



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών των περιοχών  
των Οиноφύτων - Οινόης - Σχηματαρίου

**Ζαχαρούλα Α. Τσουμάνη**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Γαλανοπούλου Σταυρούλα, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ

Καρπενήσι  
2021

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών των περιοχών  
των Οινοφύτων - Οινόης - Σχηματαρίου

“Investigation of heavy metal pollution of the soils of the areas of Inofyta - Oinoi  
– Schimatari”

**Ζαχαρούλα Α. Τσουμάνη**

Εξεταστική Επιτροπή:

Σταυρούλα Γαλανοπούλου, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ (Επιβλέπουσα)

Σπυρίδων Καλούδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Αναστασία Παντέρα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

## **Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών των περιοχών των Οиноφύτων - Οινόης - Σχηματαρίου**

*ΠΜΣ Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος  
Γενικό Τμήμα*

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στη μελέτη αυτή διερευνήθηκε η πιθανή ρύπανση από βαρέα μέταλλα των επιφανειακών εδαφών των περιοχών Αυλώνα, Σχηματαρίου, Οινόης και Οиноφύτων και τα γεωχημικά χαρακτηριστικά τους. Συλλέχθηκαν σύνθετα επιφανειακά δείγματα εδάφους κυρίως από γεωργικές εκτάσεις και αλσούλια κοντά σε βιομηχανικές περιοχές και στα αστικά κέντρα και πραγματοποιήθηκαν σε αυτά κοκκομετρικές και γεωχημικές αναλύσεις.

Από την κοκκομετρική ανάλυση προέκυψε ότι τα εδάφη της περιοχής μελέτης κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες μηχανικής σύστασης, «Αμμώδης πηλός», «Πηλός», «Αργιλώδης πηλός», «Αμμοαργιλώδης πηλός». Τα εδάφη χαρακτηρίστηκαν μέτρια έως ισχυρώς αλκαλικά ως προς το pH τους και βρέθηκαν να έχουν μέση έως πλούσια περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα. Μελετήθηκαν οι ολικές και διαθέσιμες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα εδάφη. Από τις ολικές τους συγκεντρώσεις προέκυψε ότι αυτά είναι ρυπασμένα ως προς το μόλυβδο, το νικέλιο, το χρώμιο και λιγότερο ως προς το μαγγάνιο, ενώ δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη ρύπανση από το χαλκό και τον ψευδάργυρο. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βιοδιαθέσιμου νικελίου και μαγγανίου προσδιορίστηκαν στα Οινόφυτα και στον Αυλώνα, ενώ βιοδιαθέσιμου μολύβδου στα Οινόφυτα και στο Σχηματάρι. Οι μεγαλύτερες τιμές των διαθέσιμων μορφών χαλκού και ψευδαργύρου απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή των Οиноφύτων. Σύμφωνα με τους ρυπαντικούς δείκτες εδάφους που υπολογίστηκαν, σε γενικές γραμμές, τα εδάφη είναι μέτρια ρυπασμένα από τα βαρέα μέταλλα, αλλά οι δείκτες υποδεικνύουν ισχυρότερη ρύπανση του εδάφους από τα στοιχεία μόλυβδο και νικέλιο.

Συμπερασματικά, στην ευρύτερη περιοχή των Οиноφύτων όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη βιομηχανική δραστηριότητα προσδιορίστηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, κυρίως μολύβδου, νικελίου και χρωμίου και στον Αυλώνα υψηλές περιεκτικότητες νικελίου, μαγγανίου και χρωμίου, γεωγενούς κυρίως προέλευσης.

