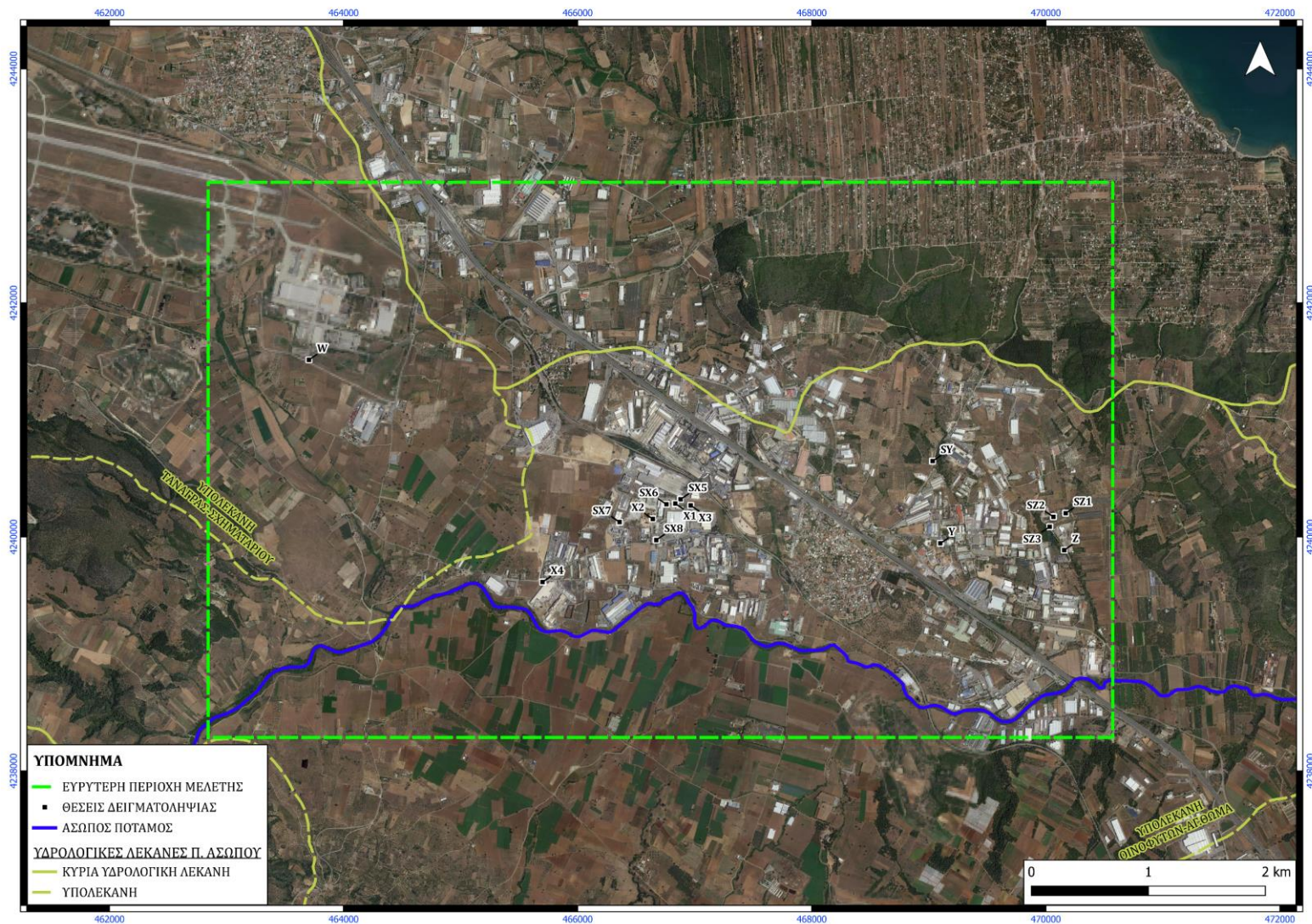
### 1.2.1. Γεωγραφική Θέση

Η περιοχή ενδιαφέροντος εντοπίζεται στον νομό Βοιωτίας και, πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή Σχηματαρίου-Οινοφύτων του Δήμου Τανάγρας. Η υπό εξέταση περιοχή εκτείνεται κατά μήκος και βόρεια του Ασωπού ποταμού, κοντά σε πλήθος εγκατεστημένων βιομηχανικών μονάδων. Ειδικότερα, εντάσσεται στις υπολεκάνες Τανάγρας-Σχηματαρίου και Οινοφύτων-Αγίου Θωμά, στην πεδινή ζώνη της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού.

Σύμφωνα με τα Εγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Αττικής, η περιοχή ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07) και, ειδικότερα, στη Λεκάνη Απορροής Ασωπού (GR25). Παράλληλα, η υπό μελέτη περιοχή εμπίπτει κατά βάση στο κοκκώδες υπόγειο υδατικό σύστημα Θηβών-Ασωπού-Σχηματαρίου και, σε μικρό μέρος, στο γειτονικό καρστικό υπόγειο υδατικό σύστημα Σκούρτων-Αγίου Θωμά.

Στην **Εικόνα 1** απεικονίζεται η περιοχή μελέτης εντός της οποίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και ανάλυση υπόγειων υδατικών και εδαφικών δειγμάτων. Η περιοχή καλύπτει μέρος των υπολεκάνων Τανάγρας-Σχηματαρίου και Οινοφύτων-Αγίου Θωμά και σε αυτήν περιλαμβάνονται οι γεωτρήσεις από τις οποίες συλλέχθηκαν τα δείγματα: W, SX5, X1, X2, X3, SX7, SX8, X4, SY, Y, SZ1, SZ2, SZ3 και Z.





Εικόνα 1: Ευρύτερη περιοχή μελέτης και οριοθέτηση των επιμέρους περιοχών διερεύνησης

### 1.2.2. Κάλυψη Γης

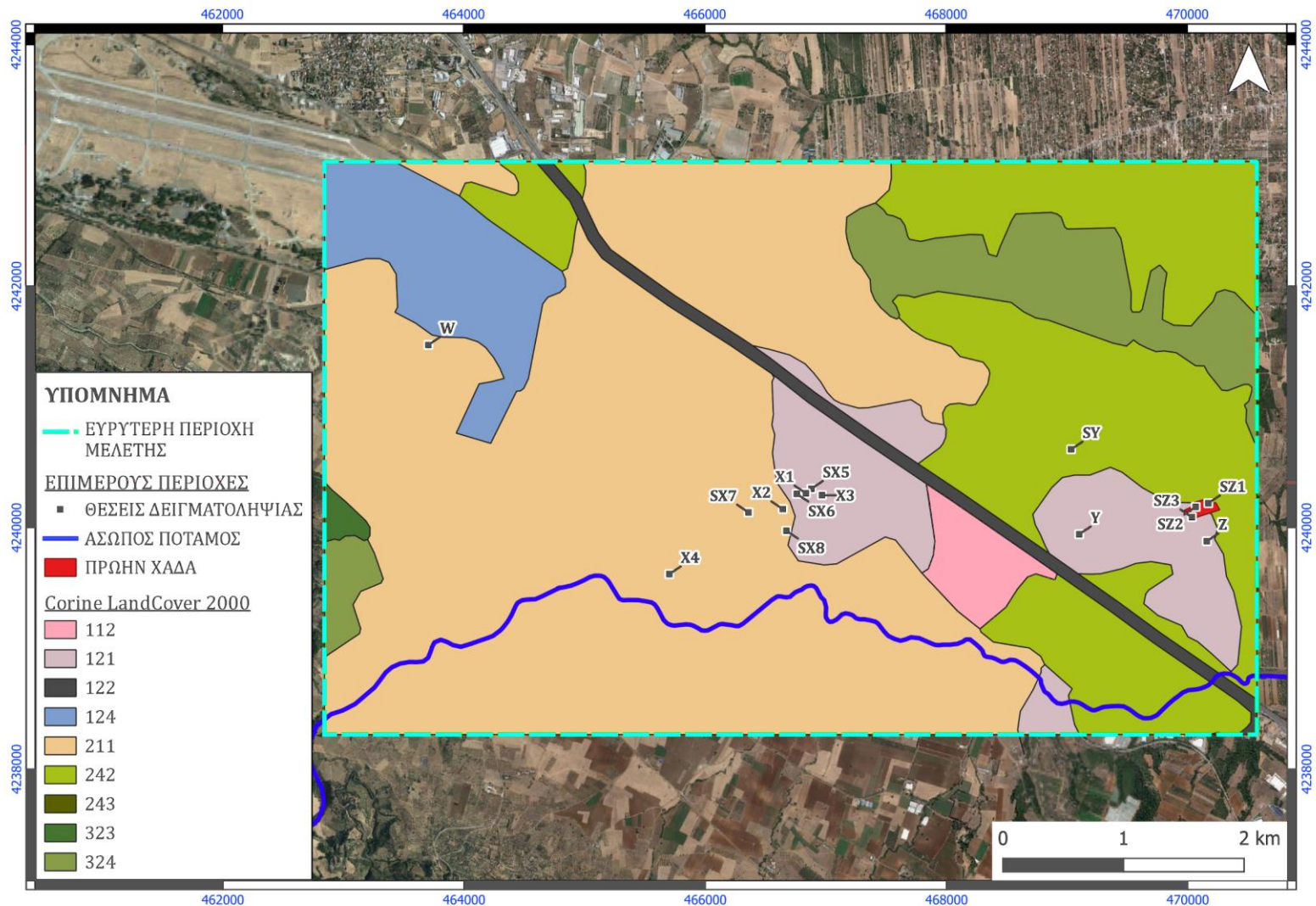
Σύμφωνα με την απογραφή του ευρωπαϊκού προγράμματος «Corine Land Cover 2000», η υπό εξέταση περιοχή καλύπτεται από 9 βασικές κατηγορίες κάλυψης γης, όπως παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή καλύπτεται ως επί το πλείστον από «μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη» και «σύνθετα συστήματα καλλιέργειας». Στο βορειοδυτικό τμήμα της καλύπτεται από αεροπορικές εγκαταστάσεις («αεροδρόμια»), ενώ στο κεντρικό και ανατολικό από «βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες», που αντιστοιχούν στην βιομηχανική ζώνη Οινοφύτων. Επιπλέον, η περιοχή στο δυτικό τμήμα της καλύπτεται από «διακεκομμένη αστική οικοδόμηση». Η κάλυψη γης της ευρύτερης περιοχής μελέτης απεικονίζεται στην **Εικόνα 2**.

Αξίζει να σημειωθεί πως στα δυτικά της περιοχής εντοπίζεται και εγκαταλελειμμένος Χώρος Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ), ο οποίος δεν είναι καταγεγραμμένος στα δεδομένα του Corine Land Cover 2000. Η ταυτοποίησή του έγινε ύστερα από επί τόπου αυτοψία στην περιοχή μελέτης.

**Πίνακας 1:** Κάλυψη γης κατά Corine 2000

ΚΩΔ. CORINE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες
122	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη
124	Αεροδρόμια
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης
323	Σκληροφυλλική βλάστηση
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις





Εικόνα 2: Ψηφιοποιημένος χάρτης Κάλυψης Γης της περιοχής μελέτης (πρωτογενή δεδομένα: Corine Land Cover 2000)

### 1.2.3. Γεωλογία-Στρωματογραφία

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής είναι αλπικό και εντάσσεται στην ενότητα της Υποπελαγονικής (Παπανικολάου, 1986). Περιλαμβάνει δομές της ενότητας κάτω από την Ανω-Κρητιδική επίκλυση, δηλαδή τους σχηματισμούς της ανθρακικής πλατφόρμας του Μέσου Τριαδικού-Ιουρασικού (δολομιτικοί ασβεστόλιθοι), και εμφανίσεις του οφιολιθικού συμπλέγματος. Οι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι συναντώνται σε λοφώδεις εξάρσεις της περιοχής και, πιθανόν, στο υπόβαθρο της λεκάνης Οινοφύτων-Μαλακάσσας (Δούνας & et al, 1978). Το οφιολιθικό σύμπλεγμα αποτελεί τεκτονικό κάλυμμα και αποτελείται από σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα. Επιφανειακά, συναντάται στα νοτιοδυτικά της Αυλώνας και σε υπολειμματικές θέσεις νότια του Συκάμινου.

Η περιοχή μελέτης καλύπτεται σχεδόν εξ'ολοκλήρου από μεταλλικούς σχηματισμούς, οι οποίοι έχουν αποτεθεί ασύμφωνα στο αλπικό υπόβαθρο. Οι μεταλλικοί σχηματισμοί διακρίνονται στα Νεογενή και στα Τεταρτογενή ιζήματα. Τα Νεογενή ιζήματα, Ανωμειοκαινικής – Πλειοκαινικής ηλικίας, αποτελούν τις αρχαιότερες μεταλλικές αποθέσεις και αντιπροσωπεύονται από δύο συστήματα πετρωμάτων: το κατώτερο, αποτελούμενο από λιμναία και λιμνοθαλάσσια ιζήματα, μέρος των οποίων συναντώνται στην περιοχή ενδιαφέροντος, και το ανώτερο, αποτελούμενο γενικά από χαλαρά υλικά ηπειρωτικής και χειμαρρικής προέλευσης, τα οποία δεν συναντώνται στην περιοχή μελέτης. Τα Τεταρτογενή ιζήματα, Πλειστοκαινικής – Ολοκαινικής ηλικίας, υπέρκεινται ασύμφωνα των παραπάνω.

Οι αλπικοί σχηματισμοί αναπτύσσονται επιφανειακά στο νότιο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Ασωπού, κατά μήκος της Πάρνηθας, και αποκαλύπτονται μέσα στην περιοχή σαν μικρές νησίδες κάτω από τους υπερκείμενους μεταλλικούς σχηματισμούς της Μειοκαινικής λεκάνης Αυλώνας – Οινοφύτων. Αντιπροσωπεύονται, κυρίως, από Μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους διαφόρων ηλικιών και φάσεων, καθώς και τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος, που ανήκουν γεωτεκτονικά στην ενότητα Ανατολικής Ελλάδας (Παπανικολάου, 1986). Η δημιουργία της λεκάνης τοποθετείται στο Μέσο – Ανώτερο Μειόκαινο, ενώ η εξέλιξή της συνεχίζεται μέχρι σήμερα (Μέττος, 1992). Τα αρχαιότερα

ιζήματα τοποθετούνται στο Άνω Μειόκαινο συμπεριλαμβάνοντας ποικίλους λιθολογικούς τύπους χερσαίας και λιμναίας φάσης.

Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά οι λιθοστρωματογραφικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή μελέτης, από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους, βασιζόμενοι στον γεωλογικό χάρτη «Φύλλο Χαλκίδα» του ΙΓΜΕ (Παργινός, et al., 2007), απόσπασμα του οποίου παρουσιάζεται στην **Εικόνα 3**.

#### 1.2.3.1. Αλπικοί Σχηματισμοί

##### **ΗΩΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ**

- Ηφαιστειοϊζηματογενείς Σχηματισμοί (b.sh):

Πρόκειται για τον παλαιότερο αλπικό σχηματισμό, Άνω-Παλαιοζωικής (Αν. Λιθανθρακοφόρο) έως Μέσο-Τριαδικής ηλικίας, ο οποίος εντοπίζεται ως μικρές υπολειμματικές εμφανίσεις στα νοτιοδυτικά της Αυλώνας. Χαρακτηρίζεται από εναλλαγές αργιλικών σχιστόλιθων, κεραμόχρωμων πηλιτών και μικριτικών ασβεστολίθων με διαστρώσεις πυριτολίθων και έντονα σπιλιτωμένων βασαλτών υπό μορφή pillow lavas στη βάση του οφιολιθικού συμπλέγματος.

- Οφιολιθικό Σύμπλεγμα (ο):

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα αποτελεί ένα αλλόχθονο τεκτονικό κάλυμμα και συνίσταται, κυρίως, από σερπεντινωμένα υπερβασικά και, σε μικρότερο ποσοστό, βασικής σύστασης πετρώματα. Επιφανειακά, συναντάται κατά βάση στα νότια περιθώρια της λεκάνης, δηλαδή στα νοτιοδυτικά της Αυλώνας, αλλά και σε υπολειμματικές θέσεις νότια του Συκάμινου. Η τεκτονική θέση των οφιολίθων, αλλά και των προϊόντων διάβρωσής τους, και η συμμετοχή τους σε νεότερα υλικά (π.χ. κροκαλοπαγή, αμμοχάλικα) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην συγκέντρωση γεωγενούς ολικού ή/και εξασθενούς χρωμίου στα υπόγεια ύδατα της περιοχής (Lilli, et al., 2015) (Kaprara, et al., 2015).

##### **ΜΕΣΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΜΕΣΟ ΛΙΑΣΙΟ**

- Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες (T<sub>m</sub>-I<sub>i,k</sub>):

Οι αλπικοί σχηματισμοί στην υπό διερεύνηση περιοχή αντιπροσωπεύονται από τους σχηματισμούς της ανθρακικής πλατφόρμας του Μέσου Τριαδικού – Ιουρασικού. Πρόκειται για τεφρούς έως λευκότεφρους δολομιτικούς

ασβεστόλιθους, άστρωτους έως παχυστρωματώδεις, μικροκρυσταλλικούς και τεκτονισμένους. Στα ανώτερα τμήματα, παρατηρούνται λεπτο- έως μεσοπλακώδεις, μελανότεφροι έως μαύροι, μικριτικοί ασβεστόλιθοι, κυρίως δολομιτικοί, με κονδύλους κερατόλιθων. Συναντώνται στις λοφώδεις εξάρσεις της περιοχής, όπως στον Πύργο Διχαλωτό ΝΑ των Οινοφύτων, ενώ αναμένεται, επίσης, να απαντούν στο υπόβαθρο της λεκάνης Οινοφύτων – Μαλακάσας, σε ποικίλα βάθη (Δούνας & et al, 1978). Στην ανθρακική πλατφόρμα, υπέρκειται το ανωκρητιδικό ανθρακικό σύστημα με εμφανίσεις στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του π. Ασωπού, εκτός περιοχής μελέτης.

### **ΑΝΩΤΕΡΟ ΑΛΒΙΟ-ΚΑΜΠΑΝΙΟ**

- Σιδηρονικελιούχα Κοιτάσματα (Fe-Ni):

Στους αλπικούς σχηματισμούς αξίζει να σημειωθεί η παρουσία σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων, ερυθρωπού χρώματος, τα οποία συναντώνται επιφανειακά στην ευρύτερη περιοχή με φακοειδή ανάπτυξη, σε ασυμφωνία με τους υποκείμενους σχηματισμούς του οφιολιθικού συμπλέγματος. Το μέταλλευμα είναι συμπαγές ή πισσολιθικό με πυριτικές λατύπες και σχετικά χαμηλή συγκέντρωση σε νικέλιο. Εμφανίζονται, κυρίως, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού.

#### **1.2.3.1. Μεταλικοί Σχηματισμοί**

### **ΝΕΟΓΕΝΕΣ**

- Μάργες, Άργιλοι, Πηλοί, Άμμοι, Κροκάλες (M<sub>s</sub>,m,l):

Ο σχηματισμός παρουσιάζει σημαντική εξάπλωση στο πεδινό τμήμα στην περιοχή Τανάγρας – Σχηματαρίου – Οινοφύτων, ενώ αναμένεται υποκείμενος των Τεταρτογενών σχηματισμών, που συναντώνται επιφανειακά στην περιοχή Αγίου Θωμά – Οινοφύτων – Αυλώνας. Καλύπτουν επιφανειακά το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος. Τοπικά, συναντώνται λιγνιτικές ενδιαστρώσεις, ποικίλου πάχους. Το ανώτερο τμήμα τους καλύπτεται από εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης με επικρατούσα αργιλοχαλικώδη σύσταση. Στην περιοχή των Οινοφύτων, ΝΑ του Πύργου Διχαλωτού, απαντούν εναλλαγές κροκαλοπαγών και συνεκτικών αργίλων – πηλών (M<sub>s</sub>,l,c), που αποτελούν τα βαθύτερα μέλη του σχηματισμού.

## **ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ**

- Ποταμοχερσαίες Αποθέσεις (Pt):

Καταλαμβάνουν μεγάλες επιφανειακές εκτάσεις στην περιοχή βόρεια της Αυλώνας και νότια του Σχηματαρίου – Οινοφύτων. Έχουν πλειστοκαινική ηλικία και αποτελούνται από καστανόχρωμα μη συνεκτικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, που εναλλάσσονται με καστανές άμμους, αργίλους και πηλούς, το πάχος των οποίων μεταβάλλεται κατά θέσεις.

- Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (H.sc.cs):

Καταλαμβάνουν μικρή έκταση στο ΝΑ μέρος της περιοχής μελέτης. Πρόκειται για αδρομερή και γωνιώδη ασύνδετα υλικά.

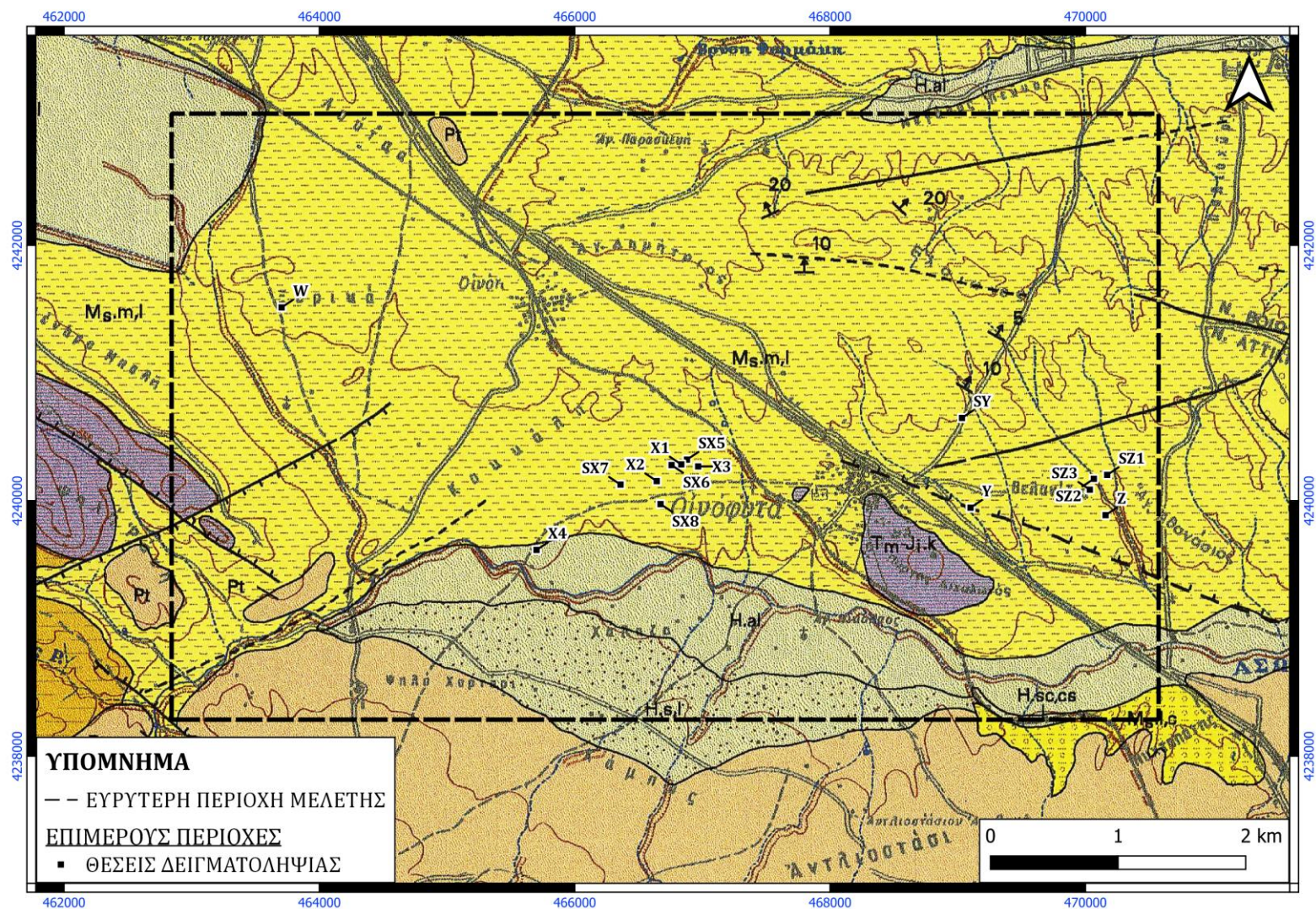
- Ασύνδετα αργιλοαμμώδη και χαλικομιγή υλικά (H.s.l):

Πρόκειται για καστανόχρωμα υλικά που προέρχονται από την αποσάθρωση και την εξαλλοίωση των γύρω σχηματισμών. Απαντώνται νότια της περιοχής των Οινοφύτων.

- Αλλουβιακές Αποθέσεις (H.al):

Αναπτύσσονται, κατά κύριο λόγο, στα πεδινά τμήματα και, γενικά, στις περιοχές με ήπιο τοπογραφικό ανάγλυφο. Ακολουθούν την διεύθυνση ανάπτυξης του ποταμού Ασωπού. Χαρακτηρίζονται, κυρίως, από αργιλοαμμώδη σύσταση με παρεμβολές αργίλων και κροκάλων και αποτελούν χαλαρό και ασύνδετο σχηματισμό.





Εικόνα 3: Προβολή θέσεων δειγματοληψίας στο απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ "Φύλλο Χαλκίδα"

#### 1.2.4. Γεωμορφολογία

Ο Ασωπός ποταμός ρέει με μέση διεύθυνση ανάπτυξης από δυτικά προς ανατολικά. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler, κατατάσσεται στους ποταμούς 6ης τάξης. Το υδρογραφικό δίκτυο στο σύνολό του είναι "παράλληλου" τύπου, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η εμφάνιση απότομων πλημμυρικών παροχών και η εκφόρτιση να γίνεται σχετικά ομαλά. Με αυτό τον τρόπο, ευνοείται περαιτέρω η κατείδυση σε σχέση με την επιφανειακή απορροή. Γενικά, το υδρογραφικό δίκτυο είναι αραιό με μεγάλου μήκους κλάδους. Χαρακτηρίζεται από ασυμμετρία με ανάπτυξη των δευτερευόντων κλάδων, κυρίως προς το Νότο και πολύ λιγότερο προς το Βορρά, όπου ο υδροκρίτης έχει διεύθυνση περίπου ίδια με αυτή του ποταμού, δυτικά-ανατολικά. Στο νότιο τμήμα, ο σημαντικότερος παραπόταμος του Ασωπού ποταμού είναι το ρέμα Κουκίστρα, 5ης τάξης, και στο βόρειο τμήμα είναι το ρέμα Θερμιδώνας, 4ης τάξης.

#### 1.2.5. Υδρογεωλογικές Συνθήκες

##### 1.2.5.1. Υδρολιθολογική Συμπεριφορά Σχηματισμών

Σύμφωνα με έρευνες του ΙΓΜΕ (Μόρφης, 1995; Δούνας & Καλλέργης, 1980), η υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών διακρίνεται σε υδροπερατούς και ημιπερατούς έως πρακτικά αδιαπέρατους.

Ως **υδροπερατοί** χαρακτηρίζονται:

- Οι Τριαδικοί-Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι παρουσιάζουν και υψηλό βαθμό καρστικοποίησης. Η σημαντική ανάπτυξη του καρστικού δικτύου αποτελεί απόρροια του ισχυρού τεκτονισμού του σχηματισμού, δηλαδή των έντονων διαρρήξεων και κατακλάσεων του.
- Οι αδρομερείς αποθέσεις του Τεταρτογενούς

Ως **ημιπερατοί έως πρακτικά αδιαπέρατοι** χαρακτηρίζονται:

- Τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα και οι υπερβασικοί σχηματισμοί του οφιολιθικού συμπλέγματος. Η περατότητά τους εξαρτάται από δευτερογενές πορώδες.



- Οι μάργες, άργιλοι, πηλοί, άμμοι και κροκάλες του Νεογενούς στην περιοχή της Τανάγρας – Σχηματαρίου – Οινοφύτων. Τα αδρομερή μέλη της σειράς (άμμοι, κροκάλες, ψαμμιτικά κροκαλοπαγή) παρουσιάζουν σχετικά καλή υδροφορία. Οι άργιλοι και οι μάργες αποτελούν πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς.

Τέλος, ως **αδιαπέρατος** σχηματισμός χαρακτηρίζεται το παλαιοζωικό υπόβαθρο (ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα).

#### 1.2.5.2. Υδροφόροι Ορίζοντες

Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται δύο ειδών κύριοι υδροφόροι ορίζοντες (Δούνας & et al, 1978). Εκατέρωθεν και κατά μήκος της κοίτης του Ασωπού ποταμού στην περιοχή των Οινοφύτων και Σχηματαρίου, αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας Νεογενών και Πλειστοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων και προσχώσεων, ενώ στην περιοχή των Οινοφύτων και μεταξύ της Τανάγρας και Ασωπίας, αναπτύσσεται βαθύτερα καρστικό υδροφόρο σύστημα Τριαδικών-Ιουρασικών ασβεστολίθων. Το σύστημα αυτό αποτελεί, κατά θέσεις, το υπόβαθρο των Νεογενών σχηματισμών.

Στον υδροφόρο ορίζοντα των κοκκωδών Νεογενών και των Πλειοπλειστοκαινικών αποθέσεων της περιοχής Σχηματαρίου-Οινοφύτων, η επικρατέστερη κίνηση του νερού είναι ΒΑ διεύθυνσης. Σύμφωνα με πιεζομετρικά δεδομένα της έρευνας των Δούνας & et al (1978), δυτικά των Οινοφύτων παρατηρείται κλειστή πτώση της πιεζομετρίας, η οποία χαρακτηρίζεται ως «υδραυλική καταβόθρα», όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4**. Εκτιμάται πως αυτή προκύπτει από την αναθόλωση του υποκείμενου καρστικού υποβάθρου των Τριαδικών-Ιουρασικών ασβεστολίθων και πως τροφοδοτείται από τα κατεισδύοντα νερά της βροχής και από τις διηθήσεις χειμαρρικών υδάτων.

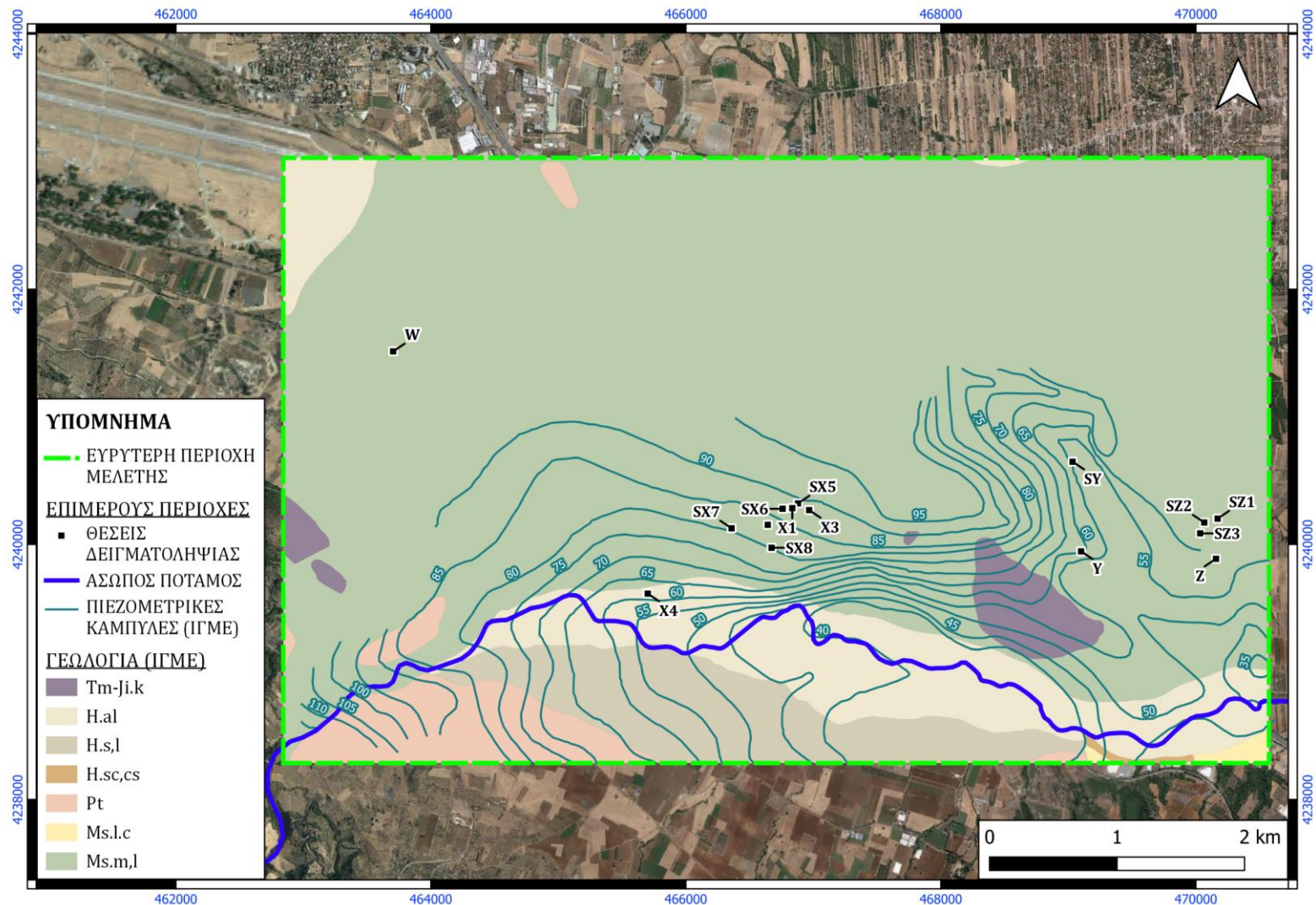
Ο κατώτερος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας των Τριαδικών-Ιουρασικών ασβεστολίθων, τροφοδοτείται από κατεισδύοντα όμβρια ύδατα στις βόρειες παρυφές της Πάρνηθας, καθώς και σε επιφανειακές εμφανίσεις των ασβεστολίθων αυτών εντός της λεκάνης του Ασωπού. Βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με τον υπερκείμενο κοκκώδη υδροφόρο ορίζοντα των Νεογενών και



Πλειστοκαινικών ιζημάτων στη θέση της υδραυλικής καταβόθρας που αναφέρεται παραπάνω. Τα υπόγεια νερά του καρστικού συστήματος ρέουν ανατολικά από τις περιοχές τροφοδοσίας τους προς τις υφάλμυρες πηγές του Καλάμου, όπου εκφορτίζονται.

Η διεύθυνση ροής των υπόγειων υδάτων και η υδραυλική σχέση μεταξύ του υποκείμενου και του υπερκείμενου υδροφόρου ορίζοντα, καθιστά το καρστικό υδροφόρο σύστημα ως ορίζοντα υψηλής ρυπαντικής επειδεκτικότητας (Γιαννουλόπουλος, 2008).

Σύμφωνα με την έρευνα του ΙΓΜΕ (Γιαννουλόπουλος, 2008), ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας που αναφέρεται παραπάνω είναι επιρρεπής σε ρύπανση από διηθήσεις ρυπασμένων υδάτων τόσο κατά μήκος του Ασωπού ποταμού, όσο και στην «υδραυλική καταβόθρα» δυτικά των Οινοφύτων.



**Εικόνα 4:** Ψηφιοποιημένος γεωλογικός και πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης (πρωτογενή δεδομένα από ΙΓΜΕ: Δούνας, 1978 και «Φύλλο Χαλκίδα»)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1. Ρύπανση Υπόγειων Υδάτων

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν πολύτιμο φυσικό πόρο στη Γη και η διασφάλιση της ποιότητάς τους είναι απαραίτητη για την δημόσια υγεία και τα οικοσυστήματα.

Η χημική τους σύσταση εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως:

- Η ποιότητα του νερού κατείσδυσης
- Οι φυσικοχημικές διεργασίες του υπεδάφους
- Οι μεταβολές των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής
- Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις

Το νερό χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο για την κάλυψη ποικίλων αναγκών, οι οποίες συνεχώς πληθαίνουν, με συνέπεια την αυξανόμενη εξάρτησή του από αυτό και την αύξηση της ζήτησής του. Οι ποσότητες νερού που επιστρέφουν στο περιβάλλον μετά από τη χρήση τους σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορεί να είναι ρυπασμένες ή ποιοτικά υποβαθμισμένες και τα υδάτινα οικοσυστήματα να αποτελούν τους τελικούς δέκτες τους.

Η προστασία των υπόγειων υδάτων από ρύπους είναι ιδιαίτερα απαιτητική, διότι αυτά είναι επιρρεπή στην ρύπανση, λόγω της περιορισμένης ικανότητάς τους για αυτοκαθαρισμό και της άμεσης σύνδεσής τους με τη ρύπανση του εδάφους. Η ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων είναι άμεσα συσχετιζόμενη με ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως οι γεωργικές και οι βιομηχανικές.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, ως ρύπανση ορίζεται: «η, συνεπεία ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας που μπορούν να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή την ποιότητα των υδατικών οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα, συντελούν στη φθορά υλικής ιδιοκτησίας, ή επηρεάζουν δυσμενώς ή παρεμβαίνουν σε λειτουργίες αναψυχής ή σε λοιπές νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος».

## 2.2. Βιομηχανικές Πηγές Ρύπων

Τα υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών, που δεν περιέχουν λύματα από χώρους εξυπηρέτησης προσωπικού, ονομάζονται βιομηχανικά απόβλητα. Αποτελούν συνέπεια της χρήσης νερού στις βιομηχανικές μονάδες, το οποίο εμπλουτίζεται σε διάφορα βιολογικά και μη συστατικά. Τα βιολογικά συστατικά περιλαμβάνουν τα απόβλητα βιομηχανιών παραγωγής τροφίμων, χαρτιού και επεξεργασίας υφαντικών ινών, ενώ τα μη βιολογικά απόβλητα προέρχονται από χημικές βιομηχανίες και περιέχουν ρυπαντές, όπως τοξικά ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα, άλατα, οξέα κ.α.

Τα βιομηχανικά απόβλητα μπορούν να διακριθούν σε επικίνδυνα (hazardous) και τοξικά (toxic). Τα επικίνδυνα απόβλητα κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες (Καββαδάς & Πανταζίδου, 2007) και για τη διάθεσή τους στο γεωπεριβάλλον απαιτούνται αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί και επεξεργασίες.

- Ανόργανα απόβλητα (περιέχουν βαρέα μέταλλα, αρσενικό, κάδμιο και κυανίδια σε διάλυση)
- Οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα (φαρμακευτικά, γεωργικά, διαλύτες, χρώματα)
- Οργανικά μη υδατοδιαλυτά απόβλητα (λιπαντικά ελαιοχρώματα, ελαιώδεις διαλύτες)
- Απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύος και στερεών (π.χ. απόβλητα διϋλιστηρίων)

## 2.3. Βιομηχανική Ζώνη Οινοφύτων

Η περιοχή των Οινοφύτων ανήκει πλέον στον Δήμο Τανάγρας, έπειτα από την ενοποίηση των Δήμων Δερβενοχωριών, Τανάγρας, Σχηματαρίου και Οινοφύτων με την εφαρμογή του Επιχειρησιακού Προγράμματος Καλλικράτης (Νόμος υπ' αριθμ. 3852/2010. «*Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης-Πρόγραμμα Καλλικράτης*» - ΦΕΚ 87Α'/7 Ιουνίου 2010), και έως το 1969 αποτελούσε αγροτική περιοχή. Ύστερα από την έκδοση

της διυπουργικής απόφασης Γ1/1806/1969 Απόφαση των Υπουργών Συντονισμού, Εσωτερικών, Κοινωνικών Υπηρεσιών, Γεωργίας, Βιομηχανίας και Δημοσίων Έργων (ΦΕΚ 200/Β/20-03-1969) «Περί ορισμού χρήσεων υδάτων ποταμού Ασωπού και των συμβαλλόντων ρεμάτων και καθορισμού ειδικών όρων διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων εις αυτούς», με την οποία επιτράπη η διάθεση λυμάτων στον Ασωπό ποταμό, ξεκίνησε η μετατροπή της περιοχής σε βιομηχανική ζώνη.

Με την έκδοση του Προεδρικού Διατάγματος 84/84 (ΦΕΚ 33/Α/21-3-84) «Ίδρυση, επέκταση, εκσυγχρονισμός, συγχώνευση και μετεγκατάσταση βιομηχανιών, βιοτεχνιών και αποθηκών μέσα στα όρια του ηπειρωτικού τμήματος του Νομού Αττικής και των νησιών Σαλαμίνας και Αίγινας» το 1984, η εγκατάσταση βιομηχανιών στο νομό Αττικής περιορίστηκε σημαντικά, με αποτέλεσμα την απότομη δραστηριοποίηση βιομηχανικών εγκαταστάσεων στα Οινόφυτα, χάρη στην πλεονεκτική γεωγραφική τους θέση, μόλις 50 χιλιόμετρα βόρεια της Αθήνας, σε κοντινή απόσταση από το λιμάνι του Πειραιά και τη δυνατότητα άμεσης προσέγγισής τους από τον κεντρικό οδικό άξονα της χώρας. Σύμφωνα με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, τα παραπάνω χαρακτηριστικά της περιοχής αποτέλεσαν ισχυρά κίνητρα για την βιαστική και «άναρχη» εγκατάσταση των μονάδων, χωρίς τη δημιουργία απαραίτητων υποδομών για τη στήριξη ενός ασφαλούς και βιώσιμου βιομηχανικού πάρκου. Μέχρι πρόσφατα ακόμα, δεν έχει εφαρμοστεί οργανωμένο σχέδιο για την δημιουργία των αναγκαίων υποδομών για την εύρυθμη λειτουργία του συνόλου των βιομηχανιών, με χαρακτηριστική έλλειψη αποχετευτικού δικτύου, μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων και συστημάτων παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων της περιοχής.

Ως απόρροια των παραπάνω, ακολούθησε η σταδιακή ανάπτυξη της περιοχής των Οινοφύτων στη σημερινή μεγαλύτερη, γεωγραφικά, βιομηχανική ζώνη της Στερεάς Ελλάδας με έκταση που προσεγγίζει τα 15km<sup>2</sup> και τη δραστηριοποίηση 275 βιομηχανικών μονάδων, όπως παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2** (Κουρούτου, 2019). Οι συνθήκες υπό τις οποίες έλαβε χώρα η βιομηχανική ανάπτυξη της περιοχής και η ανεξέλεγκτη διοχέτευση ρυπαντικού φορτίου σε γεωτρήσεις και

φρέατα, είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία πλήθους σημειακών ρυπογόνων εστιών και την ποιοτική επιβάρυνση των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2009).

**Πίνακας 2:** Κατανομή Βιομηχανικών Μονάδων ανά Κλάδο (Κουρούτου, 2019)

<b>Βιομηχανικός Κλάδος</b>	<b>Αριθμός Βιομηχανικών Μονάδων</b>	<b>Ποσοστό (%) επί του συνόλου</b>
Μεταλλουργικές Εργασίες	53	19.3
Χρώματα/Βαφές και Κλωστοϋφαντουργία	20	7.3
Καλλυντικά και Είδη Προσωπικής Φροντίδας και Υγιεινής	15	5.5
Εκτροφεία Ζώων	4	1.5
Τρόφιμα, Ποτά, Προϊόντα Ζαχαροπλαστικής και Αρτοποιίας	14	5.1
Λιπάσματα και Εντομοκτόνα	4	1.5
Παραγωγή και Επεξεργασία Τσιμέντου και Δομικών Υλικών	13	4.7
Πλαστικά και Χημικά	40	14.5
Συσκευασίες	9	3.2
Κατασκευή Ηλεκτρικών Συσκευών και Μηχανολογικού Εξοπλισμού	14	5.1
Εκτυπώσεις/Τυπογραφία	4	1.4
Επεξεργασία Ξύλου και Κατασκευή Επίπλων	11	4
Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας	19	6.9
Κτίρια Άγνωστων Χρήσεων	35	12.7
Κλειστά ή Εγκαταλελειμμένα Κτίρια	15	5.5
Άλλα	5	1.8
<i>Συνολικός Αριθμός Μονάδων</i>	<i>275</i>	<i>100</i>



## 2.4. Φυσικοχημικές Ιδιότητες Χρωμίου

Το χρώμιο (Cr) είναι ένα σκληρό, εύθραστο, λευκό μεταλλικό στοιχείο μετάπτωσης της 6<sup>ης</sup> ομάδας και 4<sup>ης</sup> περιόδου του περιοδικού πίνακα με ατομικό αριθμό (Z):24, σχετική ατομική μάζα (Ar) ίση με 51.996 και σχετική πυκνότητα  $d=7.19$ . Η ηλεκτρονιακή του δομή έχει ως εξής:  $[Ar]3d^54s^1$ . Είναι άοσμο και απαντάται σε μορφή σκόνης ή κρυστάλλων.

Ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Johann Gottlob Lehmann στη μεταλλική του μορφή το 1761 στα ορυχεία Beresof στα Ουράλια Όρη της Σιβηρίας. Έλαβε δείγματα από ένα κόκκινο-πορτοκαλί ορυκτό, το οποίο ανέλυσε και ανακάλυψε πως περιείχε μόλυβδο με σωματίδια σιδήρου. Αργότερα, αποδείχθηκε πως ήταν κροκοΐτης ( $PbCrO_4$ ). Το 1797 ο καθηγητής της Σχολής Μεταλλείων του Παρισιού Nicolas-Louis Vauquelin ανέλυσε με τη σειρά του ένα δείγμα του ίδιου ορυκτού και ανακάλυψε, επισήμως, το μεταλλικό στοιχείο που ονόμασε "Chromium" από την ελληνική λέξη «χρώμα», εξαιτίας της ποικιλίας χρωμάτων που εμφανίζουν οι ενώσεις του.

Ως τυπικό στοιχείο μετάπτωσης, το χρώμιο σχηματίζει πλήθος έγχρωμων και παραμαγνητικών ενώσεων. Λαμβάνει αριθμούς οξειδωσης από -2 έως και +6, με τους +2, +3 και +6 να αποτελούν τις πιο σταθερές και συνήθεις καταστάσεις οξειδωσης στις ενώσεις του. Δεδομένου ότι το δισθενές χρώμιο Cr(II) αποτελεί εξαιρετικά ισχυρό αναγωγικό παράγοντα, δεν απαντάται σε φυσικά συστήματα. Οι ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου Cr(VI) είναι ισχυροί οξειδωτικοί παράγοντες και, επομένως, ανάγονται με ευκολία σε ενώσεις τρισθενούς χρωμίου Cr(III) σε όξινα διαλύματα. Το τρισθενές χρώμιο απαντάται με τη μορφή χρωμιούχων οξειδίων ( $Cr_2O_3$ ), υδροξειδίων ( $Cr(OH)_3$ ) και διαλυτών κατιόντων ( $CrOH^{2+}$ ,  $Cr(OH)_2^+$ ), ενώ το εξασθενές χρώμιο με τη μορφή χρωμικών και διχρωμικών ανιόντων ( $CrO_4^{2-}$ ,  $Cr_2O_7^{2-}$ ) ή ως χρωμικό βάριο ( $BaCrO_4$ ) και διχρωμικό νάτριο ( $Na_2Cr_2O_7$ ).

## 2.5. Γεωγενής Προέλευση Χρωμίου

Το χρώμιο (Cr) αποτελεί το έβδομο πιο άφθονο στοιχείο στη Γη, με το σημαντικότερο μέρος του να βρίσκεται στον μανδύα και τον πυρήνα. Στον φλοιό, καταλαμβάνει την 21<sup>η</sup> θέση σε αφθονία με μέση συγκέντρωση της τάξης των 100-180ppm (Emsley, 2001) και απαντάται σε βασικά έως υπερβασικά πετρώματα, ενώ συνδέεται με τη γένεση οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Το χρώμιο είναι δυνατόν να ανακτηθεί για εμπορική και βιομηχανική χρήση αποκλειστικά από το ορυκτό του χρωμίτη ( $(\text{Mg,Fe}^{2+})(\text{Cr,Fe}^{3+},\text{Al})_2\text{O}_4$ ), το οποίο εξορύσσεται από κοιτάσματα μαγματικής προέλευσης σε συμπλέγματα βασικών-υπερβασικών πετρωμάτων. Η περιεκτικότητα των χρωμιούχων οξειδίων στα κοιτάσματα αυτά κυμαίνεται στο 15-65% και η κύρια πηγή τους απαντάται στη Ν. Αφρική με το 96% των γνωστών αποθεμάτων (Sperling, 2005). Με εξαίρεση τον κροκοϊτή ( $\text{PbCrO}_4$ ), όπου το χρώμιο είναι εξασθενές, το γεωγενές χρώμιο συναντάται στην φύση, κατά βάση, με την τρισθενή του μορφή.

Ο χρωμίτης αποτελεί ιδιαίτερα ανθεκτικό ορυκτό στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και στις μεταμορφικές αντιδράσεις, γεγονός που επιφέρει προβληματισμό ως προς την οξειδωση του χρωμίτη σε ανοξικά περιβάλλοντα και τις διεργασίες απελευθέρωσης χρωμίου (Oze, et al., 2007). Σε αυτού του είδους περιβάλλοντα, όπως υπόγεια ύδατα και ιζήματα, η αναγωγική διάλυση οξειδίων μαγγανίου (Mn) θεωρείται η κύρια γεωγενής πηγή οξειδωσης τρισθενούς χρωμίου Cr(III) σε εξασθενές Cr(VI) (Lilli, et al., 2015), (Hausladen & Fendorf, 2017) και, για  $\text{pH} < 9$ , θεωρείται η μοναδική (Oze, et al., 2007).

Σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές πηγές που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα, το γεωγενές χρώμιο μπορεί να εμφανιστεί σε συγκεντρώσεις έως 100-150μg/L. Οι μελέτες αυτές επιβεβαιώνουν πως η ύπαρξη σημαντικών συγκεντρώσεων εξασθενούς χρωμίου στα υπόγεια ύδατα μπορεί να είναι αποτέλεσμα του γεωπεριβάλλοντος.



**Πίνακας 3:** Τυπικά εύρη συγκέντρωσης γεωγενούς Cr(VI) σε υπόγεια υδατικά συστήματα που συνδέονται με υπερμαφικά πετρώματα.

Περιοχή μελέτης (αρ. δειγμάτων)	Εύρη συγκ. Cr (VI), μg/L	Είδος υδροφορέα	Πηγές
Ελλάδα (600)	2-100	Κοκκώδεις σε επαφή με οφιολίθους	Kaprara et al. 2015
Κεντρική Εύβοια (65)	2-146	Κοκκώδης	Papazotos et al. 2019
Βεργίνα (8)	18-64	Οφιολιθικός	Dermatas et al. 2015
Λα Σπέτσια, Ιταλία (58)	5-73	Οφιολιθικός	Fantoni et al. 2007
Καλιφόρνια, ΗΠΑ (918)	1-32	Κοκκώδεις σε επαφή με οφιολίθους	Izbicki et al. 2015

Σε κάθε περίπτωση, η εμφάνιση του εξασθενούς χρωμίου εξαρτάται σημαντικά από τις επικρατούσες υδρογεωλογικές και γεωχημικές συνθήκες της περιοχής (Coyte, et al., 2020).

## 2.6. Βιομηχανικές Εφαρμογές και Απόβλητα Χρωμίου

Το χρώμιο και οι ενώσεις του βρίσκουν εφαρμογή σε πληθώρα βιομηχανικών μονάδων, όπως στην μεταλλουργία για την παραγωγή κραμάτων Fe-Ni, Cu-Cr και ανοξειδώτου χάλυβα, στις επιμεταλλώσεις (επιχρωμίωση), στην παραγωγή πυρίμαχων υλικών, στη χρωματοουργία, στην υφαντουργία ή ως καταλύτης, χάρη στη σημαντική ανθεκτικότητά του σε διεργασίες διάβρωσης και οξειδωσης (Hlihor, et al., 2009).

Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές των μορφών χρωμίου σύμφωνα με τον (Karr, 2005) είναι οι εξής:

- Τρισθενές χρώμιο ( $\text{Cr}^{3+}$ ): Χρησιμοποιείται στην παραγωγή μεταλλικών κραμάτων, στη βυρσοδεψία δέρματος και στην κατασκευή τούβλων υψηλής θερμοκρασίας για βιομηχανικούς κλιβάνους.
- Εξασθενές χρώμιο ( $\text{Cr}^{6+}$ ): Βρίσκει εφαρμογή στην χρωματοουργία, στο φινίρισμα μετάλλων και στην παραγωγή συντηρητικών ξύλου.

- Τριοξείδιο του χρωμίου ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ): Χρησιμοποιείται σε επιχρωμιώσεις, στην απογύμνωση χάλκινων καλωδίων, στην ανοδίωση αλουμινίου, στον καθαρισμό λαδιού και ακετυλενίου.

Ο σχηματισμός αποβλήτων χρωμίου καθίσταται αναπόφευκτος κατά την επεξεργασία του στις προαναφερθείσες βιομηχανικές δραστηριότητες (Jacobs & Testa, 2005), γεγονός που αποτελεί τα λύματα αυτά την κύρια πηγή ανθρωπογενούς απελευθέρωσης εξασθενούς χρωμίου στο περιβάλλον (Cheng & et al, 2014).

## 2.7. Επικινδυνότητα Χρωμίου

Εξαιτίας της ύπαρξής του σε διαφορετικές καταστάσεις οξείδωσης, το χρώμιο αποτελεί, παραδόξως, απαραίτητο θρεπτικό συστατικό και, ταυτόχρονα, κίνδυνο για την υγεία (Guertin J., 2005). Ειδικότερα, ενώ το τρισθενές χρώμιο αποτελεί αναγκαίο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό, καθώς συμβάλλει στη μείωση της γλυκόζης στο αίμα και στον μεταβολισμό λιπιδίων και πρωτεϊνών, το εξασθενές χρώμιο έχει αποδειχθεί τοξικό και καρκινογενές (World Health Organization, 2012), καθώς είναι 500 φορές πιο τοξικό σε σχέση με το τρισθενές (Kowalski, 1994).