**Επιστημονική Περιοχή:** Περιβαλλοντική Γεωχημεία

**Λέξεις κλειδιά:** Βοιωτία, βαρέα μέταλλα, βιοδιαθεσιμότητα, ρύπανση

## **Investigation of heavy metal pollution of the soils of the areas of Inofyta - Oinoi - Schimatari**

*MSc Ecology and Environmental Management  
General Department*

### **ABSTRACT**

In this study is investigated the possible heavy metal pollution of the surface soils of the areas of Avlona, Schimatari, Oinoi and Inofyta and their geochemical characteristics. Composite surface soil samples were collected mainly from agricultural areas and thickets near industrial areas and urban centers, and granulometric and geochemical analyzes were performed there on them.

The granulometric analysis showed that the soils of the study area are classified into four categories of mechanical composition, "Sandy clay", "Clay", "Clay clay", "Sandy clay". The soils were characterized as moderately to strongly alkaline, in terms of their pH, and were found to have a medium to rich content of organic carbon. The total and available concentrations of heavy metals in the soils were studied. Their total concentrations showed that they are polluted in terms of lead, nickel, chromium and less in terms of manganese, while they do not show much pollution from copper and zinc. The highest concentrations of bioavailable nickel and manganese were determined in Oinoi and Avlona, while bioavailability of lead in Oinoi and Schimatari. The highest values of the available forms of copper and zinc are found in the wider area of Inofyta. According to the soil pollution indices calculated, in general soils are moderately polluted by heavy metals, but the indicators indicate stronger soil pollution by the elements lead and nickel.

In conclusion, in the wider area of Inofyta where the greatest industrial activity is observed, significant concentrations of heavy metals, mainly lead, nickel and chromium were identified and in Avlona high contents of nickel, manganese and chromium, mainly of geogenic origin.

**Scientific area:** Environmental geochemistry

**Keywords:** Boeotia, heavy metals, bioavailability, pollution

## **ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Η μεταπτυχιακή φοιτήτρια που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κλπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

Η συγγραφέας

Ζαχαρούλα Τσουμάνη

«Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Σ.Ε. του Τμήματος Δασοπονίας & Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος του πρώην Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1. Σταυρούλα Γαλανοπούλου (Επιβλέπουσα)
2. Σπυρίδων Καλούδης (Μέλος)
3. Αναστασία Παντέρα (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Γαλανοπούλου Σταυρούλα. Εκφράζω επίσης τις ευχαριστίες μου για την ανάθεση του θέματος, την εποπτεία, τη βοήθεια και τη συμπαράστασή της καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της, τις πολύτιμες πληροφορίες, υποδείξεις και διορθώσεις της.

Ευχαριστώ επίσης την κ. Παντέρα Αναστασία για την ευγενική παραχώρηση του εργαστηρίου εδαφολογίας, απαραίτητο για την ολοκλήρωση του εργαστηριακού μέρους της εργασίας και την συνεισφορά της και τον κ. Καλούδη Σπυρίδωνα για τις συμβουλές του και την πολύτιμη συμβολή του στη δημιουργία των γεωχημικών χαρτών με τη χρήση GIS.

Επίσης ευχαριστώ την κόρη μου, το σύζυγο μου, την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με στήριξαν μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Τέλος αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον κ. Τζιουβαλέκα Μιλτιάδη, Δόκιμο Ερευνητή ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ για την πολύτιμη βοήθειά του.

«Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της»

**Αφιερωμένη,  
στην κόρη μου, Μαρία!**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	v
ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	1
<b>1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b> .....	1
<b>1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
<b>1.3 ΕΔΑΦΟΣ</b> .....	2
1.3.1 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ .....	3
1.3.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥΣ.....	5
1.3.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ .....	8
1.3.4 ΟΛΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ - ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ .....	8
1.3.5 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	16
<b>2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	16
<b>2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	17
<b>2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	18
<b>2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	19
<b>2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	19
<b>2.6 ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ</b> .....	20
<b>2.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	27
<b>3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	27
<b>3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ</b> .....	27
<b>3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ</b> .....	29
3.3.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	29
3.3.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	30
3.3.2.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH .....	30
3.3.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	31
3.3.2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....	31
3.3.2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	34
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	34
<b>4.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</b> .....	34
<b>4.2 pH</b> .....	35