Το τρισθενές χρώμιο απαντάται ως συστατικό ποικίλων τροφίμων, όπως το μπρόκολο, η μαγιά της μύρας, το τυρί και τα δημητριακά. Μπορεί να λειτουργήσει ως συμπλήρωμα διατροφής για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων μορφών διαβήτη και για τη μείωση της χοληστερόλης.

Το εξασθενές χρώμιο είναι εξαιρετικά τοξικό και επικίνδυνο για την υγεία των ζωντανών οργανισμών σε καθαρά και πυκνά διαλύματα. Η είσοδος του εξασθενούς χρωμίου στον ανθρώπινο οργανισμό μπορεί να πραγματοποιηθεί διά του αναπνευστικού (αναπνοή ρυπασμένου ατμοσφαιρικού αέρα), του πεπτικού (κατανάλωση ρυπασμένου νερού) και του καλυπτήριου συστήματος (επιδερμίδα). Η πρώτη περίπτωση αποτελεί την πιο επικίνδυνη, διότι ένα σημαντικό μέρος του εξασθενούς χρωμίου παραμένει στις κυψελίδες των

πνευμόνων και λειτουργεί ως καρκινογόνος παράγοντας. Στο πόσιμο νερό και τη διατροφή το εξασθενές χρώμιο ανάγεται σε τρισθενές από το γαστρεντερικό σύστημα, ενώ με την είσοδο από την επιδερμίδα αυτό ανάγεται σε τρισθενές από το αίμα πριν την απορρόφηση. Θεωρείται πως σε αυτές τις δύο περιπτώσεις, λόγω της χαμηλής του συγκέντρωσης και της δυνατότητάς του να αναχθεί σε τρισθενές, το χρώμιο παύει να είναι τοξικό.

## 2.8. Υφιστάμενες μελέτες

### 2.8.1. CrITERIA Project

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται τα δεδομένα που προέκυψαν στο πλαίσιο του έργου διεπιστημονικής προσέγγισης της Ευρωπαϊκής Ένωσης “CrITERIA: Cr(VI) Impacted water bodies in the Mediterranean: Transposing management options for Efficient water Resources use through an Interdisciplinary Approach”, το οποίο αφορά τη διαχείριση επιβαρυσμένων υδάτων από γεωγενές χρώμιο (Pyrgaki, et al., 2018). Τα δεδομένα του έργου αφορούν σε χώρες της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής (Ελλάδα, Ιταλία, Κύπρος, Τουρκία, Ιορδανία και Ομάν), ωστόσο στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν τα δείγματα από την Ελλάδα και, πιο συγκεκριμένα, από την περιοχή των Οινοφύτων (Πίνακας 4).

Η συλλογή των δειγμάτων CrITERIA έλαβε χώρα εντός της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων κατά τις υγρές και ξηρές περιόδους του 2017 και 2018 και η ανάλυσή τους περιλαμβάνει αναλύσεις κύριων παραμέτρων και ιχνοστοιχείων, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

**Πίνακας 4: Δείγματα έργου CrITERIA**

<b>ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	<b>ΚΩΔ. ΘΕΣΗΣ</b>	<b>ΗΜ/ΝΙΑ</b>	<b>X (EGSA'87)</b>	<b>Y (EGSA'87)</b>
GA49A	49A	30-Jun-17	467590.75	4240423.09
GA50A	50A	30-Jun-17	466710.80	4240678.41
GA52A	52A	30-Jun-17	466716.41	4240344.56
GA53A	53A	30-Jun-17	466777.24	4240316.51
GB52A	52A	16-Jan-18	466716.41	4240344.56
GB53A	53A	16-Jan-18	466777.24	4240316.51
GC52A	52A	5-Jul-18	466716.41	4240344.56
GC53A	53A	5-Jul-18	466777.24	4240316.51
GD52A	52A	4-Oct-18	466716.41	4240344.56
GD53A	53A	4-Oct-18	466777.24	4240316.51

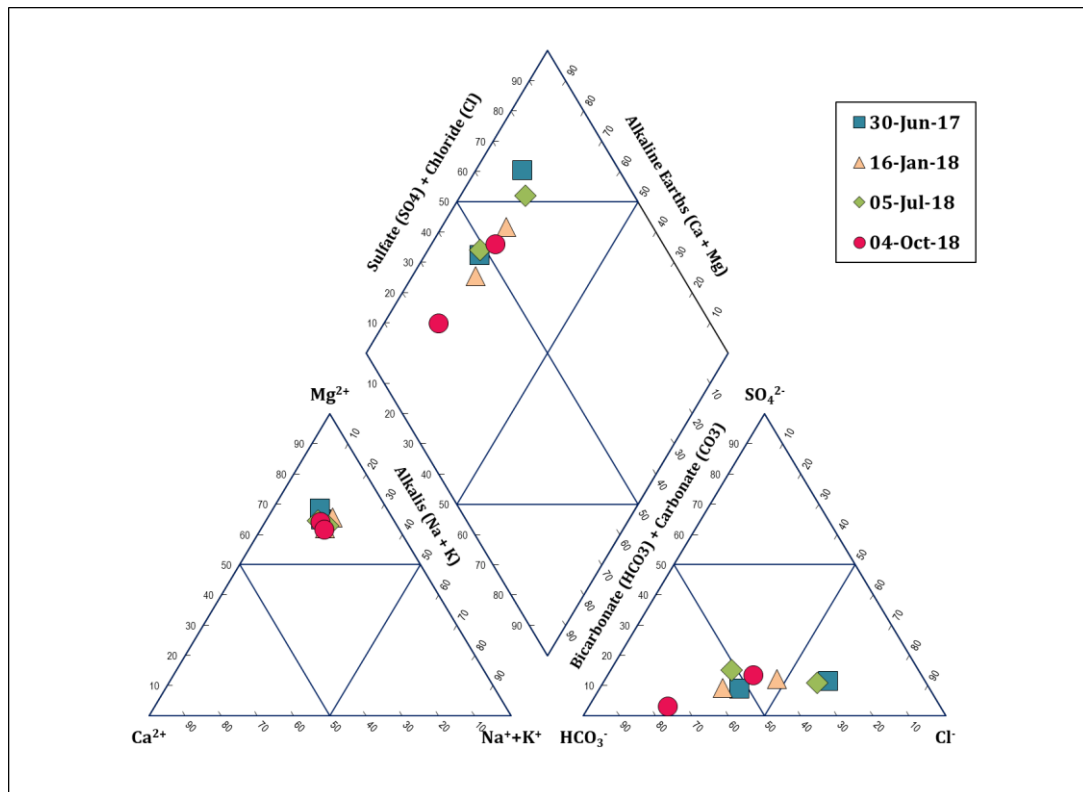
Στην **Εικόνα 5** παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας του έργου CrITERIA σε σχέση με τις θέσεις των δειγμάτων της παρούσας εργασίας. Τα δείγματα βρίσκονται στην υπολεκάνη Οινοφύτων-Αγίου Θωμά στο βόρειο τμήμα της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων, πλησίον των δειγμάτων X1, X2 και X3. Η πλεονεκτική τους θέση σε σχέση με τα παραπάνω δείγματα θα επιτρέψει την σύγκριση των δεδομένων του 2017-18 με τα δεδομένα του 2021 και την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την εξέλιξη της ποιότητας των υπόγειων υδάτων της περιοχής ενδιαφέροντος.





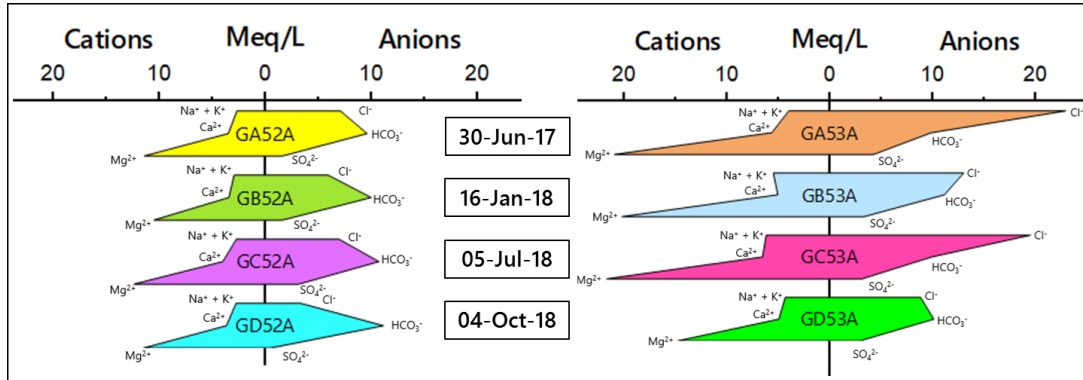
Εικόνα 5: Θέσεις δειγματοληψίας έργου CrITERIA στην περιοχή μελέτης

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων δείχνουν πως το υπόγειο νερό κυριαρχείται από  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{Cl}^-$ , ως προς τα ανιόντα και από  $\text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Ca}^{2+}$ , ως προς τα κατιόντα, ενώ οι κύριοι υδροχημικοί τύποι νερού είναι: Ca-Mg- $\text{HCO}_3$  και Ca-Mg-Cl- $\text{SO}_4$ . Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα Piper, η διασπορά των δειγμάτων προς υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου υποδεικνύει την επίδραση της βιομηχανικής δραστηριότητας της περιοχής στο υπόγειο νερό.



Εικόνα 6: Διάγραμμα Piper δειγμάτων CrITERIA

Παρατηρώντας, επιπλέον, τα ακόλουθα διαγράμματα Stiff δεν διακρίνονται σημαντικές αλλαγές μεταξύ της ξηρής και της υγρής περιόδου για τα δείγματα της θέσης 52A, ενώ τα δείγματα της θέσης 53A παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες τιμές  $\text{Cl}^-$  κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου του υδρολογικού έτους.

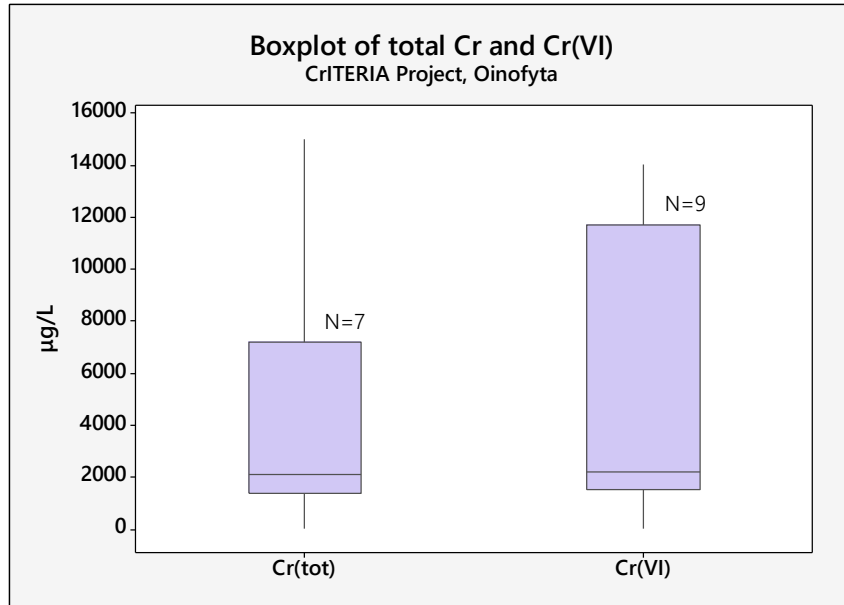


Εικόνα 7: Διαγράμματα Stiff δειγμάτων CrITERIA

Οι αναλύσεις των παραπάνω δειγμάτων περιλαμβάνουν μετρήσεις των συγκεντρώσεων ολικού και εξασθενούς χρωμίου, οι οποίες στην συντριπτική τους πλειοψηφία παρουσιάζουν υψηλές έως υπερύψηλες τιμές, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5. Αναλυτικότερα, η μέγιστη τιμή ολικού χρωμίου μετρήθηκε στο δείγμα GA53A, με συγκέντρωση 15,000μg/L με τα 11,714.29μg/L να αντιστοιχούν σε CrVI. Η μέγιστη τιμή εξασθενούς χρωμίου μετρήθηκε στο δείγμα GC53A, με συγκέντρωση 14,000μg/L και άγνωστη ποσότητα ολικού χρωμίου. Τα παραπάνω δείγματα μέγιστων συγκεντρώσεων αντιστοιχούν σε δείγματα από την ίδια θέση, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Πίνακας 5: Συγκεντρώσεις ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Ολικό Cr (μg/L)	CrVI (μg/L)
GA49A	4	3
GA50A	Δεν ανιχνεύτηκε	Δεν ανιχνεύτηκε
GA52A	2100	1607.1
GA53A	15000	11714.3
GB52A	1750	1519
GB53A	7200	6100
GC52A	-	2200
GC53A	-	14000
GD52A	1400	1320
GD53A	4000	3500



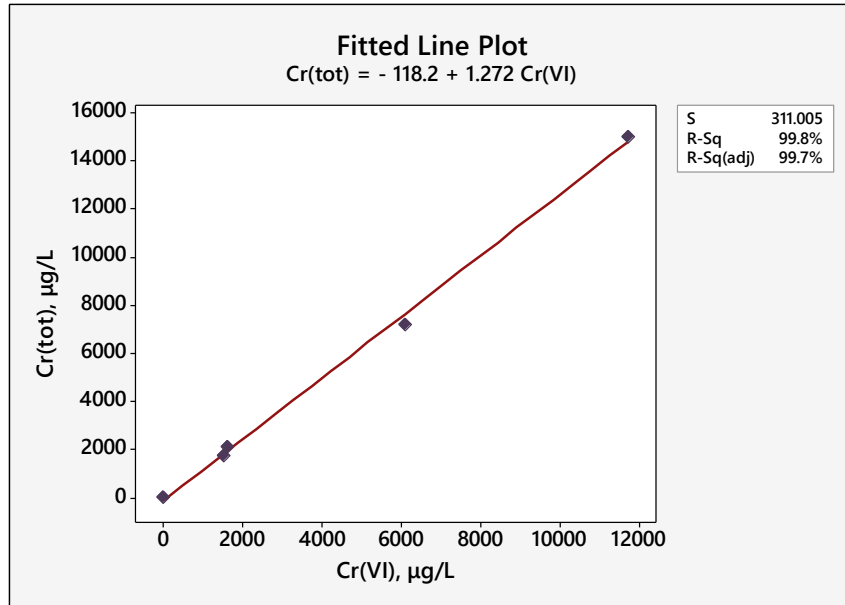
**Εικόνα 8:** Θηκογράμματα συγκεντρώσεων ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA

Οι δύο αυτές παράμετροι παρουσιάζουν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ τους, γεγονός που προκύπτει από την εγγύτητα μεταξύ των στατιστικών τους τιμών (Πίνακας 6) και από το διάγραμμα ποσοτικοποίησης με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (Εικόνα 9). Ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) υποδεικνύει πως το χρώμιο στα υπόγεια νερά της περιοχής εμφανίζεται ως επί το πλείστον με τη μορφή εξασθενούς χρωμίου.

**Πίνακας 6:** Πίνακας περιγραφικών στατιστικών στοιχείων ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA. Συγκεντρώσεις σε µg/L

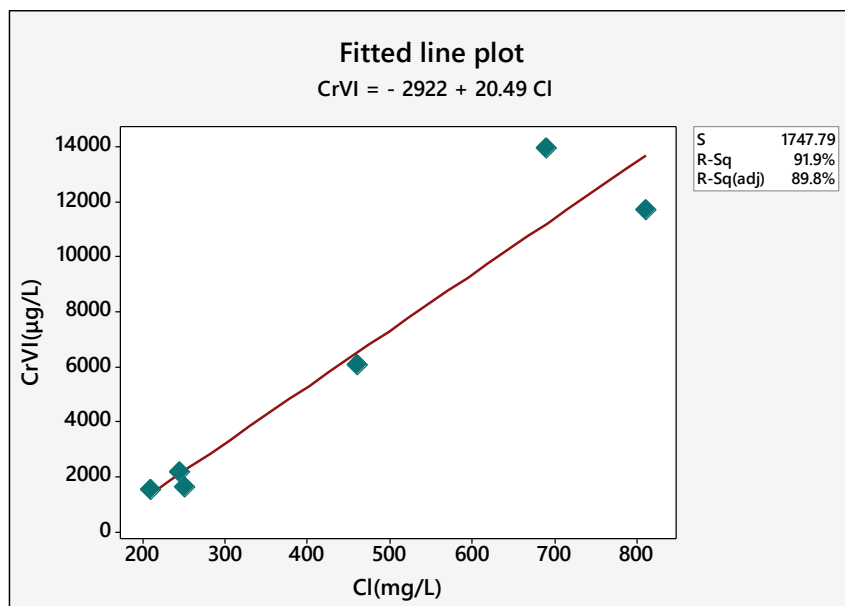
Variable	Count	Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
Cr (total)	10	4493	5179	4	1400	2100	7200	15000
Cr (VI)	10	4663	4981	3	1420	2200	8907	14000





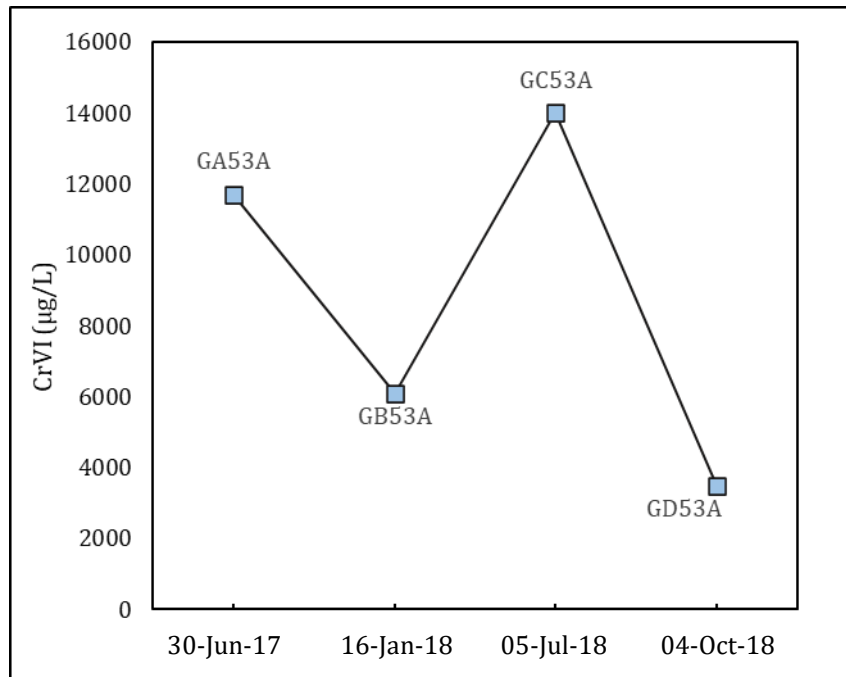
**Εικόνα 9:** Διάγραμμα συσχέτισης ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα CrITERIA

Παρά την παρουσία οφιολιθικού υποβάθρου στην περιοχή μελέτης και την τροφοδοσία των νεογενών ιζημάτων με οφιολιθικές κροκάλες, τόσο υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου σε υπόγεια υδατικά δείγματα δεν θα μπορούσαν να αποδοθούν σε φυσικά αίτια.



**Εικόνα 10:** Διάγραμμα συσχέτισης εξασθενούς χρωμίου και ανιόντων χλωρίου στα δείγματα CrITERIA

Επιπλέον, παρατηρείται ισχυρή θετική συσχέτιση των συγκεντρώσεων εξασθενούς χρωμίου με τις συγκεντρώσεις ανιόντων χλωρίου, παρουσιάζοντας ανάλογες μεταβολές κατά τις υγρές και ξηρές περιόδους.



**Εικόνα 11:** Διάγραμμα εξέλιξης συγκεντρώσεων CrVI στη θέση 53A CrITERIA

Οι μεταβολές που περιγράφονται παραπάνω παρουσιάζουν αξιοσημείωτη περιοδικότητα σε σχέση με το υδρολογικό έτος, αναπτύσσοντας την υπόθεση για μια εστιακή πηγή ρύπανσης εντός της βιομηχανικής ζώνης, η οποία κατά την υγρή περίοδο υπόκειται σε διεργασία έκπλυσης και απελευθερώνει Cr(VI) στο υπόγειο υδροφόρο σύστημα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.1. Δειγματοληψία

#### 3.1.1. Προεργασία

Η διαδικασία της δειγματοληψίας χρειάστηκε ιδιαίτερο συντονισμό και προκαταρκτικές ενέργειες για τη διασφάλιση της οργανωμένης, ομαλής και ορθής διεξαγωγής της.

Πριν την άφιξη στο πεδίο, προηγήθηκαν οι εξής εργασίες γραφείου για τον σχεδιασμό και προγραμματισμό των εργασιών πεδίου:

- Σύνταξη δελτίου δειγματοληψίας και field log
- Προετοιμασία φιαλών και δοχείων
- Καταγραφή ετικετών ταυτοποίησης δειγμάτων
- Ρύθμιση και έλεγχος εξοπλισμού

Κατά την άφιξη στο πεδίο, έλαβαν χώρα οι ακόλουθες απαραίτητες ενέργειες πριν την έναρξη οποιασδήποτε διαδικασίας συλλογής δείγματος:

- Καταγραφή συνθηκών δειγματοληψίας
- Μέτρηση στάθμης υδροφόρου ορίζοντα: Πριν από κάθε δειγματοληψία, πραγματοποιήθηκε μέτρηση και καταγραφή της στάθμης του νερού στη γεώτρηση, με τη χρήση ηλεκτρονικού σταθμόμετρου.

#### 3.1.2. Διαδικασία Δειγματοληψίας

Σε κάθε θέση δειγματοληψίας, ο δειγματολήπτης (bailer) τοποθετήθηκε με προσοχή εντός των γεωτρήσεων και το πρώτο δείγμα που συλλέχθηκε χρησιμοποιήθηκε για το ξέβγαλμα του δειγματολήπτη και, έπειτα, απορρίφθηκε. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε επί τόπου μέτρηση και καταγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων του δείγματος νερού με πιστοποιημένο όργανο μέτρησης (Model: PCD650, Eutech Instruments Waterproof Multiparameter) σε γυάλινο ποτήρι ζέσεως. Οι επί τόπου μετρήσεις έγιναν για να προσδιοριστούν οι εξής παράμετροι: η θερμοκρασία T (°C), το pH, το Eh (mV), τα ολικά διαλυμένα στερεά TDS (mg/l), η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC (μS/cm) και το διαλυμένο

οξυγόνο DO (mg/lit, %). Το παραπάνω δείγμα απορρίφθηκε μετά την σταθεροποίηση και καταγραφή των παραμέτρων.

Τα δείγματα που προορίστηκαν για γενική χημική ανάλυση συλλέχθηκαν σε ειδικές φιάλες πολυαιθυλενίου των 500ml, οι οποίες ξεπλύθηκαν δύο φορές με το δείγμα νερού και, έπειτα, γεμίστηκαν πλήρως με αυτό, χωρίς να περάσει από φίλτρο. Για τη διασφάλιση της ποιότητας των δειγμάτων, οι φιάλες παρέμειναν σφραγισμένες μέχρι την έναρξη της δειγματοληψίας. Τα δείγματα γενικής χημικής ανάλυσης συλλέχθηκαν πρώτα.

Ύστερα, τα δείγματα που προορίστηκαν για τον προσδιορισμό του εξασθενούς χρωμίου συλλέχθηκαν σε ειδικές φιάλες πολυαιθυλενίου των 200ml, χωρίς να ξεπλυθούν με δείγμα, καθώς περιείχαν συντηρητικό διάλυμα. Το νερό του δείγματος πριν διοχετευτεί σε φιάλη, υποβλήθηκε σε διαδικασία διήθησης στο πεδίο, χρησιμοποιώντας φίλτρα κυτταρίνης μεγέθους οπής 0.45μm και αντλία χειρός. Οι φιάλες προσδιορισμού εξασθενούς χρωμίου πληρώθηκαν κατά 95% με διηθημένο νερό.



**Εικόνα 12:** Όργανο μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων και συσκευή διήθησης με αντλία χειρός στο πεδίο

### 3.1.3. Διαδικασίες Ποιοτικού Ελέγχου

Κατά τη συλλογή δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκαν καθαρά γάντια νιτριλίου χωρίς πούδρα ή πλαστικοποιητές, τα οποία αλλάζονταν μετά από κάθε σημείο δειγματοληψίας. Παράλληλα, πριν και ύστερα από κάθε δειγματοληψία σε

ορισμένο σημείο, ο εξοπλισμός ξεπλενόταν με υπερκάθαρο απιονισμένο νερό, προμηθευμένο από το εργαστήριο. Ο εξοπλισμός και τα δοχεία δεν ήρθαν ποτέ σε επαφή με το έδαφος, αλλά τοποθετήθηκαν σε καθαρή επιφάνεια που το κάλυπτε, μακριά από εξατμίσεις οχημάτων. Αναφορικά με τις φιάλες δειγματοληψίας, αυτές δεν ανοίγονταν πριν την έναρξη της διαδικασίας στο πεδίο και φυλάσσονταν σε μονωμένη συσκευασία. Τα δείγματα δεν εκτέθηκαν για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα σε πηγές θερμότητας και στην αερομεταφερόμενη σκόνη.

#### **3.1.4. Αποθήκευση, συντήρηση και μεταφορά δειγμάτων**

Αμέσως μετά τη συλλογή τους, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε μονωμένη συσκευασία (φορητό ψυγείο) με παγοκύστες, ώστε να αποφευχθεί η έκθεσή τους στο ηλιακό φως και σε πιθανές πηγές θερμότητας. Για κάθε ομάδα παραμέτρων (γενική χημική ανάλυση και εξασθενές χρώμιο), χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό ψυγείο. Η θερμοκρασία του ψυγείου μετρήθηκε και καταγράφηκε πριν τη μεταφορά των δειγμάτων και μετά την άφιξή τους στο εργαστήριο. Η μεταφορά και ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο έγινε εντός 24 ωρών από τη συλλογή τους.

### **3.2. Μέθοδοι Χημικών Αναλύσεων**

#### **3.2.1. Ψηφιακός Τιτλοδότης – Ογκομέτρηση**

Για τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας και της σκληρότητας του υπόγειου νερού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τιτλοδότησης. Γνωστή και ως ογκομέτρηση, η τιτλοδότηση αποτελεί μια κοινή εργαστηριακή μέθοδο ποσοτικής χημικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μιας προσδιορισμένης αναλυόμενης ουσίας (Medwick & Kirschner, 2010). Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Ένα αντιδραστήριο, γνωστού όγκου και συγκέντρωσης, αντιδρά με ένα διάλυμα της αναλυόμενης ουσίας. Στην προκειμένη περίπτωση, το διάλυμα ήταν το υπόγειο νερό των γεωτρήσεων και οι

παράμετροι που προσδιορίζονταν ήταν η αλκαλικότητα και η σκληρότητα. Η ολοκλήρωση της αντίδρασης λαμβάνει χώρα όταν το χρώμα του δείκτη έχει πλήρως μεταβληθεί. Ακολουθεί ποσοτικοποίηση του αντιδραστηρίου που χρειάστηκε για να ολοκληρωθεί η αντίδραση, του οποίου ο όγκος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ποσότητας της αναλυόμενης ουσίας στο αρχικό δείγμα. Ύστερα, υπολογιστικά από την σκληρότητα προσδιορίστηκε η συγκέντρωση των κατιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), πολλαπλασιάζοντας την τιμή της με 0,4, και από την αλκαλικότητα προσδιορίστηκε η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ανιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ), πολλαπλασιάζοντας με 1,22.

### 3.2.2. Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης (AAS)

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κατιόντων μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) στα υδατικά δείγματα, έγινε χρήση της αναλυτικής τεχνικής φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS). Η μέθοδος αποτελεί την πλέον διαδεδομένη τεχνική για την μέτρηση συγκεντρώσεων κατιόντων και ιχνοστοιχείων σε διαλύματα. Το προς ανάλυση δείγμα ατομοποιείται και διέρχεται μέσα από μια ακτίνα φωτός, κατάλληλου μήκους κύματος, το οποίο διεγείρει τα άτομα του προσδιοριζόμενου στοιχείου κατά την απορρόφησή του από αυτά. Η μετρούμενη απορρόφηση της φωτεινής ακτίνας συγκρίνεται με την απορρόφηση που προκύπτει από πρότυπα διαλύματα βαθμονόμησης γνωστής συγκέντρωσης (standards) και, κατ' αυτό τον τρόπο, προσδιορίζεται η συγκέντρωση του αναλυτή στο δείγμα.

### 3.2.3. Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής (AES)

Η φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής χρησιμοποιεί το φάσμα εκπομπής διεγερμένων ατόμων για την ποσοτικοποίηση συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων σε διαλύματα. Στα υδατικά δείγματα που ελήφθησαν, έγινε χρήση της τεχνικής της φλογοφωτομετρίας ατομικής εκπομπής για τον προσδιορισμό των κατιόντων καλίου ( $\text{K}^+$ ) και νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) με το φλογοφωτόμετρο του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Οι δυνατότητες ανάλυσης της



φλογοφωτομετρίας περιορίζονται στον προσδιορισμό των δύο αυτών αλκαλίων, καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στη φλόγα δεν είναι ικανές να διεγείρουν άτομα μη αλκαλικών μετάλλων.

Γενικά, η πηγή του φάσματος εκπομπής θα πρέπει να ατμοποιεί το προς ανάλυση δείγμα, να διασπά τις χημικές ενώσεις που υπάρχουν σε αυτό και να διεγείρει τα άτομα και ιόντα του διαλύματος. Ο παραπάνω συνδυασμός είναι εφικτός σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες από αυτές της φλόγας, έτσι αναπτύχθηκαν οι απαραίτητες εναλλακτικές πηγές ατμοποίησης. Σημαντικότερη αποδείχθηκε η χρήση πλάσματος με επαγωγική σύζευξη (ICP), η οποία έφερε επανάσταση στην τεχνική της ατομικής εκπομπής, παρέχοντας τη δυνατότητα προσδιορισμού πληθώρας χημικών στοιχείων.

#### **3.2.4. Φασματοφωτομετρία UV-Vis**

Για τον προσδιορισμό των χλωριούχων ( $\text{Cl}^-$ ), θειικών ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) και νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) ιόντων, καθώς και του εξασθενούς χρωμίου ( $\text{CrVI}$ ) χρησιμοποιήθηκε η τεχνική φασματοφωτομετρίας UV-Vis. Το φασματοφωτόμετρο είναι ένα εργαστηριακό όργανο σάρωσης ικανό να αναλύει στο εγγύς υπέρυθρο, ορατό και υπεριώδες φάσμα και για την εκτέλεση των αναλύσεων έγινε χρήση του μοντέλου HACH DR/4000 του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Η φασματοφωτομετρία αποτελεί μια χρήσιμη μέθοδο ποσοτικής ανάλυσης, με βασική αρχή την απορρόφηση ή την μετάδοση φωτός από κάθε χημική ένωση σε ένα ορισμένο μήκος κύματος. Ουσιαστικά, προσδιορίζει τη συγκέντρωση της αναλυόμενης ουσίας μέσω της αλληλεπίδρασης των ιόντων με το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

#### **3.2.5. Δοκιμές Περιθλασιομετρίας Ακτίνων-X (XRD)**

Εκτός από υδατικά, ελήφθησαν και εδαφικά δείγματα από τις γεωτρήσεις, τα οποία αναλύθηκαν με τη μέθοδο περιθλασιομετρίας ακτίνων X. Η ανάλυση γεωλογικών δειγμάτων με περιθλασιομετρία ακτίνων X (X-Ray Diffraction, XRD)

είναι μια μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιείται για τη μελέτη της κρυσταλλικής δομής ενός ορυκτού και για τον προσδιορισμό των κύριων ορυκτών φάσεων ενός πετρώματος.

Στηρίζεται στην περίθλαση μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων X, γνωστού μήκους κύματος ( $\lambda$ ), πάνω στα πλεγματικά επίπεδα των εξεταζόμενων δειγμάτων και, έπειτα, στον προσδιορισμό των, μοναδικών για κάθε ορυκτό, εσωτερικών διαστημάτων  $d$  των επιπέδων του κρυσταλλικού πλέγματος.

Το περιθλασίμετρο ακτίνων X που χρησιμοποιήθηκε είναι το αυτόματο περιθλασίμετρο του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α, βασιζόμενο στη μέθοδο κόνεως. Ακολουθεί συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθείται για την ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων:

Τα δείγματα που αναλύονται χρήζουν ειδικής προετοιμασίας που περιλαμβάνει την επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος και την προσεκτική κονιοποίησή του σε γουδί χειρός, ώσπου να επιτευχθεί κοκκομετρία  $<20\mu\text{m}$ , για την αποφυγή παρουσίας υψηλού θορύβου στο ακτινοδιάγραμμα.

Για την αναγνώριση των ορυκτών φάσεων του υπό μελέτη δείγματος, δίνεται βάση στο αξίωμα του W. Hull, 1919: «κάθε κρυσταλλικό υλικό δίνει ένα ακτινοδιάγραμμα. Το ίδιο υλικό δίνει κάθε φορά το ίδιο διάγραμμα. Σε ένα μίγμα από κρυσταλλικά υλικά, το ακτινοδιάγραμμα που προκύπτει είναι το αποτέλεσμα της σύνθεσης του ακτινοδιαγράμματος του κάθε υλικού ξεχωριστά».

Μετά το πέρας της ακτινογραφικής ανάλυσης, λαμβάνεται ψηφιακό ακτινοδιάγραμμα, στο οποίο ως κορυφές (peaks) είναι αποτυπωμένες οι καταγεγραμμένες ανακλάσεις των ακτίνων X, που αντιστοιχούν σε παρουσία ορισμένων ορυκτών. Η αποτίμηση των ακτινοδιαγραμμάτων για τα δείγματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού «EVA» της Bruker και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.

### 3.2.6. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης αποτελεί εξοπλισμό μικροσκοπίας και εξέτασης μικροδομών στερεών δειγμάτων, δίνοντας εικόνες υψηλού βαθμού διείσδυσης σε λεπτομερή κλίμακα. Η λειτουργία του είναι αντίστοιχη με τη λειτουργία ενός κοινού οπτικού μικροσκοπίου, με τη διαφορά ότι αντί για φως, χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας για την εξέταση του υλικού ενδιαφέροντος. Τα ηλεκτρόνια έχουν τη δυνατότητα εστίασης, όπως και το φως, εξαιτίας της κυματικής τους φύσης. Η σημαντικά μικρότερη επιφάνεια στην οποία εστιάζουν, σαρώνεται από την δέσμη ηλεκτρονίων και, με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η εξαγωγή φασματομετρικών πληροφοριών που αφορούν τα άτομα των στοιχείων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό, τη μορφολογία και τη σύσταση της επιφάνειάς του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρονται τα βασικά γεωχημικά χαρακτηριστικά και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τις χημικές αναλύσεις 7 δειγμάτων υπόγειου νερού που συλλέχθηκαν από 7 ερευνητικές γεωτρήσεις στην περιοχή μελέτης.

**Πίνακας 7:** Κωδικοί σημείων δειγματοληψίας και εκτέλεσης χημικών αναλύσεων

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	X (EGSA'87)	Y (EGSA'87)
W	463704.13	4241519.00
X1	466816.38	4240261.00
X2	466640.78	4240151.00
X3	466912.81	4240219.00
X4	465732.06	4239635.50
Y	469026.44	4239978.00
Z	470153.31	4239897.00

Ακολουθούν οι πίνακες αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων για τις φυσικοχημικές παραμέτρους, τα κύρια ιόντα και ιχνοστοιχεία Cr(VI) των υπόγειων υδάτων που αναλύθηκαν για την υπό εξέταση περιοχή:

**Πίνακας 8:** Ημερομηνίες δειγματοληψίας και διήθησης υδατικών δειγμάτων

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Ημερομηνία Συλλογής	Ημερομηνία Διήθησης
W	3-Dec-21	10-Dec-21
X1	30-Nov-21	1-Dec-21
X2	1-Dec-21	3-Dec-21
X3	30-Nov-21	1-Dec-21
X4	1-Dec-21	3-Dec-21
Y	6-Dec-21	10-Dec-21
Z	6-Dec-21	10-Dec-21

**Πίνακας 9:** Αποτελέσματα επί τόπου χημικών αναλύσεων

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	T (°C)	pH	Eh (mV)	TDS (mg/l)	EC ( $\mu$ S/cm)	DO	
						(mg/l)	(%)
W	17.6	7.35	-155.7	661	1044	6.87	80.3
X1	18.1	7.33	126.4	960	1516	7.8	84
X2	16.3	7.53	125.2	796.8	1266	8.46	92
X3	16	7.55	9.1	738.9	1161	7.22	75
X4	17.6	7.4	72.7	880.9	1393	6.78	76.4
Y	17.9	7.29	141.5	358.6	567	6.23	71.5
Z	17.3	7.56	122.5	200.1	316.1	4.53	55.3

**Πίνακας 10:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων κύριων κατιόντων

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)
W	68	100.7	70	0.8
X1	88	176.4	69	1.2
X2	58	112.7	36	0.3
X3	82.4	117.2	61	0.9
X4	84	112.3	152	5
Y	71.6	39.04	21.4	0
Z	30	23.09	16	1

**Πίνακας 11:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων κύριων ανιόντων

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
W	551.44	246	43.4	29
X1	358.68	581	64.7	22
X2	389.18	246	57.3	9
X3	402.6	371	80	5.8
X4	456.28	387	80	10
Y	370.88	205	32.5	8
Z	178.12	165	25	10

**Πίνακας 12:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων εξασθενούς χρωμίου

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Cr(VI) w/ preservative (μg/L)	Cr(VI) w/o preservative (μg/L)
W	40	38
X1	964	1000
X2	13	14
X3	27	20
X4	13	13
Y	12	13
Z	37	18

**Πίνακας 13:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων λοιπών φυσικοχημικών παραμέτρων

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Alkalinity (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Hardness (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
W	452	170
X1	294	220
X2	319	145
X3	330	206
X4	374	210
Y	304	179
Z	146	75

Για τις ανάγκες της υδροχημικής αξιολόγησης, ως κρίσιμες, βασικές παράμετροι υιοθετήθηκαν οι αναφερόμενες στην ΚΥΑ67322, ΦΕΚ 3282B/19-09-2017, «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998, όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260,7.10.2015)».

**Πίνακας 14:** Οριακές τιμές παραμέτρων νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση (ΚΥΑ67322, ΦΕΚ 3282B/19-09-2017)

Παράμετροι	Μέγιστες Αποδεκτές Τιμές
pH	6.5-9.5
EC	2,500μS/cm, 20°C
Cl <sup>-</sup>	250mg/L
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250mg/L
Na <sup>+</sup>	200mg/L
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50mg/L
ολικό Cr	50μg/L



#### 4.1. Φυσικοχημικές Παράμετροι

Οι φυσικοχημικές παράμετροι (T, pH, Eh, TDS, EC, DO) των δειγμάτων υπόγειου νερού μετρήθηκαν επί τόπου σε κάθε θέση δειγματοληψίας ηλεκτρομετρικά με πιστοποιημένο όργανο μέτρησης (Model: PCD650, Eutech Instruments Waterproof Multiparameter), ενώ η αλκαλικότητα και η σκληρότητα μετρήθηκαν στο εργαστήριο. Στον **Πίνακα 15** παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά των παραμέτρων αυτών.

**Πίνακας 15:** Περιγραφικά στατιστικά φυσικοχημικών παραμέτρων

Variable	Count	Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
T (°C)	7	17.257	0.802	16.000	16.300	17.600	17.900	18.100
pH	7	7.4300	0.1142	7.2900	7.3300	7.4000	7.5500	7.5600
Eh (mV)	7	63.1	106.8	-155.7	9.1	122.5	126.4	141.5
TDS (mg/L)	7	657	279	200	359	739	881	960
EC (μS/cm)	7	1038	441	316	567	1161	1393	1516
DO (mg/L)	7	6.841	1.252	4.530	6.230	6.870	7.800	8.460
DO (%)	7	76.36	11.46	55.30	71.50	76.40	84.00	92.00
Alkalinity (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	7	317.0	92.7	146.0	294.0	319.0	374.0	452.0
Hardness (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	7	172.1	50.2	75.0	145.0	179.0	210.0	220.0

Το pH της περιοχής εμφανίζει εύρος τιμών από 7.29 έως 7.56 και μέση τιμή 7.43. Οι τιμές αυτές προσεγγίζουν ουδετερότητα και θεωρούνται φυσιολογικές για υπόγεια ύδατα ενώ, παράλληλα, είναι εντός των ορίων ανθρώπινης κατανάλωσης (pH: 6.5-9.5). Το pH εκφράζει τον αρνητικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, δηλαδή την ενεργό οξύτητα του διαλύματος, και αποτελεί στοιχειώδη παράμετρο εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων, καθώς καθορίζει τη διαλυτότητα και την κινητικότητα πολλών διαλυμένων μετάλλων.

Σε ό,τι αφορά το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh), στην περιοχή διερεύνησης παρατηρήθηκε πως οι τιμές του Eh είναι σχετικά χαμηλές με μέγιστη τιμή

+141.5mV, μέση +63.1mV και ελάχιστη -155.7mV. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν ως επί το πλείστον οξειδωτικές συνθήκες, με εξαίρεση το δείγμα W που αντικατοπτρίζει αναγωγικές συνθήκες, όντας το μοναδικό δείγμα με αρνητική τιμή Eh. Η γνώση του δυναμικού οξειδοαναγωγής των υπόγειων υδάτων είναι σημαντική, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης γεωχημικών διεργασιών. Γενικά, οι τιμές του Eh μεταξύ -400mV έως 800mV, θεωρούνται φυσιολογικές. Ο προσδιορισμός του είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε δείγματα που περιέχουν σχετικά υψηλή συγκέντρωση οξειδοαναγωγικών στοιχείων, π.χ. άλατα μετάλλων ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) και ισχυρών οξειδωτικών ( $Cl^-$ ) και αναγωγικών ( $SO_4^{2-}$ ) παραγόντων. Έτσι, το Eh μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων από μεταλλικά στοιχεία. Ωστόσο, δεν αποτελεί εξειδικευμένο μέτρο ανάλυσης, δηλαδή το μετρούμενο δυναμικό αντανακλά έναν συνδυασμό των επιδράσεων όλων των διαλυμένων ειδών στο δείγμα. Γι'αυτό το λόγο, η μέτρηση του Eh σε υπόγειο, επιφανειακό και θαλάσσιο νερό έχει περιορισμένη χρησιμότητα, εκτός εάν είναι γνωστό ότι υπάρχει ένα κυρίαρχο οξειδοαναγωγικό είδος (Tremblay, et al., 1998), (Weng, et al., 2007).

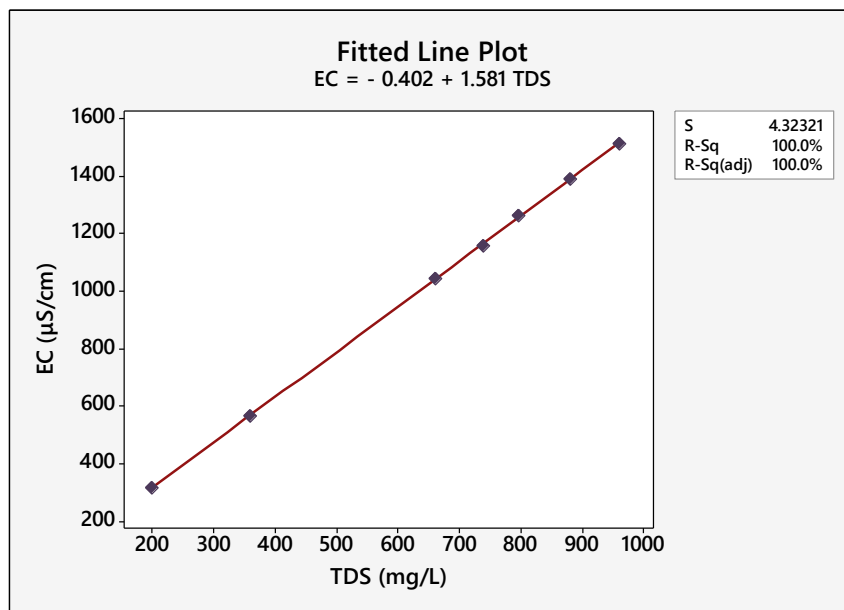
Τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) εκφράζουν τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, μετάλλων και οργανικών ενώσεων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Οι τιμές TDS στα δείγματα κυμαίνονται από 200.1 έως 960mg/l, δηλαδή το νερό της περιοχής χαρακτηρίζεται ως γλυκό, σύμφωνα με τις ταξινομήσεις του **Πίνακα 16**.

**Πίνακας 16:** Ταξινόμηση υδάτων, με βάση τα ολικά διαλυμένα στερεά

Ταξινόμηση Νερού	TDS (mg/L)
Γλυκό	<1,000
Υφάλμυρο	1,000-10,000
Αλμυρό	10,000-100,000
Υπεραλμυρό	>100,000

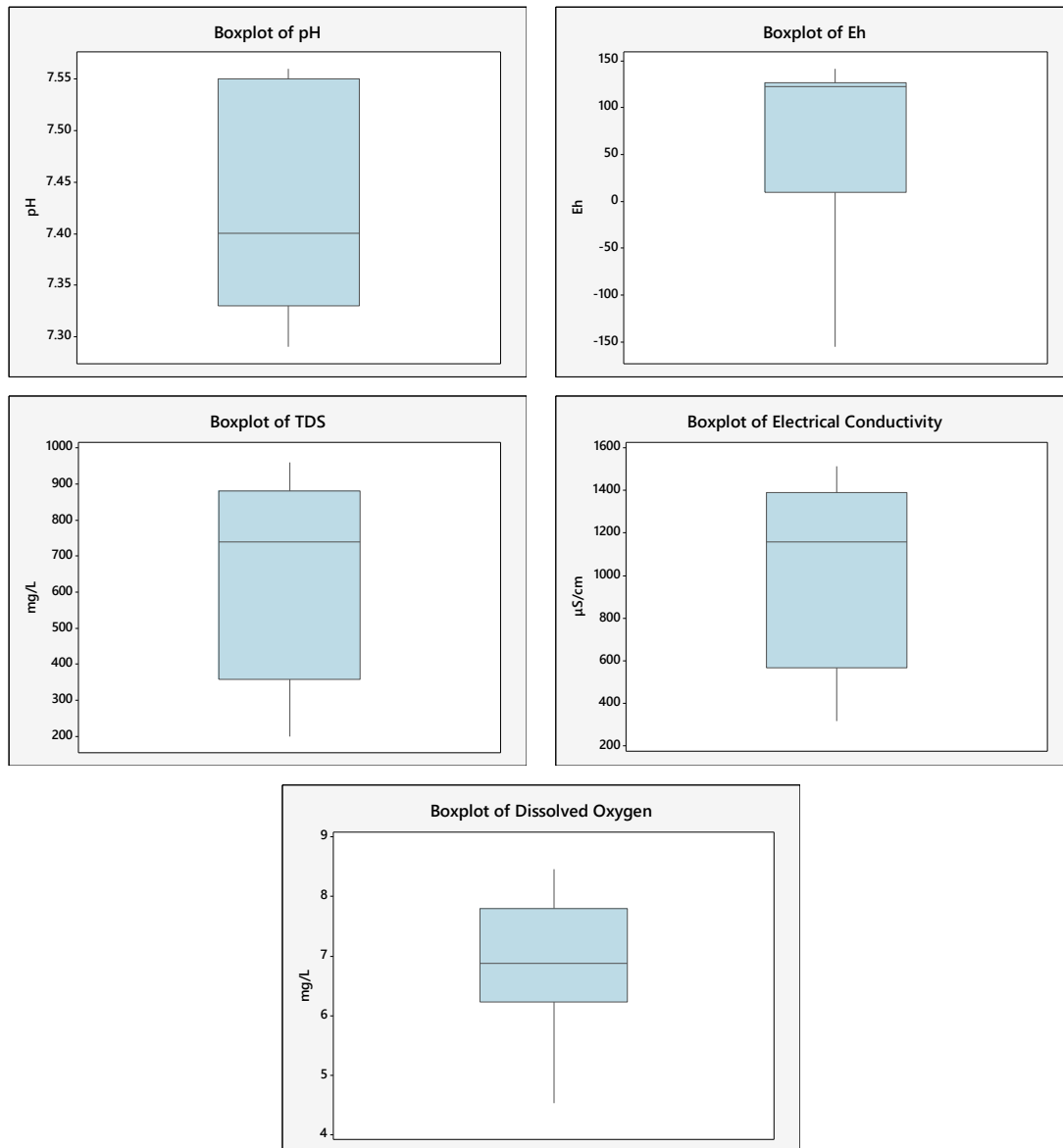
Από τις επί τόπου μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), προέκυψαν τιμές μικρότερες από 1500 $\mu$ S/cm στην πλειονότητά τους, με εξαίρεση το δείγμα X1 (1516 $\mu$ S/cm). Τιμές χαμηλότερες από 1500 $\mu$ S/cm υποδεικνύουν νερό με χαμηλές

ποσότητες αλάτων, ενώ από 1500 $\mu$ S/cm έως 3000 $\mu$ S/cm υποδεικνύουν μέτριο εμπλουτισμό σε άλατα. Όλες οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων μετρήθηκαν εντός των ορίων ποιότητας που έχουν θεσπιστεί για ανθρώπινη κατανάλωση και παρουσιάζουν ισχυρή θετική συσχέτιση ( $R^2=1$ ) με τις τιμές TDS, υποδεικνύοντας υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων στερεών στα δείγματα με υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



**Εικόνα 13:** Διάγραμμα συσχέτισης τιμών TDS και ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες ως προς την έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Το οξυγόνο, γενικά, παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα, της τάξης των 6-15ppm, στο νερό. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο απαντώνται σε «παλαιά» (στατικά) νερά που δεν ανανεώνονται, ενώ υψηλότερες τιμές παρατηρούνται σε νερά τα οποία δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφόρους ορίζοντες, καθώς συνεχώς ανανεώνονται. Στις επί τόπου αναλύσεις των δειγμάτων, το διαλυμένο οξυγόνο μετρήθηκε μεγαλύτερο από 70% για την πλειονότητά τους. Εξαίρεση αποτέλεσε το δείγμα Z με 4.53mg/l (55.3%).



**Εικόνα 14:** Θηκογράμματα τιμών φυσικοχημικών παραμέτρων

Όσον αφορά τη σκληρότητα του νερού, από τον μέσο όρο των μετρήσεων για ολόκληρη την περιοχή διερεύνησης, προκύπτει ότι το υπόγειο νερό της περιοχής είναι κατά βάση μέτρια σκληρό ( $150\text{-}320\text{mg}/\text{L CaCO}_3$ ) και είναι διακριτή η παρουσία κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου. Αναλυτικότερα, με βάση τον **Πίνακα 17**, ως μαλακό χαρακτηρίζεται το νερό των δειγμάτων X2 και Z και ως μέτρια σκληρό χαρακτηρίζεται το νερό των δειγμάτων W, X1, X3, X4 και Y.

**Πίνακας 17:** Ταξινόμηση υδάτων, με βάση την σκληρότητα

Ταξινόμηση Νερού	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Πολύ μαλακό	0-70
Μαλακό (πόσιμο νερό)	70-150
Ελαφρώς σκληρό	150-250
Μέτρια σκληρό	250-320
Σκληρό	320-420
Πολύ σκληρό	>420

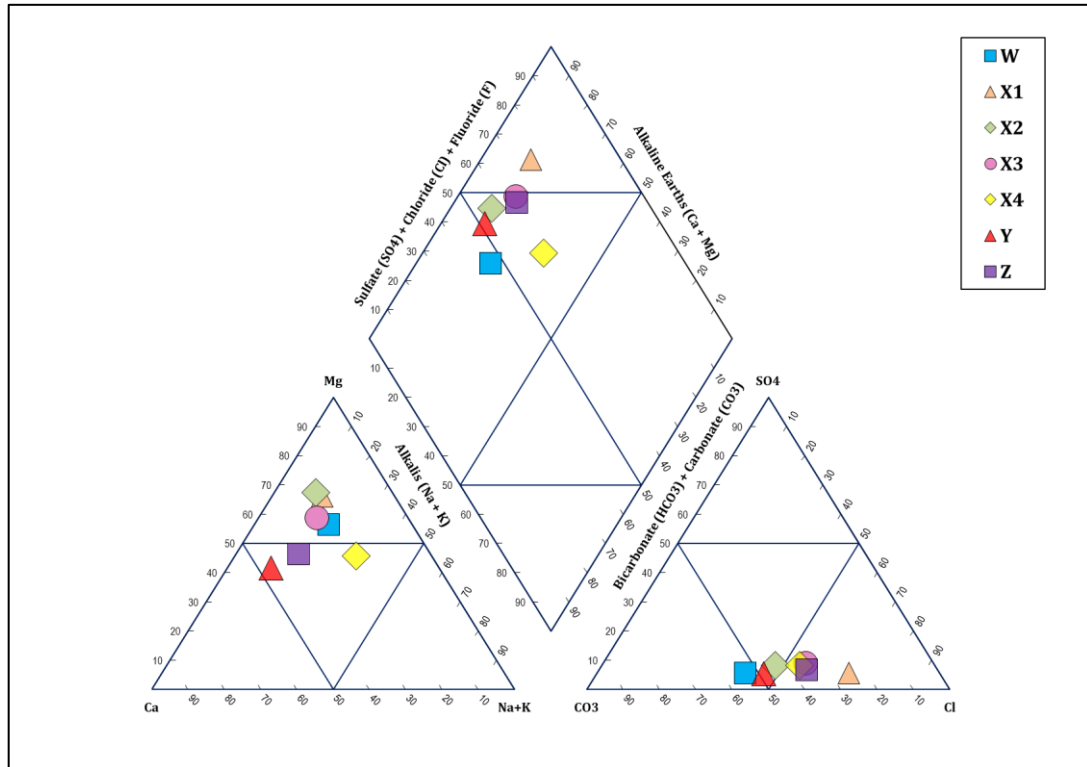
Τέλος, στα δείγματα που αναλύθηκαν, η μέγιστη τιμή αλκαλικότητας μετρήθηκε στη θέση W (452mg CaCO<sub>3</sub>/l) και η ελάχιστη στη θέση Z (146mg CaCO<sub>3</sub>/l), με μέση τιμή 317mg CaCO<sub>3</sub>/l.