<b>4.3 ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ</b> .....	36
<b>4.4 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ</b> .....	37
<b>4.5 ΟΛΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ - ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ</b> .....	37
<b>4.6 ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b> .....	44
<b>4.7 ΡΥΠΑΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ</b> .....	46
4.7.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (Igeo).....	47
4.7.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (PI: PollutionIndex) .....	49
4.7.3 ΔΕΙΚΤΗΣΦΟΡΤΙΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ PLI (Pollution Load Index).....	50
4.7.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (MEC) .....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	53
<b>5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	55

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1:</b> Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδαφών (Παντελάκης, 2019) .....	3
<b>Εικόνα 2.1:</b> Ευρύτερη περιοχή μελέτης (Οινόφυτα, Σχηματάρι, Οινόη και Αυλώνα, google.maps, προσωπική επεξεργασία) .....	17
<b>Εικόνα 2.2:</b> Η δασική βλάστηση της Βοιωτίας σε ποσοστό % (πηγή: wikipedia, 2021).....	20
<b>Εικόνα 3.1:</b> Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών εδαφών στην περιοχή Αυλώνα-Οινοφύτων-Οινόης-Σχηματαρίου .....	28
<b>Εικόνα 3.2:</b> Επιφάνεια δειγματοληψίας.....	28
<b>Εικόνα 4.1:</b> Τριγωνικό διάγραμμα μηχανικής σύστασης εδαφών κατά το διεθνές σύστημα (Παντελάκης, 2019) .....	34
<b>Εικόνα 4.2:</b> Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Ni (mg/kg) στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου .....	39
<b>Εικόνα 4.3:</b> Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Pb (mg/kg) στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου .....	40
<b>Εικόνα 4.4:</b> Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Cr (mg/kg) στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου .....	43

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 4.1:</b> Μηχανική σύσταση επιφανειακών εδαφών περιοχών Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου και Αυλώνα .....	35
<b>Πίνακας 4.2:</b> Τιμές pH και οργανικού άνθρακα (Corg) επιφανειακών εδαφών περιοχών Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου. ....	36
<b>Πίνακας 4.3:</b> Ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην περιοχή μελέτης σε mg/kg.....	37
<b>Πίνακας 4.4:</b> . Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην περιοχή μελέτης σε mg/kg ..	45
<b>Πίνακας 4.5:</b> Ταξινόμηση του δείκτη Igeo - Βαθμός επιβάρυνσης (πηγή: Müller, 1979).....	47
<b>Πίνακας 4.6:</b> Τιμές δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo στα επιφανειακά εδάφη της περιοχής μελέτης .....	48

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Αυλώνα, Σχηματαρίου, Οινόης και Οινοφύτων ως προς την περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα και τα γεωχημικά χαρακτηριστικά τους. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν γιατί εξαιτίας της θέσης τους κοντά στη βιομηχανική ζώνη της Βοιωτίας παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον ως προς τη ρύπανση των εδαφών τους από τα λύματα των βιομηχανικών μονάδων και τους αέριους ρύπους που εκλύονται από αυτές.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να μελετηθεί η ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα, να προσδιοριστεί ο βαθμός της ρύπανσής τους και να αναδειχθούν οι πιθανές πηγές των ρύπων.