#### 4.2. Κύρια Ιόντα

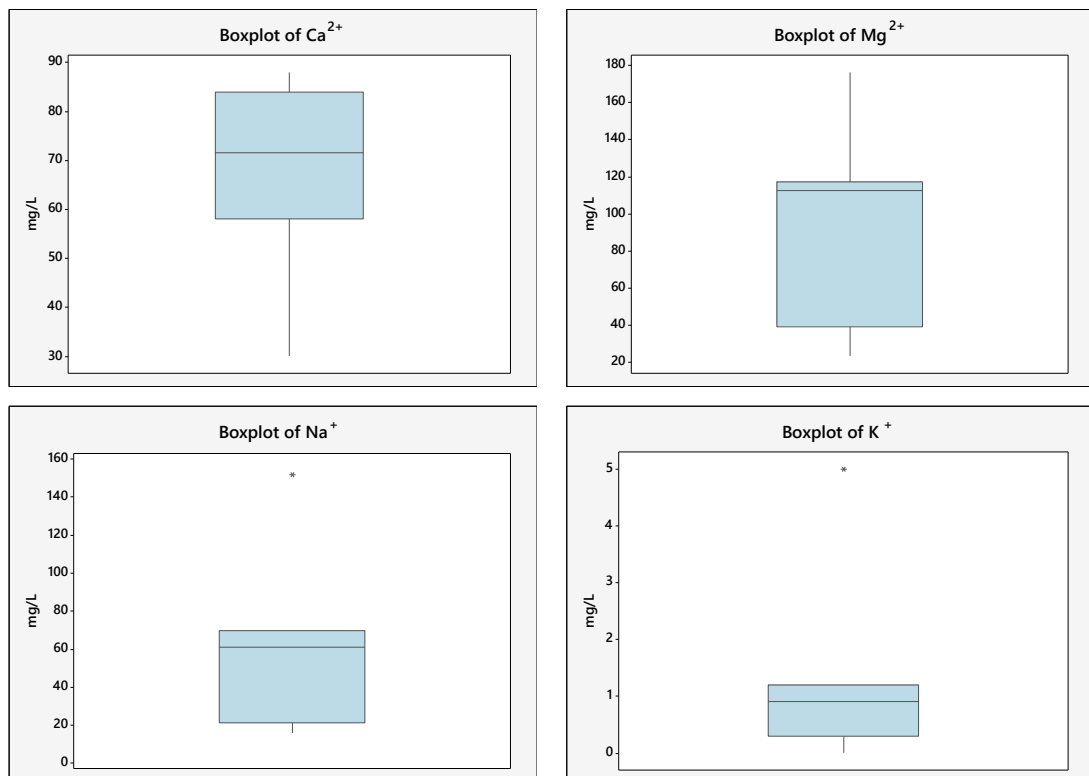
Για τον χαρακτηρισμό του χημικού τύπου των υπόγειων υδάτων της περιοχής έγινε προβολή των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων κύριων ιόντων σε διάγραμμα Piper (**Εικόνα 15**), από το οποίο προκύπτει ότι τα επικρατέστερα ιόντα είναι: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> και Cl<sup>-</sup>. Στην πλειοψηφία τους τα δείγματα προβάλλονται στη ζώνη επικράτειας Cl<sup>-</sup> για τα ανιόντα, ενώ για τα κατιόντα οι προβολές είναι μοιρασμένες στη ζώνη ουδέτερης επικράτειας και στη ζώνη επικράτειας Mg<sup>2+</sup>.

Το ασβέστιο και το μαγνήσιο φαίνεται να είναι τα επικρατέστερα κατιόντα των υπόγειων νερών της περιοχής. Οι τιμές Ca<sup>2+</sup> κυμαίνονται από 30mg/l (Z) μέχρι 88mg/l (X1). Οι τιμές Mg<sup>2+</sup> κυμαίνονται από 23.09mg/l (Z) έως 176.4mg/l (X1), παρουσιάζοντας μεγάλο εύρος τιμών. Όσον αφορά το νάτριο, αυτό παρουσιάζει σημαντικό εύρος τιμών (16-152mg/l), το οποίο δεν ξεπερνά την οριακή παραμετρική τιμή της ΚΥΑ για ανθρώπινη κατανάλωση. Οι τιμές καλίου κυμαίνονται από 0 έως 5 mg/l.



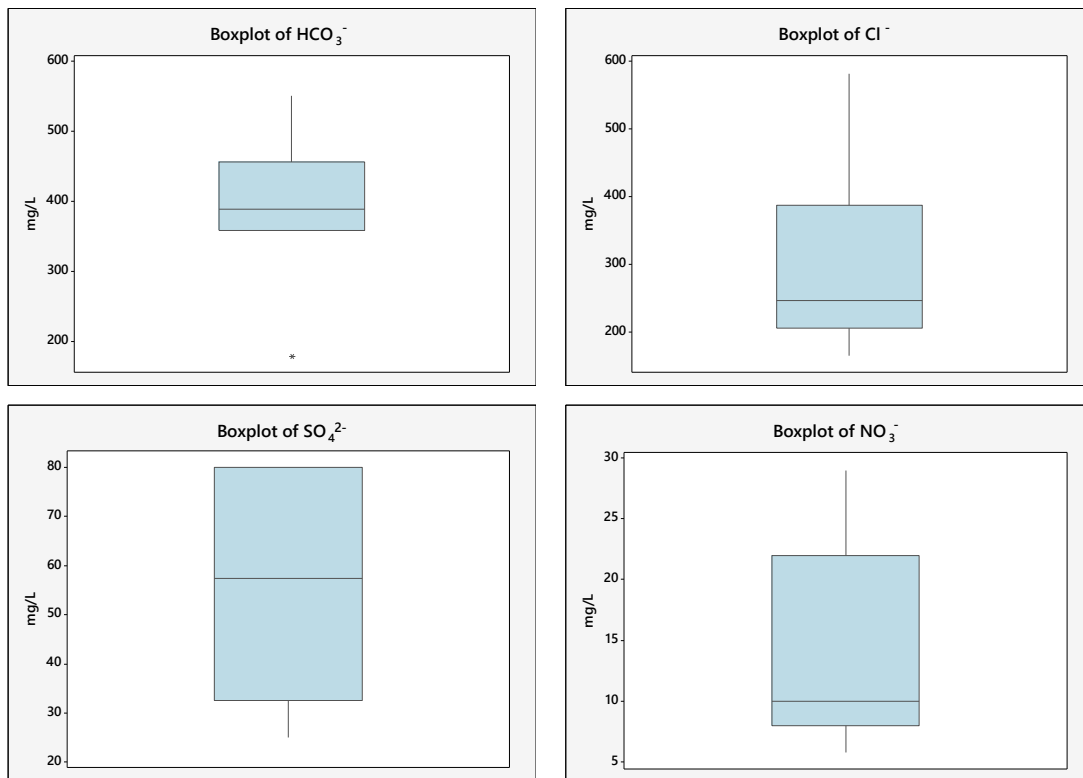


Εικόνα 15: Διάγραμμα Piper ανά κωδικό δείγματος



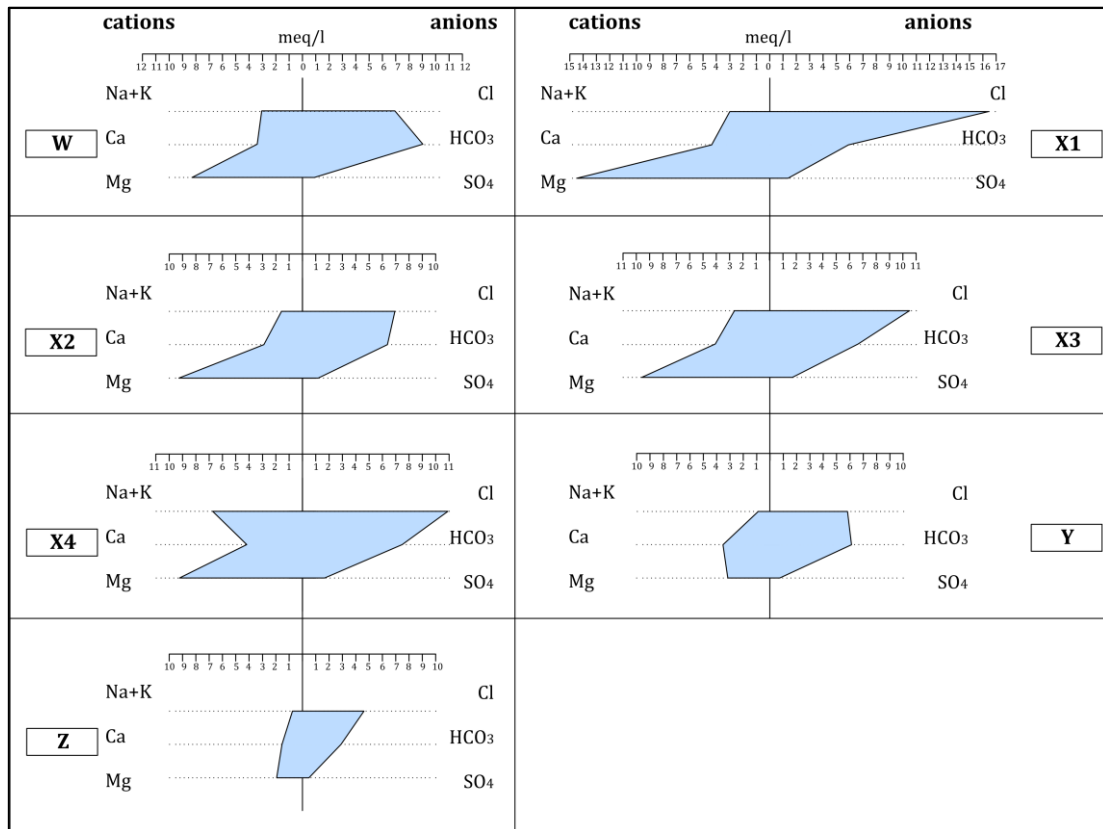
Εικόνα 16: Θηκογράμματα συγκεντρώσεων κύριων κατιόντων

Σύμφωνα με τα όρια της ΚΥΑ για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, η οριακή παραμετρική τιμή για τα ανιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ) και τα θειικά ανιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) είναι τα 250 mg/l. Όσον αφορά τα χλωριούχα, από τα 7 δείγματα νερού, τα 4 είναι εντός του ορίου, ενώ στις θέσεις X1, X3 και X4 παρατηρείται υπέρβαση του ορίου με τιμές 581mg/l, 371mg/l και 387mg/l, αντίστοιχα. Ελάχιστη τιμή ανιόντων χλωρίου στις αναλύσεις μετρήθηκε στο δείγμα Z (165mg/l). Αναφορικά με τις συγκεντρώσεις των θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) των δειγμάτων, αυτές κυμαίνονται από 25mg/l (Z) έως 80mg/l (X3, X4) και δεν ξεπερνούν την οριακή παραμετρική τιμή για ανθρώπινη κατανάλωση. Τέλος, τα νιτρικά ιόντα σε όλα τα δείγματα είναι εντός του ορίου ανθρώπινης κατανάλωσης της ΚΥΑ (50mg/l), με μέγιστη τιμή τα 29mg/l (W) και ελάχιστη τα 5.8mg/l (X3). Οι συγκεντρώσεις των ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ) έχουν εύρος από 178.1 έως 551.4 mg/L.

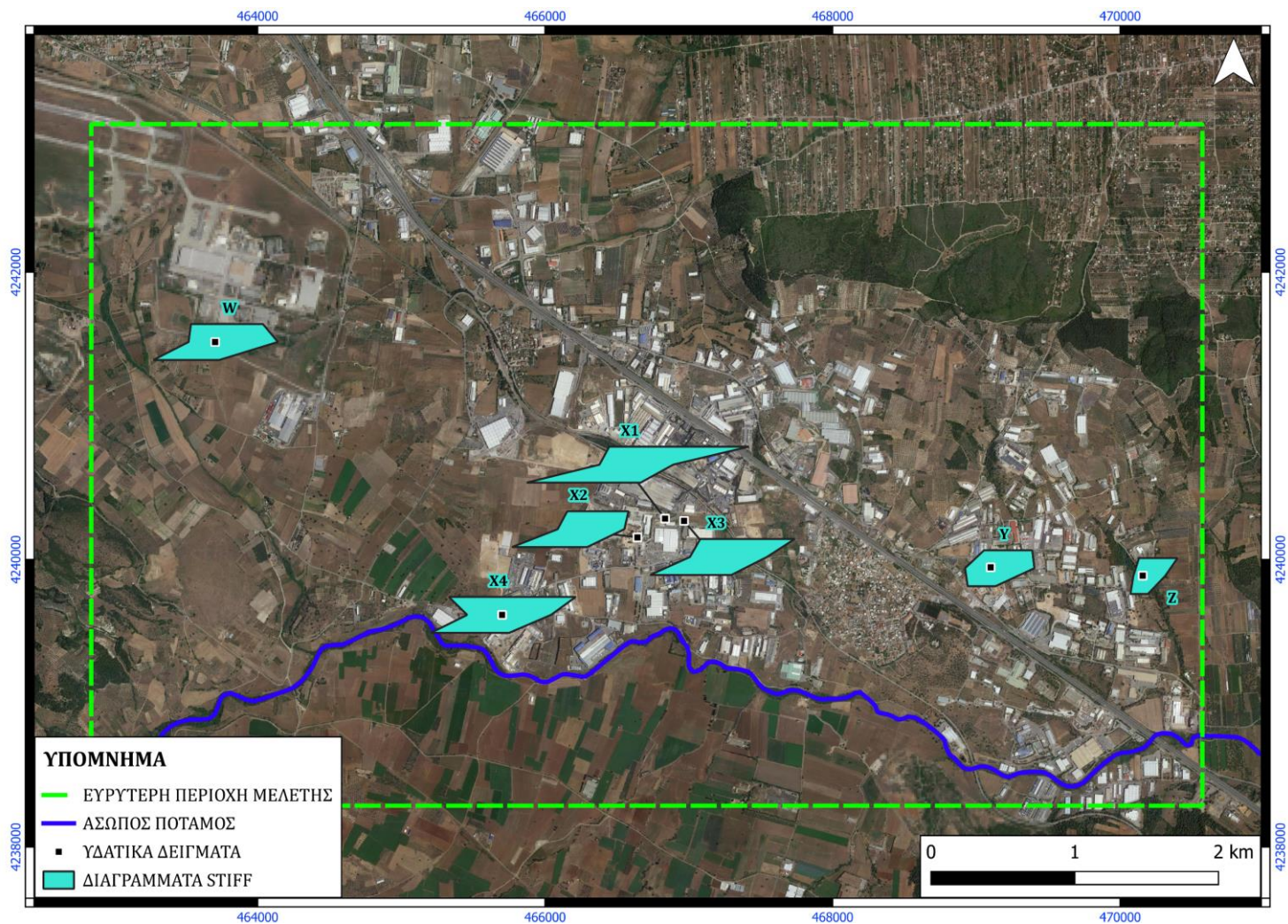


Εικόνα 17: Θηκογράμματα συγκεντρώσεων κύριων ανιόντων

Παρατηρώντας τα διαγράμματα Stiff που παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο γεωχημικός τύπος νερού διαφέρει κατά μήκος της περιοχής μελέτης.



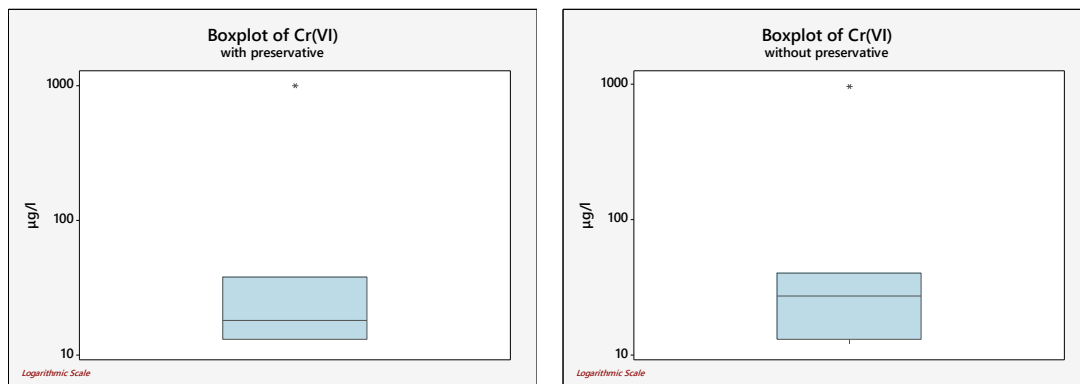
Εικόνα 18: Διάγραμμα Stiff ανά κωδικό δείγματος



Εικόνα 19: Χάρτης γεωχημικών τύπων νερού (διαγράμματα Stiff ανά θέση δειγματοληψίας)

### 4.3. Εξασθενές Χρώμιο

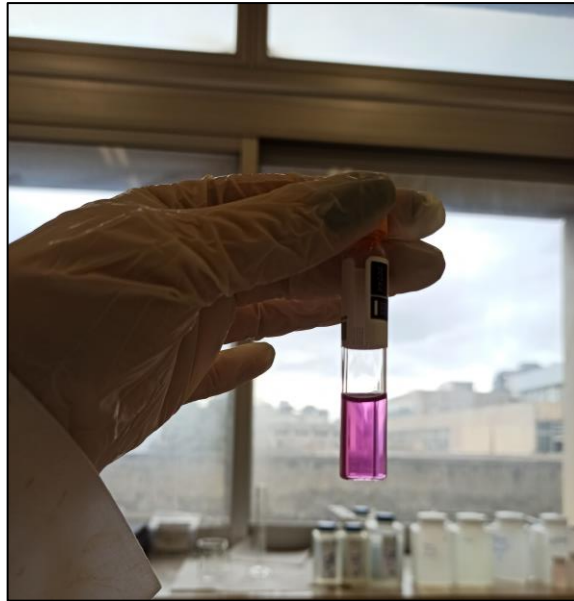
Οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου στα δείγματα με συντηρητικό κυμαίνονται από 12-964  $\mu\text{g/l}$ , ενώ στα δείγματα χωρίς συντηρητικό από 13-1000 $\mu\text{g/l}$ . Οι μέγιστες τιμές Cr(VI) αντιστοιχούν στο δείγμα X1 και οι αμέσως μικρότερες συγκεντρώσεις (40 και 38  $\mu\text{g/l}$ , αντίστοιχα) εντοπίζονται στο δείγμα W. Στα γειτονικά δείγματα του X1 οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου δεν ξεπερνούν τα 27 $\mu\text{g/l}$ , ενώ η θεσπισμένη οριακή τιμή ολικού χρωμίου στην ΚΥΑ ποιότητας νερού για ανθρώπινη κατανάλωση είναι 50 $\mu\text{g/l}$ .



**Εικόνα 20:** Θηκογράμματα συγκεντρώσεων εξασθενούς χρωμίου, με και χωρίς συντηρητικό

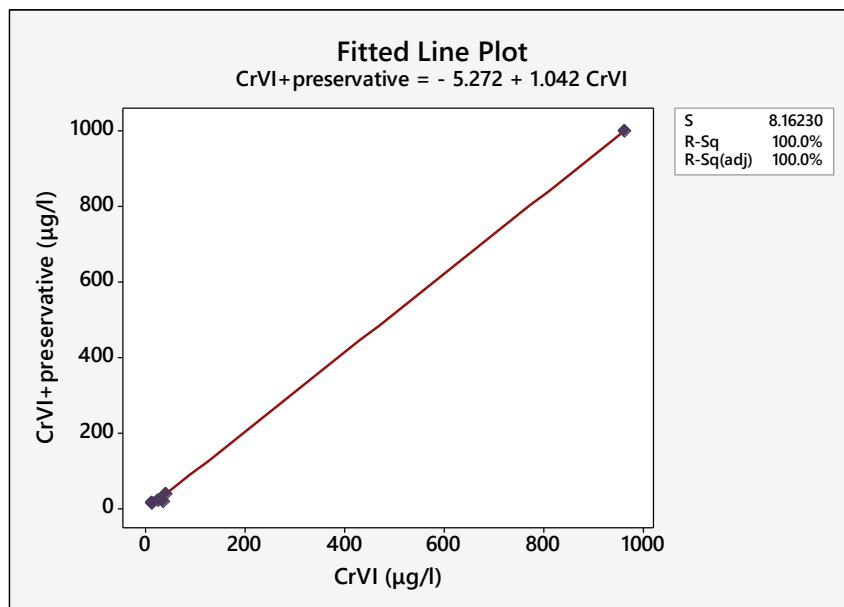
Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο **3.2.4**, ο προσδιορισμός εξασθενούς χρωμίου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας UV-vis. Στα, αρχικά, διαυγή δείγματα προστέθηκε αντιδραστήριο ChromaVer3, το οποίο ύστερα από ηρεμία 8 περίπου λεπτών και την ολοκλήρωση της αντίδρασης, έλαβε ροζ χρώμα. Το δείγμα X1 έλαβε χαρακτηριστικά εντονότερο ροζ χρώμα από τα υπόλοιπα δείγματα, όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 21**.





**Εικόνα 21:** Δείγμα X1 με έντονο ροζ χρώμα ύστερα από ανάλυση για CrVI.

Οι μετρούμενες συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου των δειγμάτων με και χωρίς συντηρητικό παρουσιάζουν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ τους, όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 22**.



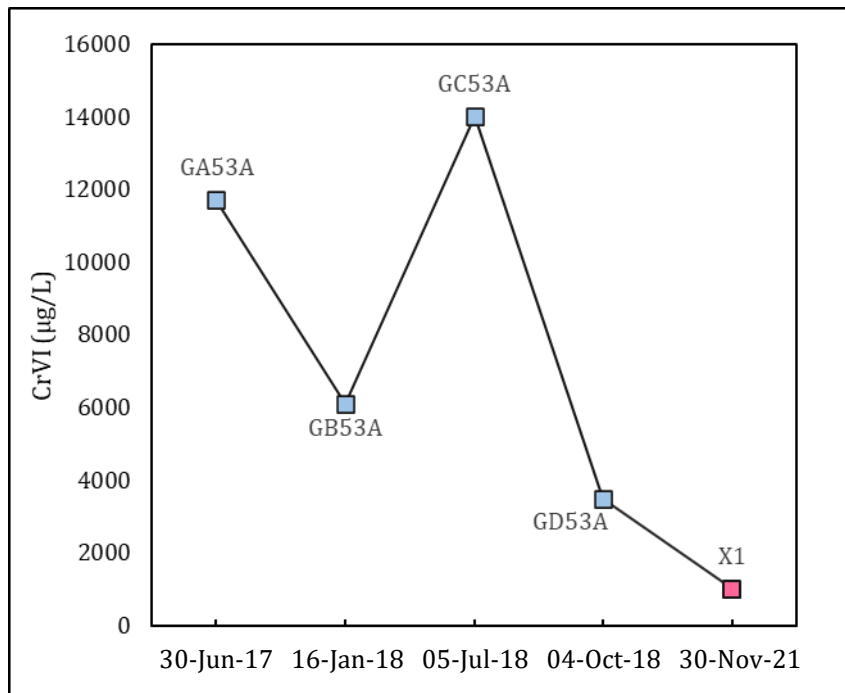
**Εικόνα 22:** Διάγραμμα συσχέτισης συγκεντρώσεων CrVI με συντηρητική ουσία και χωρίς συντηρητική ουσία

Η σημειακή υψηλή συγκέντρωση CrVI στο δείγμα X1 υποδεικνύει πιθανή συσχέτιση με βιομηχανικές δραστηριότητες της περιοχής, δηλαδή ανθρωπογενή προέλευση του εξασθενούς χρωμίου στο δείγμα.

Οι τιμές στα υπόλοιπα δείγματα αντιστοιχούν σε συγκεντρώσεις εντός του εύρους τιμών εξασθενούς χρωμίου που σχετίζονται με γεωγενείς διεργασίες και οφιολιθικό-υπερβασικό υπόβαθρο, επομένως δεν θα μπορούσαν να αποδοθούν με αξιοπιστία σε ανθρωπογενή αίτια.

#### 4.4. Διαχρονική εξέλιξη ποιοτικής κατάστασης

Για τη διερεύνηση της εξέλιξης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων της περιοχής έγινε σύγκριση των χημικών αναλύσεων του δείγματος X1 με τις αναλύσεις των παρακείμενων δειγμάτων GA53A, GB53A, GC53A και GD53A του CrITERIA project. Στο παρακάτω διάγραμμα μεταβολής συγκεντρώσεων Cr(VI) σε συνάρτηση με τον χρόνο δειγματοληψίας, παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων Cr(VI) κατά τις υγρές περιόδους σε σχέση με τις ξηρές και σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων Cr(VI) των υγρών περιόδων.



**Εικόνα 23:** Διάγραμμα εξέλιξης συγκεντρώσεων CrVI μεταξύ του δείγματος X1 και των δειγμάτων της θέσης 53A-CrITERIA

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την έρευνα που εκπονήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας απορρέουν τα εξής συμπεράσματα:

Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης καταλαμβάνεται από μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, τα οποία πλαισιώνουν 2 μικρότερες σε έκταση βιομηχανικές περιοχές, στις οποίες οφείλεται μερικώς η ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων.

Ως προς την γεωλογία της περιοχής, αυτή χαρακτηρίζεται από μεταλλικούς σχηματισμούς, κυρίως νεογενείς αποθέσεις (μάργες, άργιλοι, πηλοί, άμμοι και κροκάλες), οι οποίες παρουσιάζουν σημαντική εξάπλωση στην περιοχή. Δευτερευόντως, απαντώνται τεταρτογενείς αποθέσεις (πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, ποταμοχερσαίες και αλλουβιακές αποθέσεις) στα νότια της περιοχής. Υποκείμενοι αυτών αναπτύσσονται αλπικοί σχηματισμοί και, συγκεκριμένα, σχηματισμοί της ανθρακικής πλατφόρμας μέσου Τριαδικού – Ιουρασικού, οι οποίοι απαντώνται σε λοφώδεις εξάρσεις της περιοχής.