### **1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η αύξηση του πληθυσμού και η αλόγιστη χρήση του περιβάλλοντος από τους ανθρώπους παίρνει απειλητικές διαστάσεις απειλώντας και την ίδια την ύπαρξή τους. Η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι εμφανής στον ατμοσφαιρικό αέρα, στα ύδατα αλλά και στο έδαφος. Από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος θεωρούνται τα βαρέα μέταλλα, επειδή αυτά και οι ενώσεις τους, δεν αποικοδομούνται, αλλά παραμένουν ή συσσωρεύονται στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα, εισέρχονται σε βιογεωχημικούς κύκλους (Λουκίδου, 2003) και ανάλογα με το είδος δέσμευσης μπορούν να μετατραπούν σε πιο τοξικές ενώσεις, αποτελώντας κίνδυνο ακόμα και για την ίδια τη ζωή του ανθρώπου (Παπαδημητρίου, 2005). Η παρακολούθηση της πορείας των μεταλλικών στοιχείων μετά την εισαγωγή τους στο οικοσύστημα γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη γιατί μετακινούνται από τον έναν κρίκο του τροφικού πλέγματος στον άλλο και συσσωρεύονται στους ζωντανούς οργανισμούς με τελική κατάληξη τον άνθρωπο, την κορυφή του τροφικού πλέγματος.

Είναι σημαντικό να ελέγχεται το μέγεθος ρύπανσης μιας περιοχής ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν εγκαίρως κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση και τη συνολική διαχείριση της κατάστασης.

### 1.3 ΕΔΑΦΟΣ

Το έδαφος είναι το ανώτατο στρώμα του φλοιού της γης το οποίο μπορεί να φέρει βλάστηση. Πιο συγκεκριμένα, ως έδαφος ορίζεται το ανώτερο στρώμα από χαλαρά ανόργανα ή οργανικά υλικά που καλύπτει την επιφάνεια της γης και προήλθε από οργανικά ιζήματα ή από την αποσάθρωση των πετρωμάτων λόγω ατμοσφαιρικών και βιολογικών επιδράσεων. Το έδαφος αποτελεί ένα πολύ δυναμικό στρώμα καθώς οι διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτό συνεχώς μεταβάλλονται. Στην Ελλάδα το βάθος εδάφους μπορεί να είναι από 30 μέχρι 80 cm, ανάλογα με τις γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής, το κλίμα, το μητρικό πέτρωμα και το είδος της βλάστησης (Τάντος & Παπαϊωάννου, 2008).

Οι βασικές λειτουργίες που επιτελεί το έδαφος για τη διατήρηση της ισορροπίας στο οικοσύστημα είναι ότι συμμετέχει στη ροή και μετατροπή της ενέργειας, ρυθμίζει τη ροή του νερού, συμβάλλει στη διατήρηση της βιολογικής δραστηριότητας, παρέχει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά στα φυτά για την ανάπτυξή τους, ενώ ταυτόχρονα καταστρέφει τους παθογόνους μικροοργανισμούς και προσροφά επιβλαβείς ουσίες τις οποίες αποσυνθέτει με την βοήθεια των μικροοργανισμών που διαβιούν μέσα σε αυτό (Αλιφραγκής, 2015). Το χρώμα, η υφή, τα κολλοειδή, η οξύτητα και η αλκαλικότητα, η δομή, η ορυκτολογική σύσταση και η υγρασία είναι τα κυριότερα από τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Τα συστατικά του εδάφους είναι οργανικά 0,5-1,5%, ανόργανα 48- 49,5%, νερό 25% και αέρας 25%. Το έδαφος περιέχει οργανική ουσία, ρίζες ανώτερων φυτών και μικροοργανισμούς και παρέχει στήριξη και θρέψη στα φυτά.