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται στην περιοχή είναι δύο (2):

- Υδροφόρος ορίζοντας Νεογενών και Πλειστοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων και προσχώσεων (ανώτερος)
- Καρστικό υδροφόρο σύστημα Τριαδικών-Ιουρασικών ασβεστολίθων (κατώτερος)

Σύμφωνα με τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδάτων των υπό εξέταση δειγμάτων διαπιστώνεται πως το υπόγειο νερό της περιοχής είναι γλυκό και κατά βάση μέτρια σκληρό (150-320mg/L CaCO<sub>3</sub>). Τα επικρατέστερα ιόντα είναι: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> και Cl<sup>-</sup>, ενώ τα δείγματα προβάλλονται στη ζώνη επικράτειας Cl<sup>-</sup>, υποδεικνύοντας της επίδραση της βιομηχανικής δραστηριότητας της περιοχής στην ποιότητα του υπόγειου νερού.

Η σημαντικά υψηλή συγκέντρωση Cr(VI) στο δείγμα X1 (1000μg/l) μπορεί να οφείλεται σε μια σημειακή πηγή ρύπανσης, πιθανώς σχετιζόμενη με διεργασίες έκπλυσης βιομηχανικών αποβλήτων σε περιοδικά χρονικά διαστήματα. Το

συγκεκριμένο δείγμα υποδεικνύει ανθρωπογενή προέλευση του εξασθενούς χρωμίου.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα δείγματα με συγκεντρώσεις Cr(VI) < 1000μg/l, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, αυτές παραπέμπουν σε γεωγενή προέλευση.

Συνοψίζοντας, από τα δείγματα των υπόγειων υδάτων που αναλύθηκαν απορρέει το συμπέρασμα ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης είναι ποιοτικά επιβαρυνμένα τόσο από γεωγενείς παράγοντες, όσο και από ανθρωπογενείς.

Ενώ η ποιοτική κατάσταση των υπόγειων υδάτων της περιοχής φαίνεται να παρουσιάζει μικρή ανάκαμψη, δεν υπάρχει περιθώριο για εφησυχασμούς. Τα αποτελέσματα αυτά σηματοδοτούν την ανάγκη για λήψη αποτελεσματικών μέτρων για την αντιμετώπιση της μακροχρόνιας ρύπανσης των υδάτων της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού από εξασθενές χρώμιο. Είναι σημαντικό να ληφθούν βιώσιμες πρακτικές για τη διαχείριση βιομηχανικών λυμάτων και υγρών αποβλήτων για τον μετριασμό της απελευθέρωσης Cr(VI) στο περιβάλλον και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cheng, H. & et al, 2014. Anthropogenic Chromium Emissions in China from 1990 to 2009. *PLOS ONE* 9 (2).

Coyte, R. και συν., 2020. Occurrence and distribution of hexavalent chromium in groundwater from North Carolina, USA. *Science of The Total Environment*, Τόμος 711, p. 135.

Emsley, J., 2001. "Chromium". In: *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford: Oxford University Press, pp. 495-498.

Guertin J., J. J. A. C., 2005. Toxicity and Health effects of Chromium (All Oxidation States). Στο: *Chromium (VI) Handbook*. s.l.:CRC Press, p. 789.

Hausladen, D. M. & Fendorf, S., 2017. Hexavalent Chromium Generation within Naturally Structured Soils and Sediments. *Environmental Science & Technology*, 51(4), pp. 2058-2067.

Hlihor, R. et al., 2009. OVERVIEW ON CHROMIUM OCCURENCE IN THE ENVIRONMENT AND ITS REMEDIATION. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, Section Chemistry and Chemical Engineering*, Volume LV, pp. 19-34.

Jacobs, J. & Testa, S., 2005. Overview of Chromium(VI) in the Environment: Background and History. In: J. Guertin, J. Jacobs & C. Avakian, eds. *Chromium(VI) Handbook*. Boca Raton - London - New York - Washington D.C.: CRC press, pp. 1-21.

Kanagaraj, G. και συν., 2023. Geochemical evaluation of groundwater around Chromepet tannery belt, Southern India. *Groundwater for Sustainable Development*, Τόμος 22.

Kapp, R., 2005. Chromium Hexavalent Compounds. *Encyclopedia of Toxicology*, I(2), p. 603.

Kaprara, E. et al., 2015. Occurence of Cr(VI) in drinking water of Greece and relation to the geological background. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 281, pp. 2-11.

Kowalski, Z., 1994. Treatment of Chromic Tannery Wastes. *Journal of Hazardous Materials*, 37(1), pp. 137-144.

Lilli, M. A. et al., 2015. Characterization and mobility of geogenic chromium in soils and river bed sediments of Asopos basin. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 281, pp. 12-19.

Medwick, T. & Kirschner, E., 2010. Evaluation of automatic potentiometric titrator in nonaqueous titrations. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 55(11), pp. 1296-1300.

Oze, C., Bird, D. & Fendorf, S., 2007. Genesis of hexavalent chromium from natural sources in soil and groundwater. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 104(16), pp. 6544-6549.

Pyrgaki, K. et al., 2018. *Assessing groundwater quality of Cr(VI) impacted water bodies along climate gradient from Central- East Mediterranean to Oman.*, s.l.: s.n.

R.Farré, M., 2003. CHROMIUM | Properties and Determination. In: B. Caballero, ed. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*. Burjassot, Spain: Academic Press, pp. 1301-1307.

Sperling, M., 2005. CHROMIUM. In: *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)*. Muenster, Germany: Elsevier, pp. 113-126.

Tremblay, C. V., Beaubien, A., Charles, P. & Nicell, J., 1998. Control of biological iron removal from drinking water using oxidation-reduction potential. *Water Science and Technology*, 6(38), pp. 121-128.

Weng, H.-X., Qin, Y.-C. & Chen, X.-H., 2007. Elevated iron and manganese concentrations in groundwater derived from the Holocene transgression in the Hang-Jia- Hu Plain, China. *Hydrology Journal*, Τόμος 15, pp. 715-726.

World Health Organization, 2012. ARSENIC, METALS, FIBRES AND DUSTS. *A REVIEW OF HUMAN CARCINOGENES*, 100(C), pp. 151-160.



Γιαννουλόπουλος, Π., 2008. *Αναγνωριστική Υδρογεωλογική-Υδροχημική Έρευνα Ποιοτικής Επιβάρυνσης Των Υπογείων Νερών Της Ευρύτερης Περιοχής της Λεκάνης του Ασωπού Ν. Βοιωτίας*, s.l.: ΙΓΜΕ.

Δούνας, Α. & et al, 1978. *Υδρολογική έρευνα λεκάνης μέσου ρου Ασωπού ποταμού*, s.l.: Ι.Γ.Μ.Ε..

Δούνας, Α. & Καλλέργης, Γ., 1980. *Υδρογεωλογική έρευνα υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγ. Αποστόλων Καλάμου*, s.l.: ΙΓΜΕ.

Καββαδάς, Μ. & Πανταζίδου, Μ., 2007. *Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής*. Αθήνα: Τσότρας.

Κουρούτου, Π., 2019. *Χαρτογράφηση των βιομηχανικών μονάδων της περιοχής των Οινοφύτων του Δήμου Τανάγρας και κατηγοριοποίηση τους με βάση την περιβαλλοντική επιβάρυνση, Διπλωματική Εργασία*, s.l.: Ιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ.

Μέττος, Α., 1992. *Γεωλογική και παλαιογεωγραφική μελέτη των ηπειρωτικών Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών ΒΑ Αττικής και ΝΑ Βοιωτίας. Διδακτορική διατριβή*, Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Μόρφης, Α., 1995. *Υδρογεωλογική Έρευνα καρστικού υδροφόρου Συστήματος ΒΑ Πάρνηθας και ευρύτερης περιοχής Βορείου Αττικής. Διδακτορική διατριβή*, s.l.: Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών.

Παπανικολάου, Δ., 1986. *Γεωλογία της Ελλάδας*, Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας.

Παργινός, Δ., Μαυρίδης, Α. & Μπορνόβας, Ι., 2007. *Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Χαλκίδα*, s.l.: ΙΓΜΕ.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2009. *Το πρόβλημα του Ασωπού Ποταμού και προτάσεις αντιμετώπισής του*, Αθήνα: ΤΕΕ.

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας - Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2017. *Αναλυτικό Κείμενο Τεκμηρίωσης 1ης Αναθεώρησης ΣΔΛΑΠ ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07)*, s.l.: s.n.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ  
ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ CRITERIA PROJECT-ΔΕΙΓΜΑΤΑ  
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ**

Date	Sample	Location	Water Type	Lithology	Type of Aquifer
30 JUN 2017	GA49A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
30 JUN 2017	GA50A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	porous aquifer
30 JUN 2017	GA52A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
30 JUN 2017	GA53A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
16-Jan-18	GB52A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
16-Jan-18	GB53A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
05-Jul-18	GC52A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
05-Jul-18	GC53A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
04-Oct-18	GD52A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer
04-Oct-18	GD53A	Oinofyta	bore	sand, conglomerate	shallow porous aquifer

Date	Sample	Water Use	X (EGSA 87)	Y (EGSA 87)	Z (m)	Depth (m)	Wtl (m)
30 JUN 2017	GA49A	Monitoring	467590.75	4240423.09	118	49	10.8
30 JUN 2017	GA50A	Monitoring	466710.80	4240678.41	124	45	25.28
30 JUN 2017	GA52A	Monitoring	466716.41	4240344.56	113	27	9.28
30 JUN 2017	GA53A	Monitoring	466777.24	4240316.51	93	28	10.49
16-Jan-18	GB52A	Monitoring	466716.41	4240344.56	113	27	9.8
16-Jan-18	GB53A	Monitoring	466777.24	4240316.51	93	28	10.45
05-Jul-18	GC52A	Monitoring	466716.41	4240344.56	113	27	9.8
05-Jul-18	GC53A	Monitoring	466777.24	4240316.51	93	28	10.45
04-Oct-18	GD52A	Monitoring	466716.41	4240344.56	113	27	9.8
04-Oct-18	GD53A	Monitoring	466777.24	4240316.51	93	28	10.45

Date	Sample	pH	TDS(mg/L)	Eh(mv)	DO(mg/l)	EC(μS/cm)	T °C
30 JUN 2017	GA49A	7.46	592	163.2	5.3	1130	20.5
30 JUN 2017	GA50A	7.18	981.3	-157.2	1.95	1872	26.2
30 JUN 2017	GA52A	6.97	959.1	184.2	3.13	1838	22.3
30 JUN 2017	GA53A	7.09	1704	78.7	3.51	3251	23.9
16-Jan-18	GB52A	7.3	940.6	212.6	3.53	1573	17.3
16-Jan-18	GB53A	7.15	1327	-312.6	2.36	2216	17.1
05-Jul-18	GC52A	7.4	1740	-	-	-	-
05-Jul-18	GC53A	7.3	2940	-	-	-	-
04-Oct-18	GD52A	7.18	1040	154	2.04	1674	19.8
04-Oct-18	GD53A	7.07	1427	145	1.88	2370	19.5

Υδροχημική αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού ποταμού, πλησίον της βιομηχανικής ζώνης Οιοφύτων.

Date	Sample	Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	HCO <sub>3</sub> (mg/L)	DOC(mg/L)	Ca(mg/L)
30 JUN 2017	GA49A	388	473.36	0.9	0.07
30 JUN 2017	GA50A	586	714.92	8.9	43.94
30 JUN 2017	GA52A	478	583.16	1.0	70.56
30 JUN 2017	GA53A	492	600.24	0.9	113.94
16-Jan-18	GB52A	498	607.6	0.9	69.36
16-Jan-18	GB53A	556	678.3	0.9	101.94
05-Jul-18	GC52A	534	651	1.1	81
05-Jul-18	GC53A	494	603	1.2	132
04-Oct-18	GD52A	556	678.32	1.1	74
04-Oct-18	GD53A	504	614.88	1.1	100

Date	Sample	Mg(mg/L)	Na(mg/L)	K(mg/L)	Cl(mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)
30 JUN 2017	GA49A	70.8	70	0.4	96.4	45.2
30 JUN 2017	GA50A	164	74	0.6	288	nd
30 JUN 2017	GA52A	139	62	0.6	250.9	76.9
30 JUN 2017	GA53A	255	92	1	812	203
16-Jan-18	GB52A	128	68	0.4	209.1	77
16-Jan-18	GB53A	246	126	1.2	460.3	159.5
05-Jul-18	GC52A	151	63	0.6	245	150
05-Jul-18	GC53A	264	142	1.4	691	172
04-Oct-18	GD52A	140	63	1.7	116	20.6
04-Oct-18	GD53A	180	100	nd	312	139

Date	Sample	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	Si (mg/L)
30 JUN 2017	GA49A	28.0	0.152	0.006	0.029	32.8
30 JUN 2017	GA50A	-	nd	0.052	nd	18.9
30 JUN 2017	GA52A	97.0	0.027	0.010	0.024	37.3
30 JUN 2017	GA53A	-	0.120	0.009	0.024	36.9
16-Jan-18	GB52A	86.4	-	-	0.022	36.5
16-Jan-18	GB53A	81.2	-	-	0.023	35.4
05-Jul-18	GC52A		-	-		
05-Jul-18	GC53A		-	-		
04-Oct-18	GD52A	13.7	-	-	12	32.26
04-Oct-18	GD53A	86	-	-		31.79

Υδροχημική αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού ποταμού, πλησίον της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων.

Date	Sample	CrVI(μg/L)	Cr <sub>tot</sub> (μg/L)	Ni(μg/L)	Fe(μg/L)	Mn(μg/L)	Co(μg/L)
30 JUN 2017	GA49A	3.0	4	4.39	-	0.15	0.05
30 JUN 2017	GA50A	nd	nd	-	-	-	-
30 JUN 2017	GA52A	1607.1	2100	-	-	-	-
30 JUN 2017	GA53A	11714.3	15000	-	-	-	-
16-Jan-18	GB52A	1519	1750	12.3	16.9	0.8	0.2
16-Jan-18	GB53A	6100	7200	16.8	20.4	0.4	0.3
05-Jul-18	GC52A	2200		17	5.6	1.2	0.2
05-Jul-18	GC53A	14000		20	10	0.56	0.2
04-Oct-18	GD52A	1320	1400	19	260	3.1	nd
04-Oct-18	GD53A	3500	4000	23	nd	nd	nd

Date	Sample	Pb(μg/L)	Zn(μg/L)	Cu(μg/L)	As(μg/L)	Al(μg/L)	B(μg/L)
30 JUN 2017	GA49A	0.02	nd	0.18	0.4	0.0	403.4
30 JUN 2017	GA50A	-	nd	-	-	-	-
30 JUN 2017	GA52A	-	-	-	-	-	-
30 JUN 2017	GA53A	-	-	-	-	-	-
16-Jan-18	GB52A	0.7	-	1.3	0.4	5.0	66.7
16-Jan-18	GB53A	0.7	-	1.3	0.5	4.6	78.8
05-Jul-18	GC52A	0.34	56	1.8	0.36	4.9	84
05-Jul-18	GC53A	0.47	32	1.9	0.52	5.8	89
04-Oct-18	GD52A	1.3	nd	nd	nd	nd	79
04-Oct-18	GD53A	0.5	nd	2.1	nd	nd	100

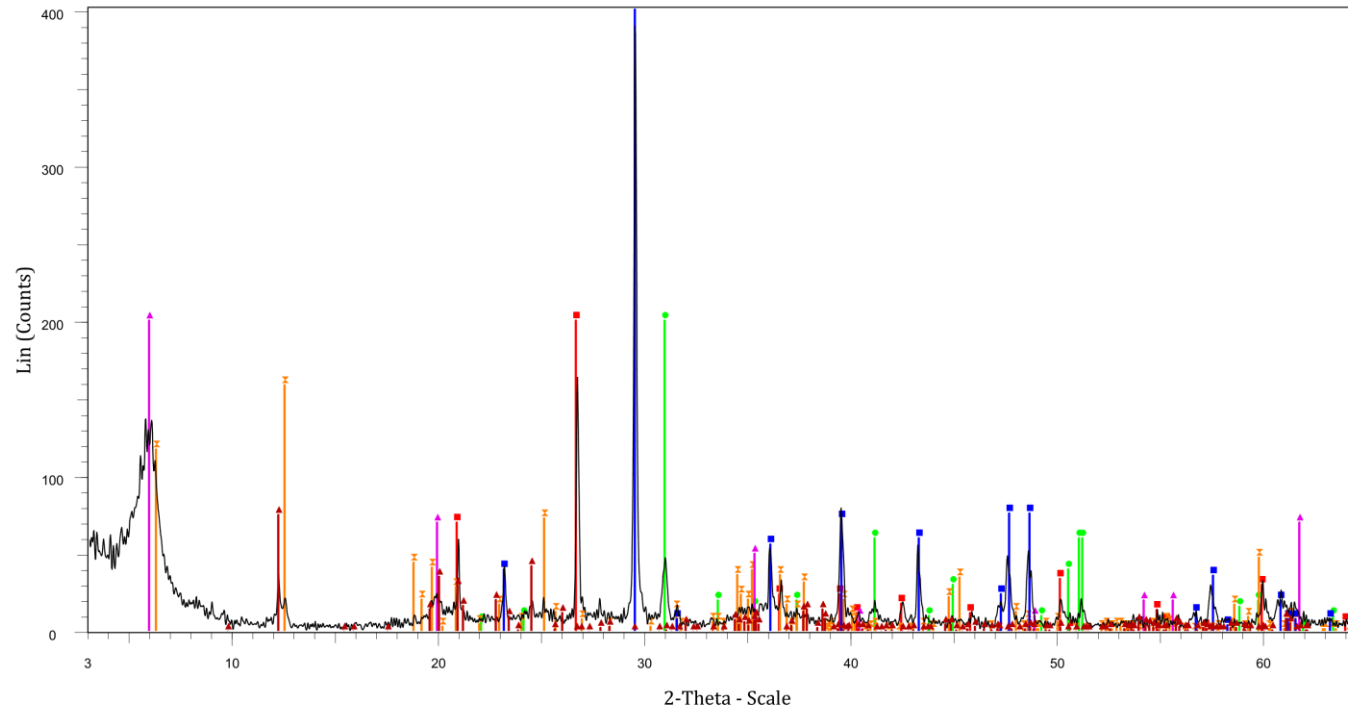
Date	Sample	V(μg/L)
30 JUN 2017	GA49A	6.8
30 JUN 2017	GA50A	-
30 JUN 2017	GA52A	-
30 JUN 2017	GA53A	-
16-Jan-18	GB52A	9.3
16-Jan-18	GB53A	7.7
05-Jul-18	GC52A	9.2
05-Jul-18	GC53A	9.2
04-Oct-18	GD52A	-
04-Oct-18	GD53A	-



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ  
ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-Χ (XRD)**

**Κωδικός Δείγματος: SX5**

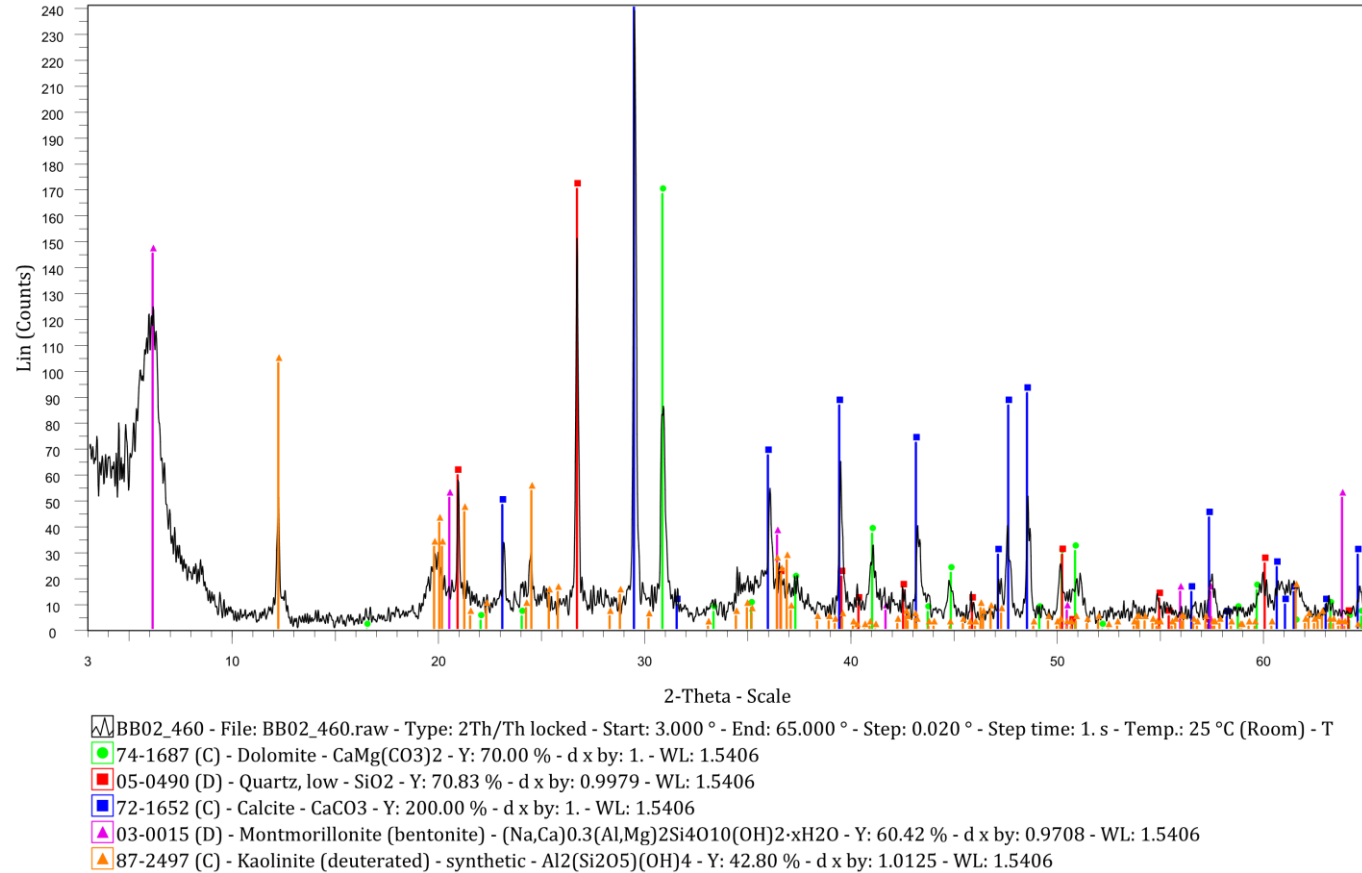
**Βάθος: 12,20-12,40m**



- BB02\_1220\_1240 - File: BB02\_1220\_1240.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25
- 05-0490 (D) - Quartz, low - SiO<sub>2</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 11-0078 (D) - Dolomite - CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 79-1270 (C) - Clinocllore - (Mg<sub>2.96</sub>Fe<sub>1.55</sub>Fe<sub>1.36</sub>Al<sub>1.275</sub>)(Si<sub>2.622</sub>Al<sub>1.376</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub> - Y: 39.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 80-0886 (C) - Kaolinite - Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)(OH)<sub>4</sub> - Y: 18.75 % - d x by: 1.0167 - WL: 1.5406
  - 83-0578 (C) - Calcite - Ca(CO<sub>3</sub>) - Y: 100.00 % - d x by: 0.9968 - WL: 1.5406
  - 03-0015 (D) - Montmorillonite (bentonite) - (Na,Ca)<sub>0.3</sub>(Al,Mg)<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>·xH<sub>2</sub>O - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406

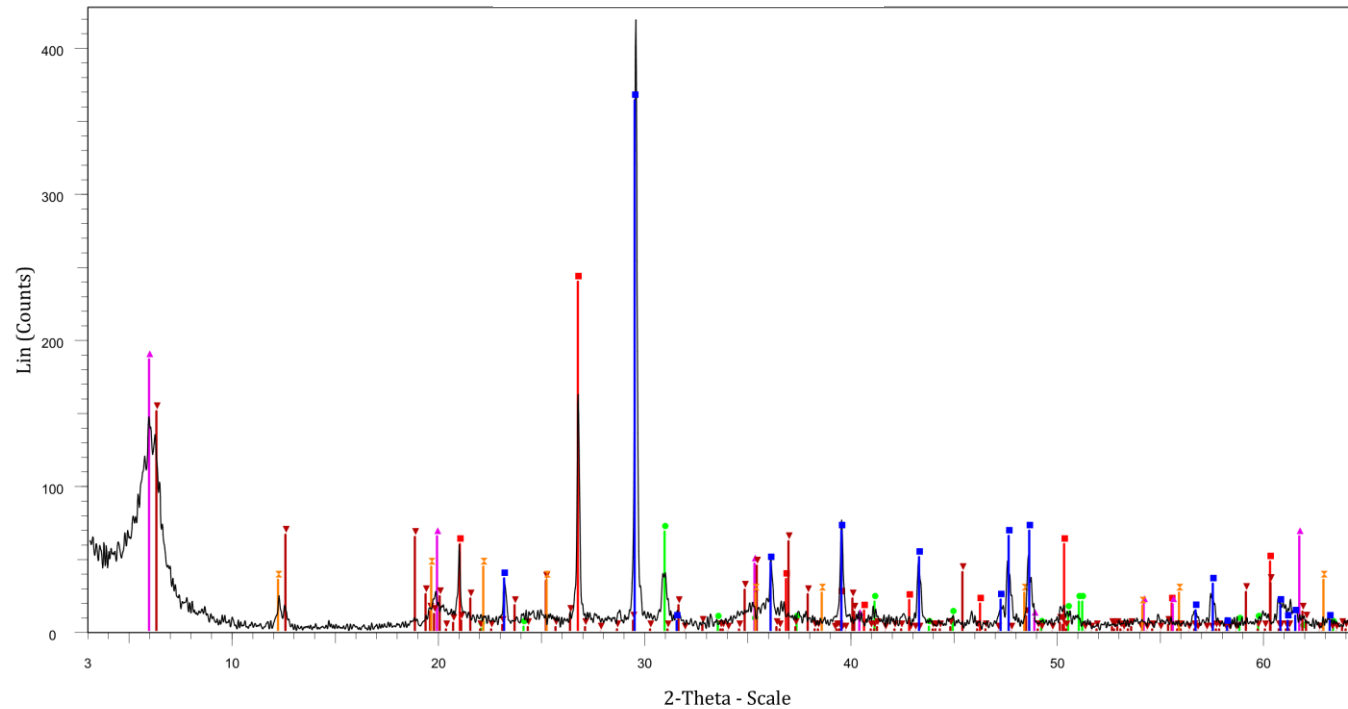
Κωδικός Δείγματος: SX5

Βάθος: 4,60m



Κωδικός Δείγματος: SX5

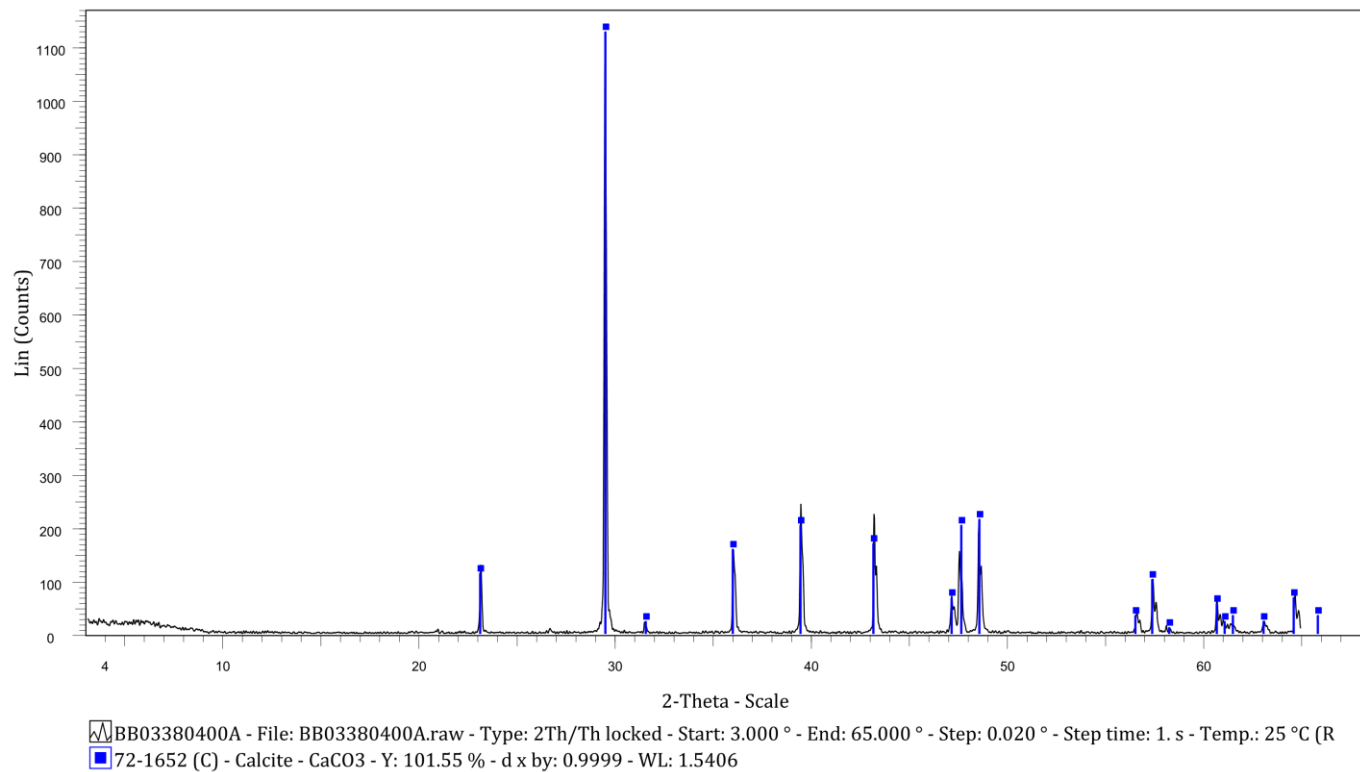
Βάθος: 5,70 m



- BB02\_570 - File: BB02\_570.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - T
- 83-1762 (C) - Calcite -  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  - Y: 85.42 % - d x by: 0.9966 - WL: 1.5406
  - 01-0649 (D) - Quartz -  $\text{SiO}_2$  - Y: 56.25 % - d x by: 0.9948 - WL: 1.5406
  - 11-0078 (D) - Dolomite -  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  - Y: 16.06 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - ▲ 03-0015 (D) - Montmorillonite (bentonite) -  $(\text{Na,Ca})_0.3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  - Y: 43.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - ▼ 74-1137 (C) - Clinocllore -  $\text{Al}_2\text{Mg}_5\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  - Y: 35.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - ◻ 02-0204 (D) - Kaolinite -  $(\text{Al,Si})_2\text{Si}_2(\text{O,OH})_9$  - Y: 10.42 % - d x by: 0.9833 - WL: 1.5406

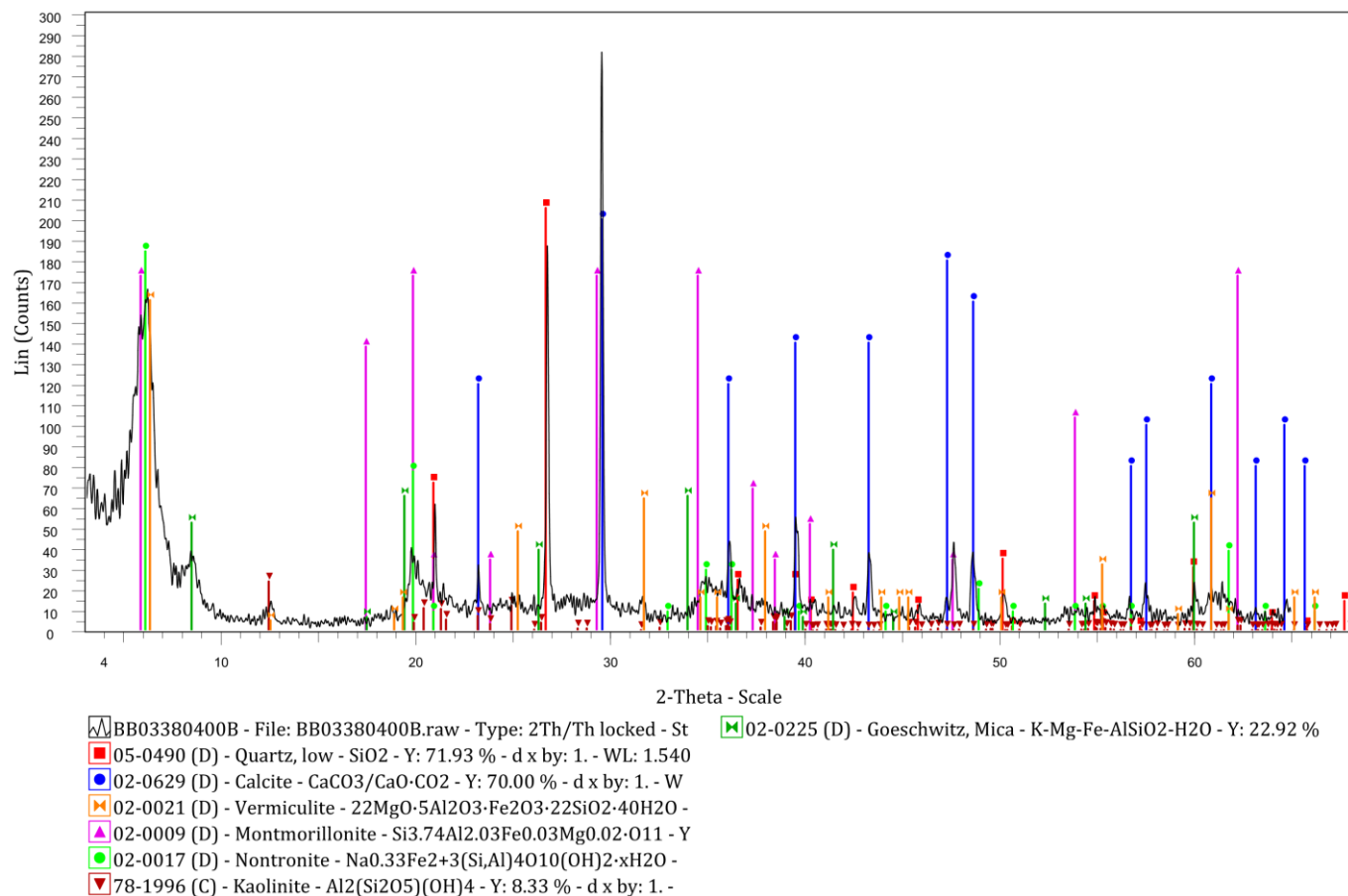
**Κωδικός Δείγματος: X1(A)**

**Βάθος: 3,80-4,00 m**



**Κωδικός Δείγματος: X1(B)**

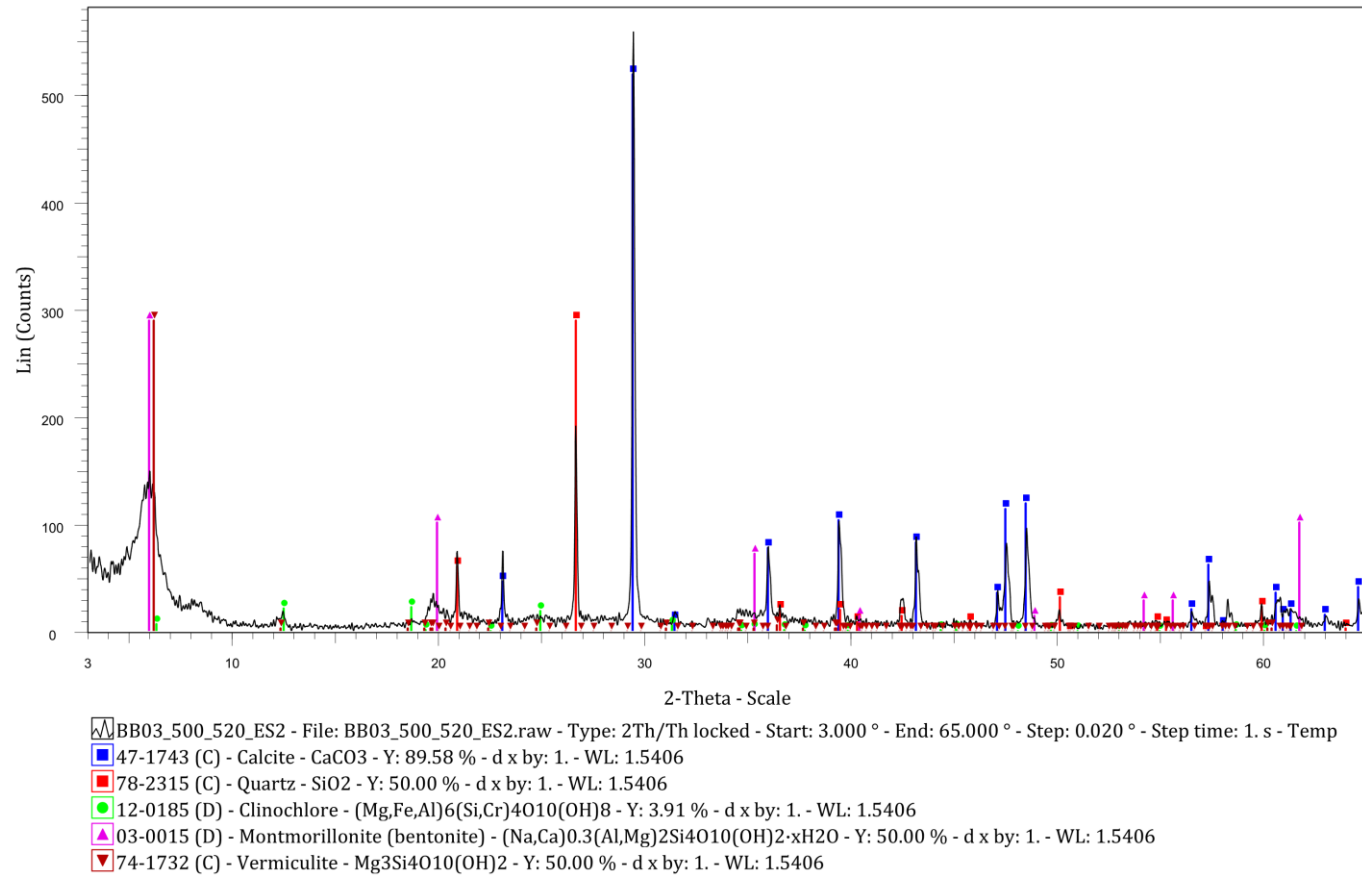
**Βάθος: 3,80-4,00 m**





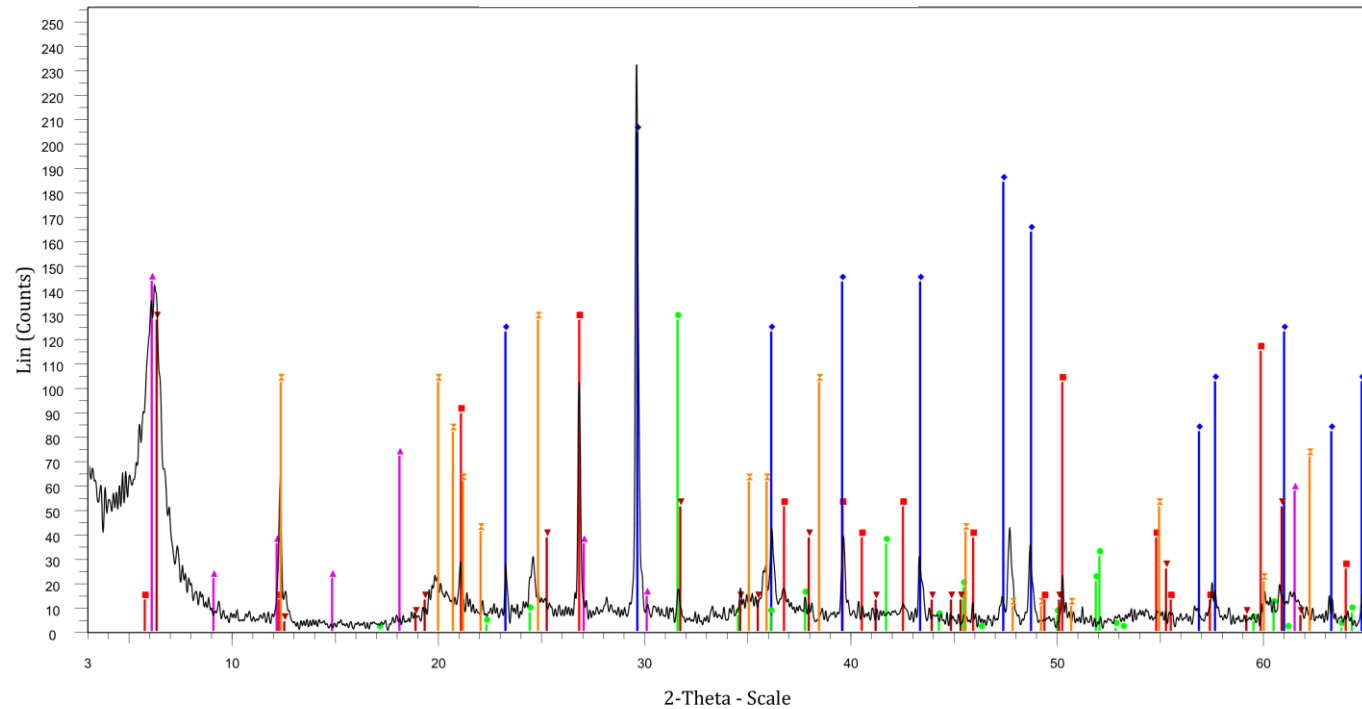
**Κωδικός Δείγματος: X1**

**Βάθος: 5,00-5,20 m**



Κωδικός Δείγματος: X1

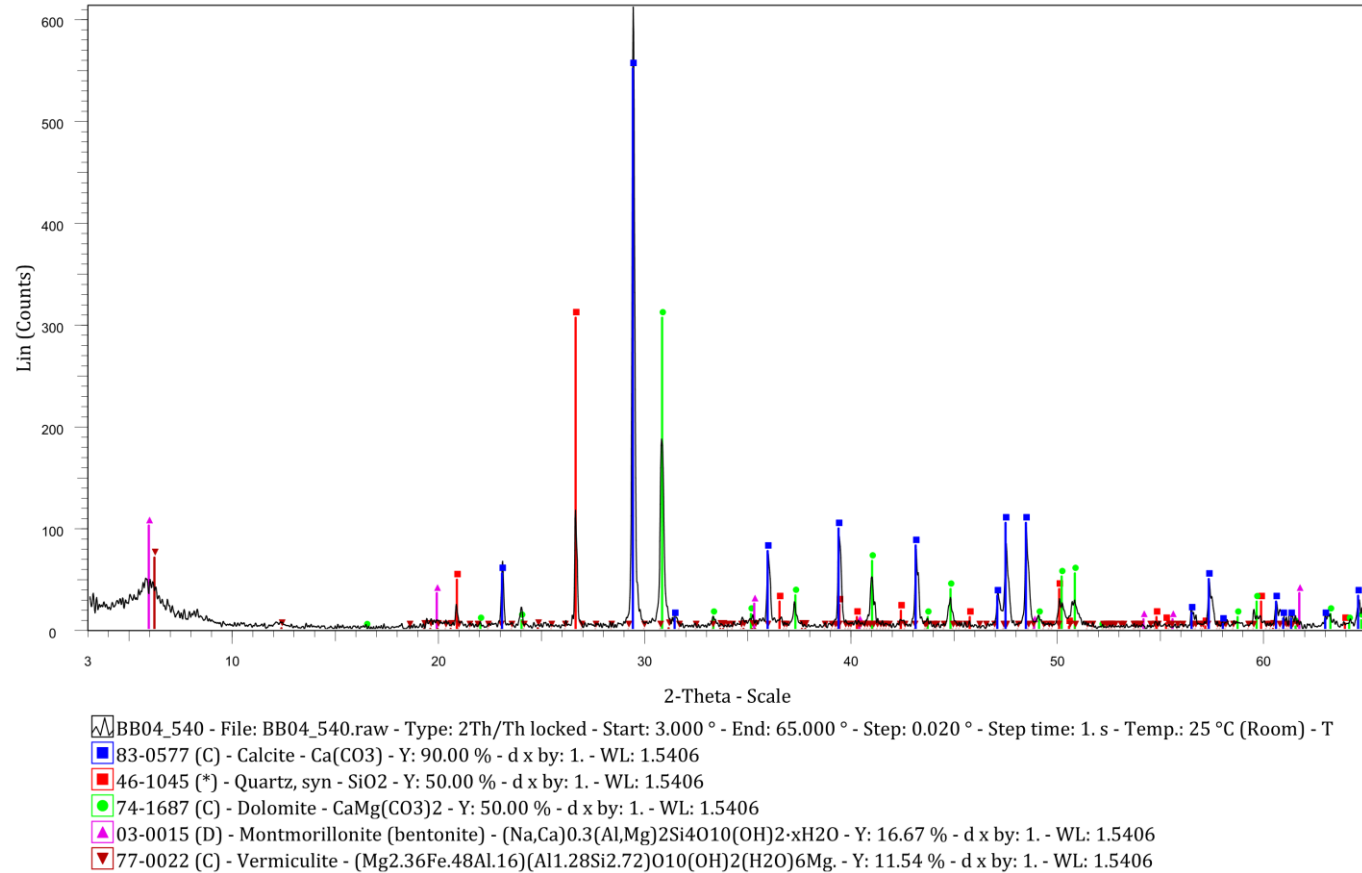
Βάθος: 5,80 m



- BB03580 - File: BB03580.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Ti
- 03-0444 (D) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1.0023 - WL: 1.5406
  - 02-0629 (D) - Calcite - CaCO<sub>3</sub>/CaO-CO<sub>2</sub> - Y: 80.21 % - d x by: 0.9983 - WL: 1.5406
  - 79-1346 (C) - Dolomite - CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 07-0051 (D) - Montmorillonite - (Na,Ca)0.3(Al,Mg)2Si2O10(OH)2·nH<sub>2</sub>O - Y: 56.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 02-0021 (D) - Vermiculite - 22MgO·5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·22SiO<sub>2</sub>·40H<sub>2</sub>O - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 01-0527 (D) - Kaolinite - Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406