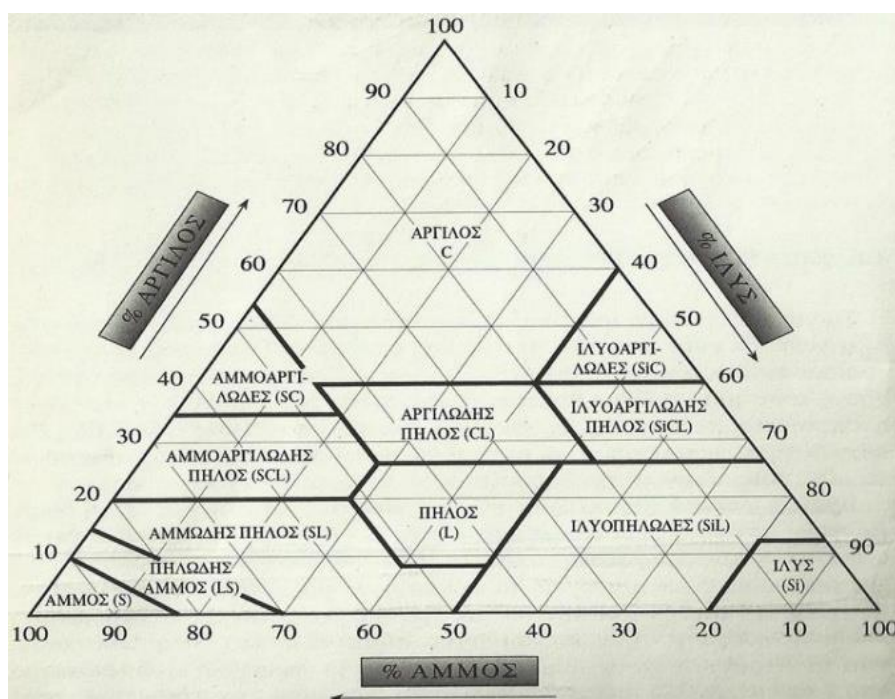
Με βάση τη μηχανική σύσταση των εδαφών, δηλαδή ανάλογα με το ποσοστό άμμου, ιλύος και αργίλου που περιέχουν, σύμφωνα με το διεθνές σύστημα ταξινόμησης των εδαφών, διακρίνονται 12 κλάσεις εδαφών (Εικόνα 1.1) (Παντελάκης, 2019).

Αυτές οι δώδεκα κατηγορίες ανήκουν σε τρεις ομάδες:

- τα ελαφριά εδάφη ή αμμώδη, που έχουν καλή αποστράγγιση, διακινείται εύκολα ο αέρας, θερμαίνονται και ψύχονται εύκολα, εκπλύνονται εύκολα (συνεχείς λιπάνσεις)

και δεν συγκρατούν ικανοποιητικά ποσά υγρασίας. Εδώ περιλαμβάνονται οι κατηγορίες: α) αμμώδη και β) πηλοαμμώδη,

- τα βαριά εδάφη ή αργιλώδη, τα οποία δεν έχουν καλή στράγγιση, δουλεύονται δύσκολα, περιέχουν περισσότερα θρεπτικά στοιχεία και λασπώνουν εύκολα. Εδώ περιλαμβάνονται οι κατηγορίες: α) αμμοαργιλώδη, β) ιλοαργιλώδη και γ) αργιλώδη και
- τα μέσης σύστασης εδάφη ή πηλώδη, που είναι μια ενδιάμεση κατάσταση και έχουν χαρακτηριστικά και των δυο τύπων. Περιλαμβάνονται οι κατηγορίες: α) αμμοπηλώδη, β) πηλώδη, γ) ιλοπηλώδη, δ) ιλυώδη, ε) αργιλοπηλώδη, στ) αμμοαργιλοπηλώδη και ζ) ιλοαργιλοπηλώδη (Παντελάκης, 2019).



**Εικόνα 1.1:** Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδαφών (πηγή: Παντελάκης, 2019)

### 1.3.1 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η γεωχημεία των εδαφών παίζει πολύ σπουδαίο ρόλο στην αποθήκευση, συγκράτηση, μετακίνηση ή αποσύνθεση των διαφόρων ρυπαντών, καθώς και την απορρόφηση των βαρέων μετάλλων διαμέσου του ριζικού συστήματος των φυτών συμβάλλοντας στη διαθεσιμότητα και κατανομή των ιχνοστοιχείων (Jokinen & Tahtinen, 1987).

Ως χημικές ιδιότητες του εδάφους αναφέρονται το pH, η περιεκτικότητα σε  $\text{CaCO}_3$ , η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων.