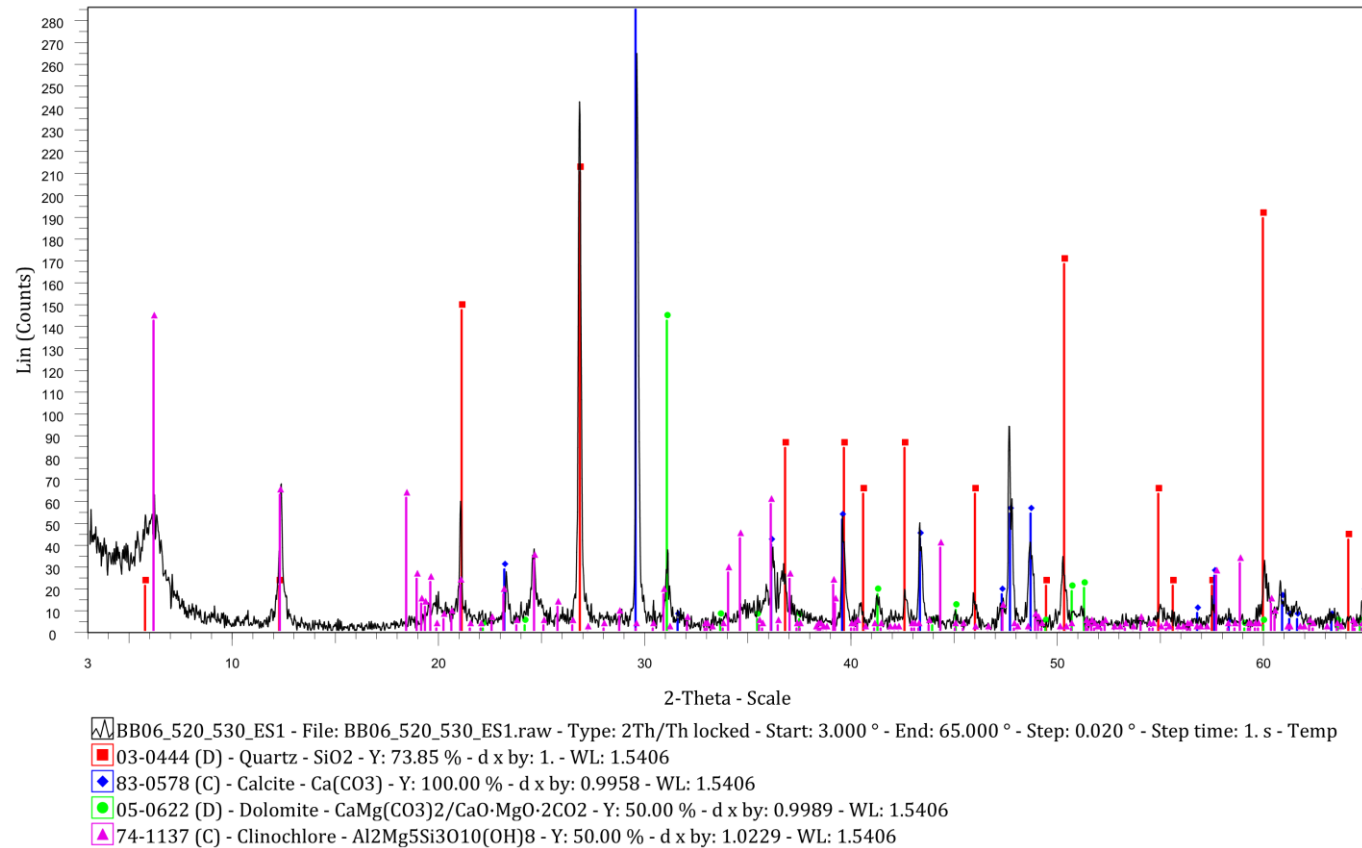
Κωδικός Δείγματος: SX6

Βάθος: 5,40 m



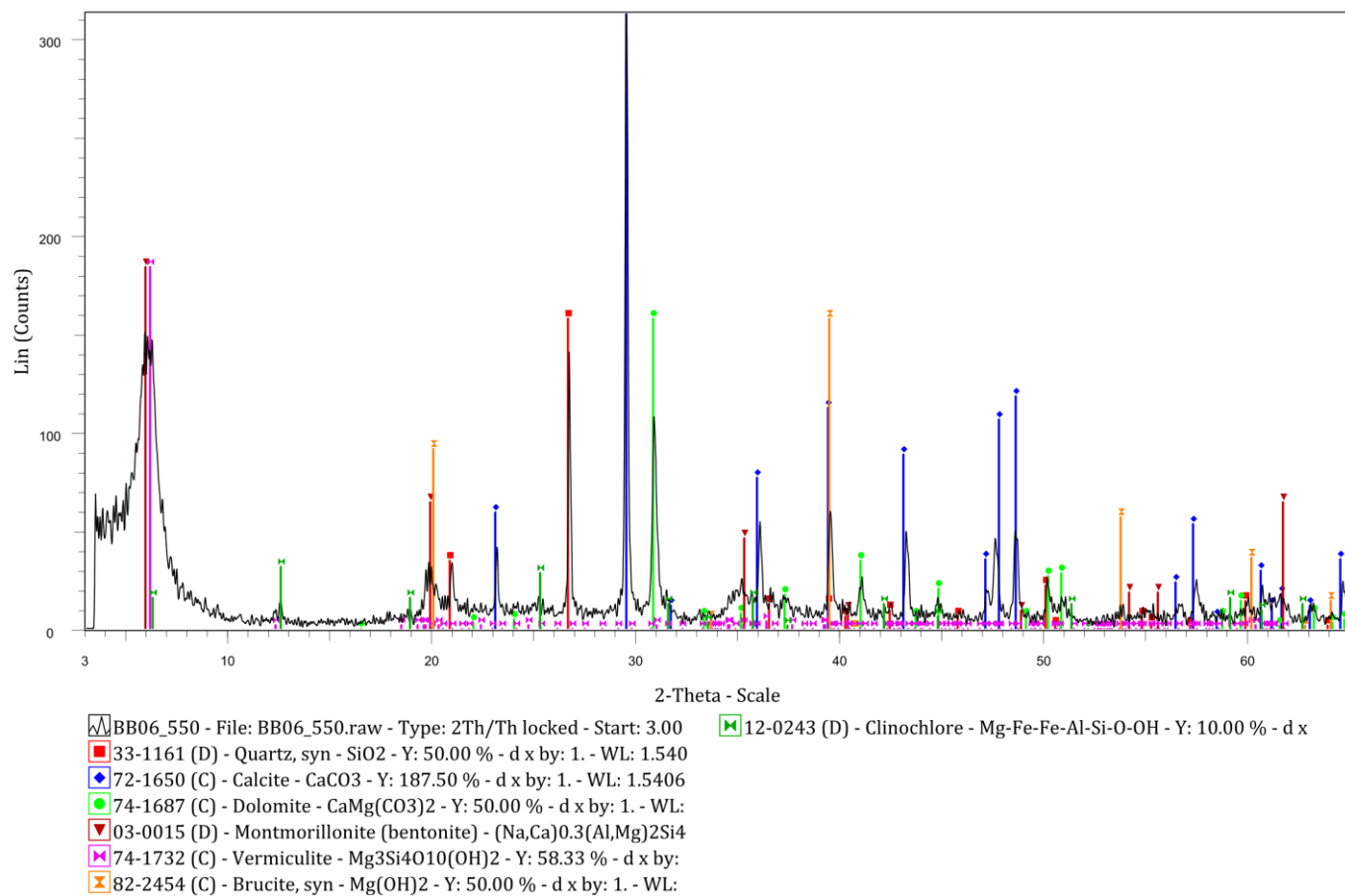
**Κωδικός Δείγματος: X3**

**Βάθος: 5,20-5,30 m**



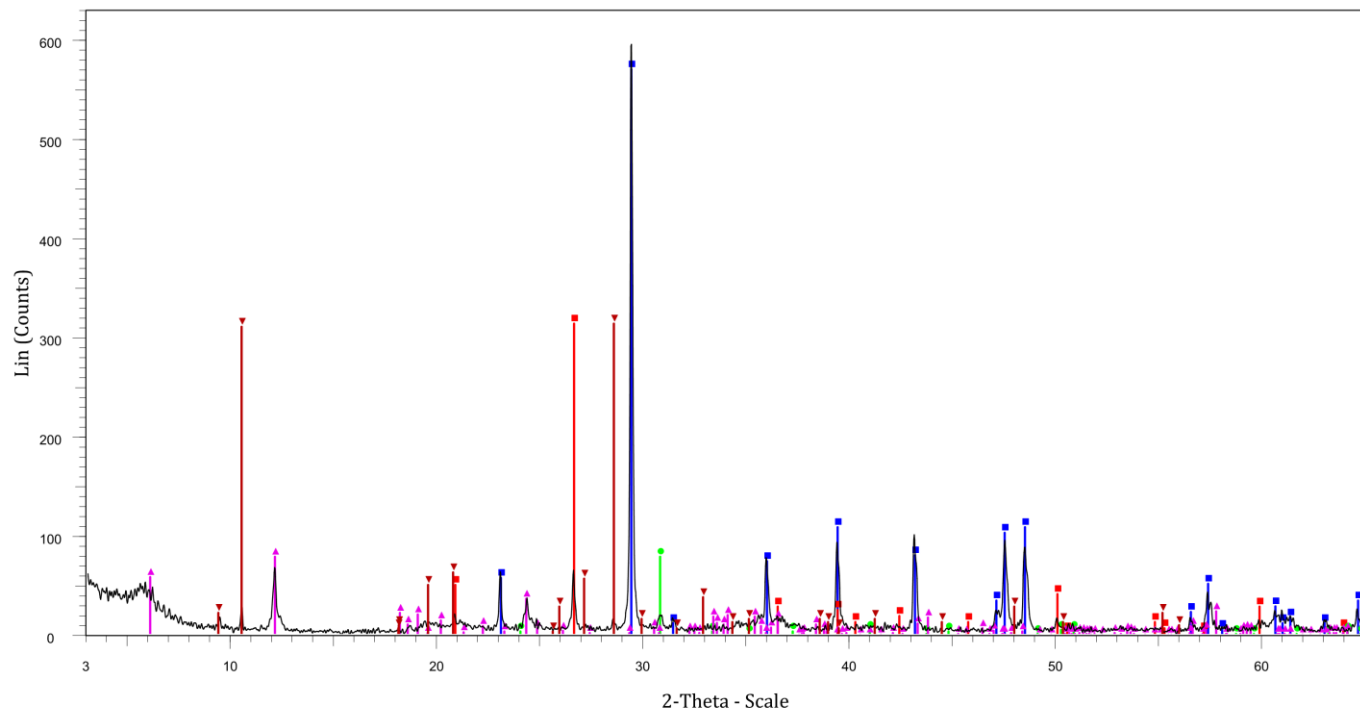
Κωδικός Δείγματος: X3

Βάθος: 5,50 m



Κωδικός Δείγματος: SX7

Βάθος: 5,40-5,60 m

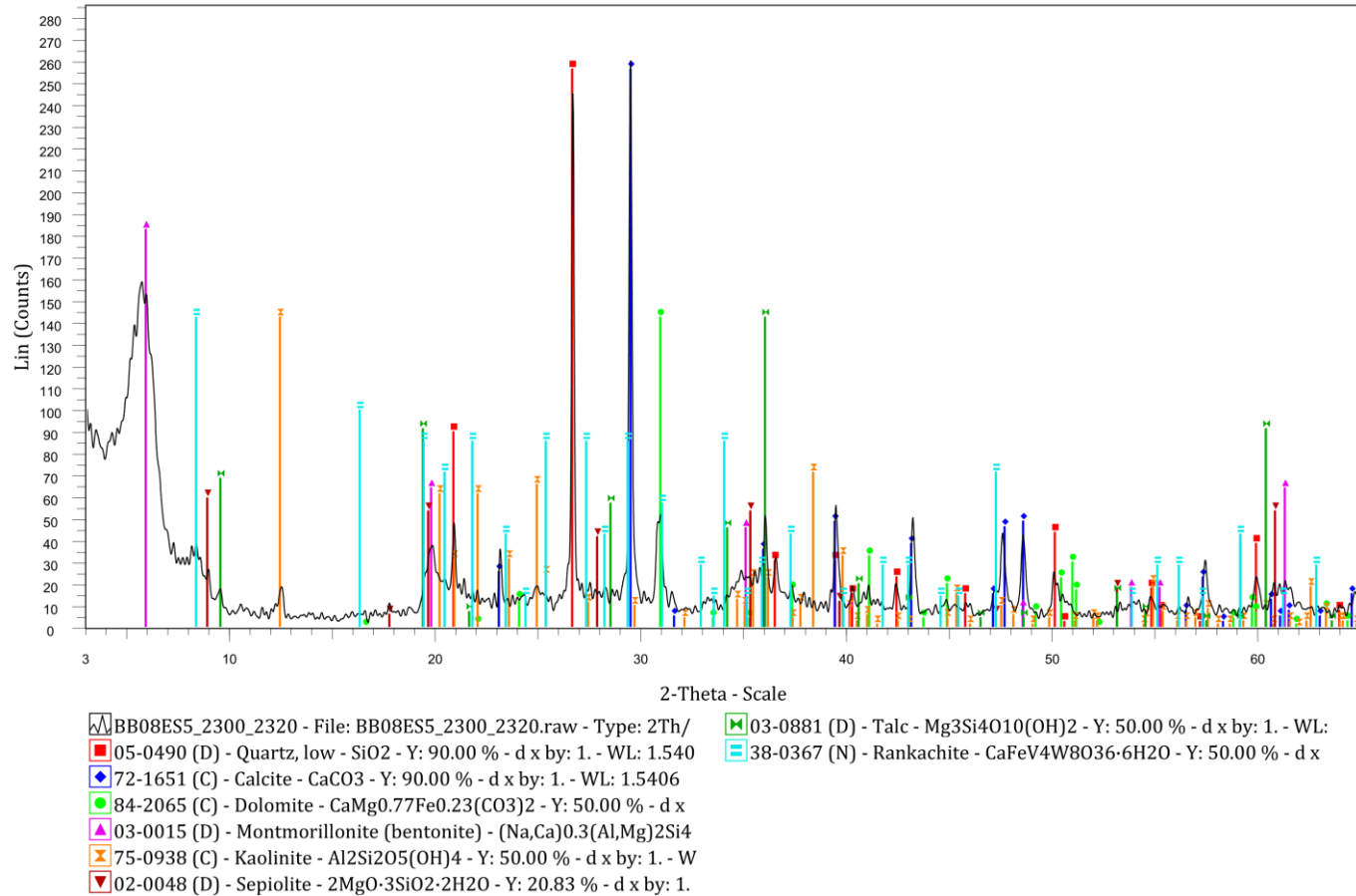


- BB07\_540\_560 - File: BB07\_540\_560.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (
- 83-1762 (C) - Calcite -  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  - Y: 90.83 % - d x by: 0.9989 - WL: 1.5406
  - 46-1045 (\*) - Quartz, syn -  $\text{SiO}_2$  - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 34-0517 (D) - Dolomite, ferroan -  $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$  - Y: 12.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - ▲ 79-1270 (C) - Clinocllore -  $(\text{Mg}_{2.96}\text{Fe}_{1.55}\text{Fe}_{1.36}\text{Al}_{1.275})(\text{Si}_{2.622}\text{Al}_{1.376}\text{O}_{10})(\text{OH})_8$  - Y: 12.50 % - d x by: 1.0312 - WL: 1.5406
  - ▼ 29-1236 (D) - Magnesioriebeckite -  $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Fe}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  - Y: 50.00 % - d x by: 1.0104 - WL: 1.5406



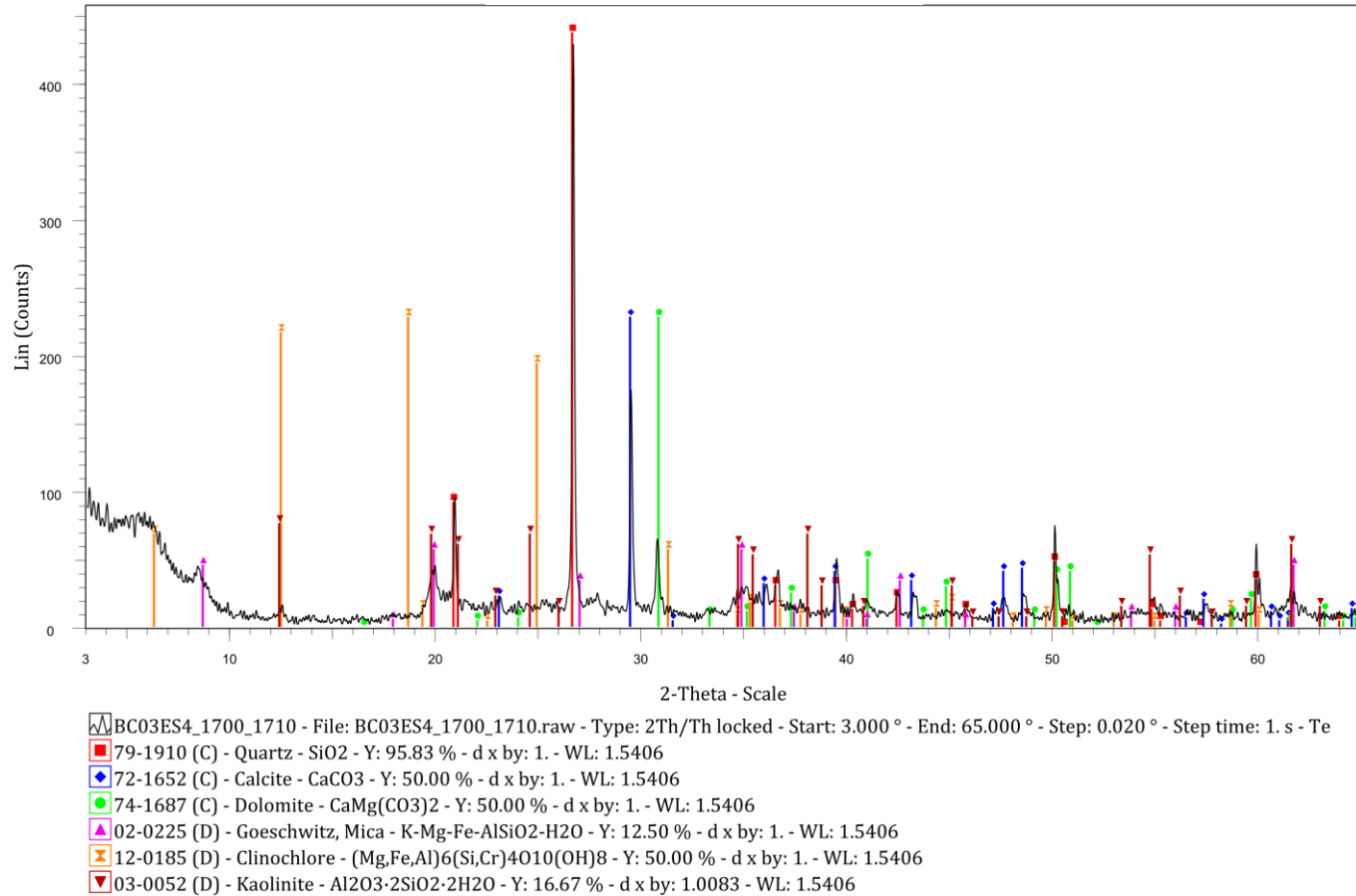
Κωδικός Δείγματος: **SX8**

Βάθος: **23,00-23,20 m**



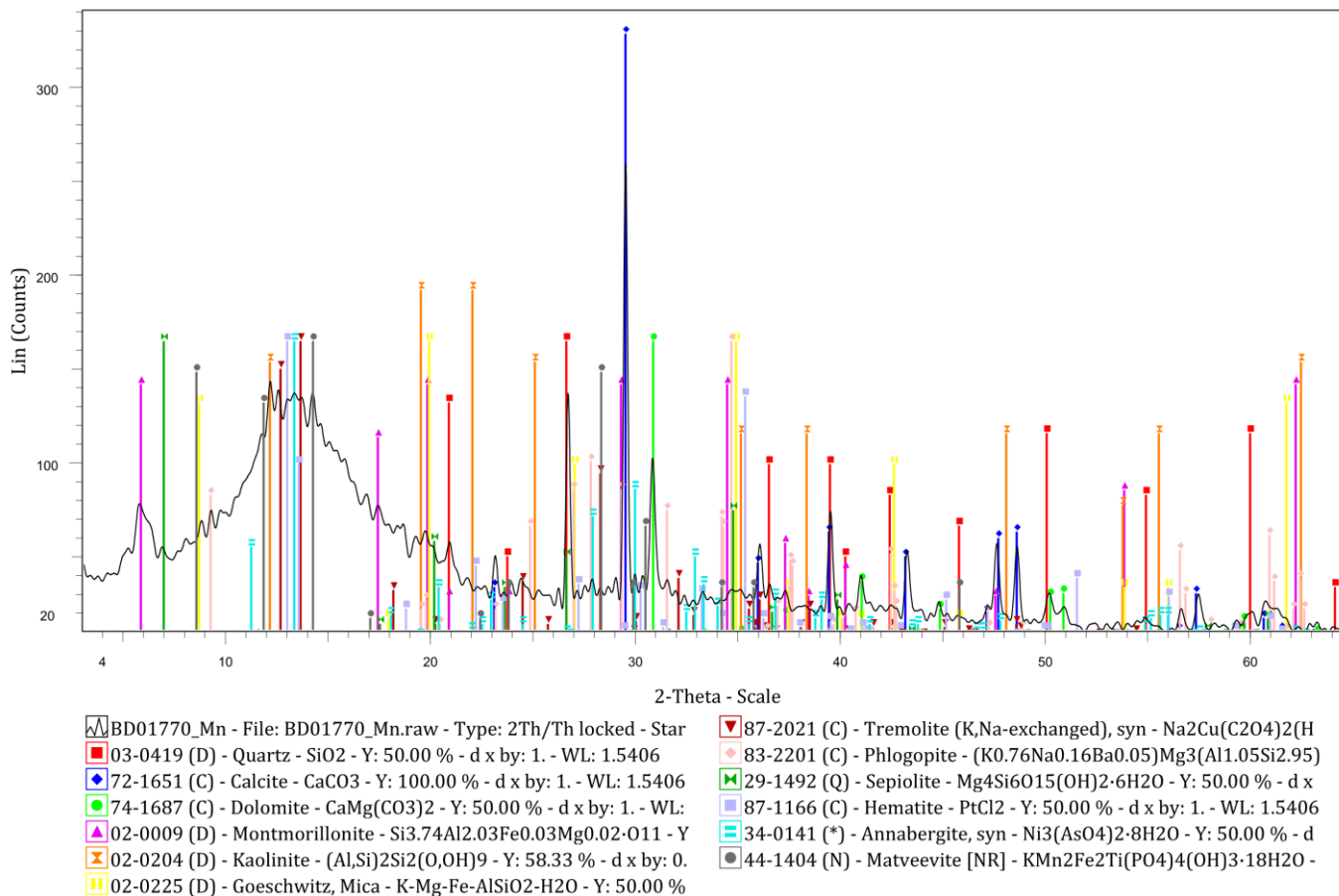
Κωδικός Δείγματος: Υ

Βάθος: 17,00-17,10 m



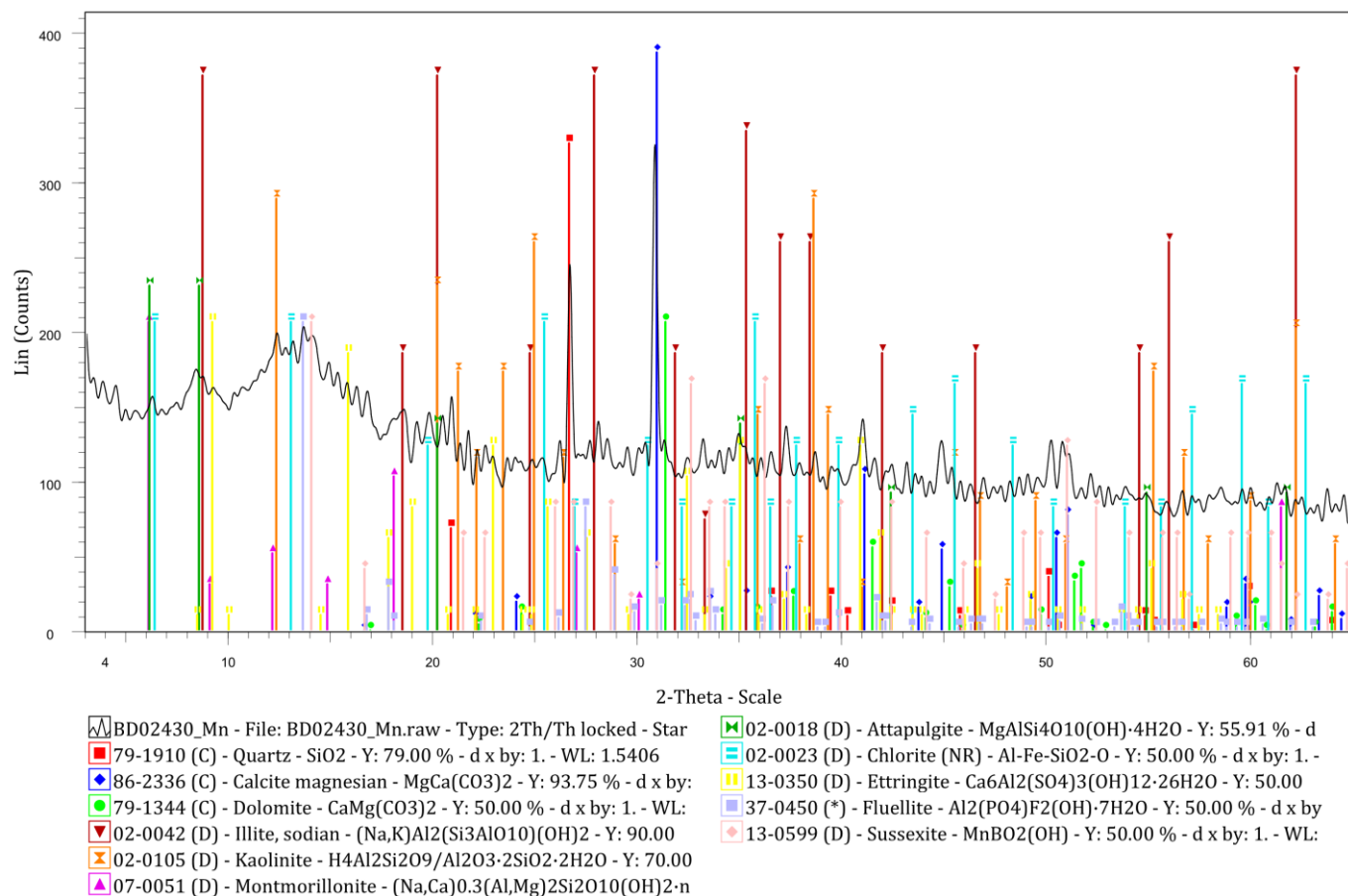
**Κωδικός Δείγματος: SZ1 (Mn)**

**Βάθος: 17,70m**



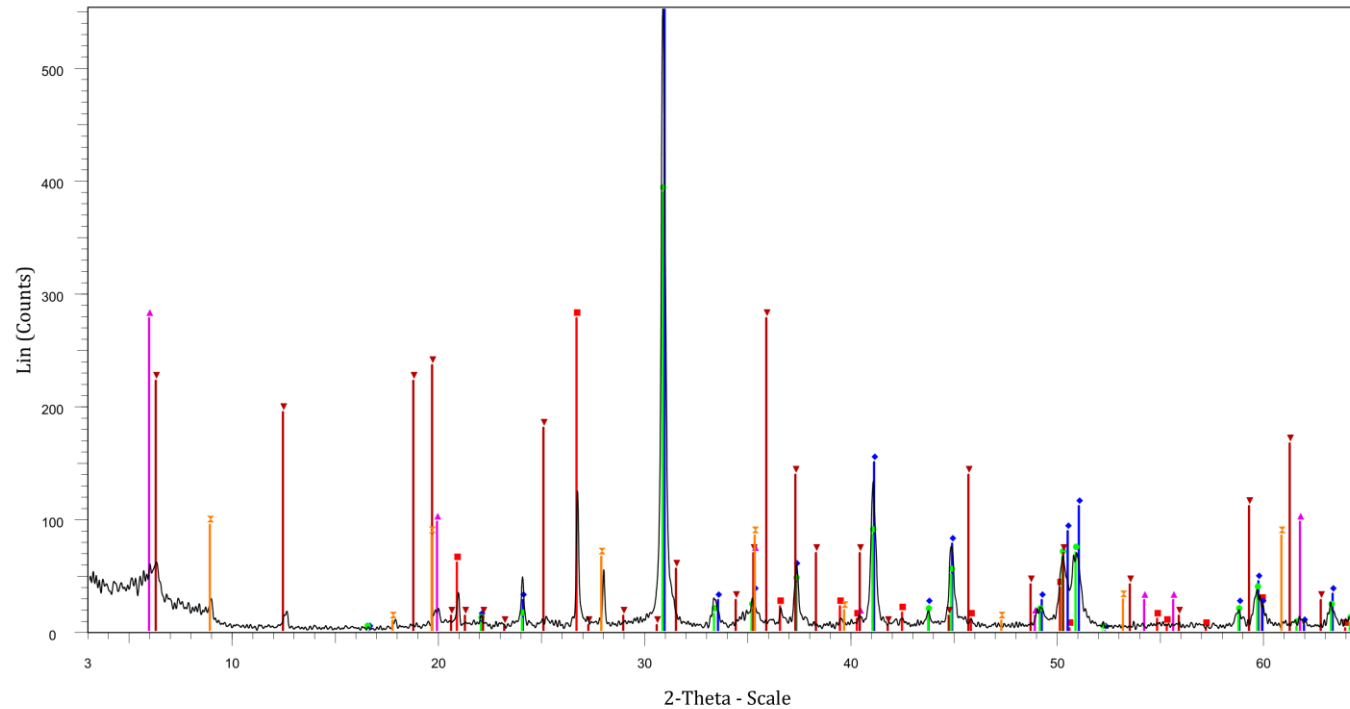
**Κωδικός Δείγματος: SZ2 (Mn)**

**Βάθος: 4,30 m**



**Κωδικός Δείγματος: SZ2**

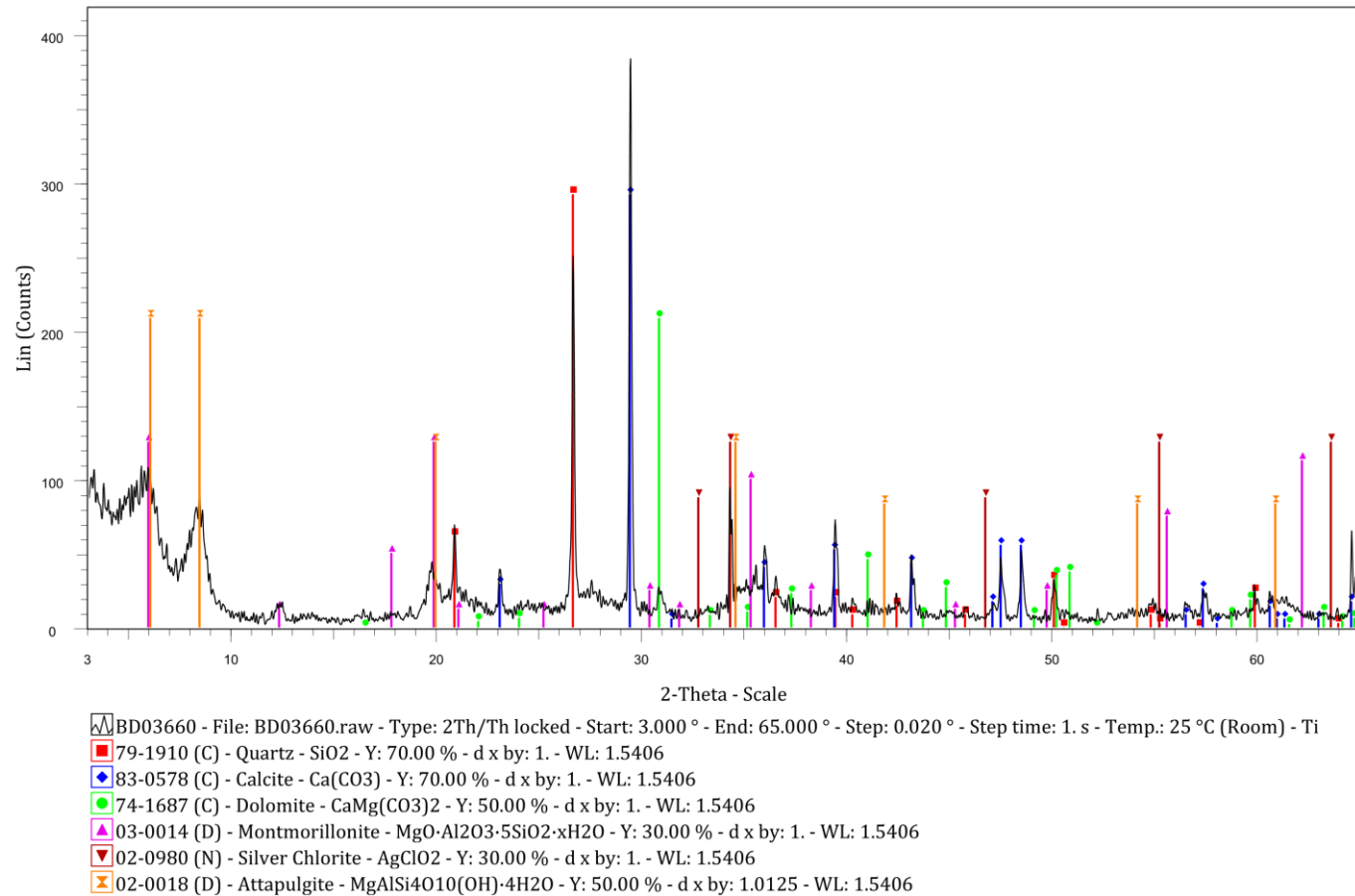
**Βάθος: 5,30 m**



- BD02530\_ES154\_56 - File: BD02530\_ES154\_56.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Tem
- 33-1161 (D) - Quartz, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 86-2336 (C) - Calcite magnesian - MgCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> - Y: 100.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 74-1687 (C) - Dolomite - CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> - Y: 70.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 03-0015 (D) - Montmorillonite (bentonite) - (Na,Ca)0.3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2·xH<sub>2</sub>O - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 13-0003 (D) - Chlorite - Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(O)<sub>8</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406
  - 02-0048 (D) - Sepiolite - 2MgO·3SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O - Y: 17.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406

**Κωδικός Δείγματος: SZ3**

**Βάθος: 6,60 m**





**Κωδικός Δείγματος: SZ3 (Mn)**

**Βάθος: 6,60 m**