Το pH του εδάφους εκφράζει τη συγκέντρωση των ελεύθερων ιόντων  $\text{H}^+$  στο έδαφος και ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου (0-14) στο εδαφικό διάλυμα. Δηλαδή,  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ , όπου  $[\text{H}^+]$  η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου σε mole/L. Τα ιόντα  $\text{H}^+$  στο έδαφος προέρχονται από ατμοσφαιρικές εισροές, μετασχηματισμούς του αζώτου, οργανική ουσία, ορυκτά της αργίλου, πολυδροξυλιόντα του αργιλίου και του σιδήρου, διαλυτά άλατα του εδάφους και το διαλυμένο στο νερό του εδάφους  $\text{CO}_2$ . Το pH επιδρά στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Έτσι τα όξινα εδάφη παρουσιάζουν έλλειψη Ca, Mg, B, Mo, P, N, K και σε εδάφη με pH μικρότερο του 5,5 παρουσιάζονται τοξικότητες διαφόρων στοιχείων και κυρίως του Al, ενώ σε αλκαλικά εδάφη είναι συχνό το φαινόμενο της χλώρωσης λόγω έλλειψης Fe, Cu, Zn κ.ά.

Το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), το ανθρακικό μαγνήσιο ( $\text{MgCO}_3$ ) και ο δολομίτης  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  είναι τα πιο κοινά ανθρακικά άλατα του εδάφους και προέρχονται από τα μητρικά υλικά που είναι πλούσια σε ανθρακικά άλατα, αλλά και από τη μεταφορά ιόντων ασβεστίου από νερά στράγγισης καθώς εναποτίθενται σαν αδιάλυτο  $\text{CaCO}_3$  μετά την αντίδρασή του με το διοξείδιο του άνθρακα του εδάφους. Το ελεύθερο ανθρακικό ασβέστιο στα εδάφη επηρεάζει έμμεσα και την ανάπτυξη των φυτών, κυρίως με χλώρωση ασβεστίου και έλλειψη σιδήρου στα φύλλα (Μουσουλιώτης, 2019).

Η αγωγιμότητα του εδάφους είναι σημαντική ιδιότητα, σύμφωνα με την οποία τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως “αλατούχα” (τιμή της αγωγιμότητας του εκχυλίσματος κορεσμού  $\text{E.C.} > 4 \text{ mS/cm}$ ) ή “μη αλατούχα”. Τα αλατούχα εδάφη προκαλούν προβλήματα στα περισσότερα φυτά, ακόμα και τα εδάφη με τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ 1 και 2  $\text{mS/cm}$ . Σημαντικό ρόλο στην αγωγιμότητα του εδάφους ενέχει η τοπογραφική και η γεωγραφική θέση μιας περιοχής, καθώς και η ποιότητα του νερού άρδευσης των αρδευόμενων εκτάσεων.

Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων: Τα ορυκτά της αργίλου, ο χούμος και τα οξείδια και υδροξείδια του εδάφους παρουσιάζουν στις επιφάνειές τους αρνητικά ηλεκτρικά φορτία (μόνιμα ή μεταβλητά), τα οποία εξουδετερώνονται από κατιόντα που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα. Αυτά τα κατιόντα της στερεής φάσης, προκειμένου να τηρηθεί η χημική

ισορροπία μεταξύ τους, μπορούν να εναλλάσσονται με κατιόντα που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα και ονομάζονται ανταλλάξιμα κατιόντα ενώ το μέγεθος του αρνητικού φορτίου χαρακτηρίζει την εναλλακτική ικανότητα σε κατιόντα των εδαφών (C.E.C.-Cation Exchange Capacity) (Μουσουλιώτης, 2019).

### *1.3.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥΣ*

Ο όρος ρύπανση του περιβάλλοντος αναφέρεται στην απελευθέρωση στο περιβάλλον διαφόρων ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε τέτοιο βαθμό, ώστε είναι δυνατό να επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και στους ζωντανούς οργανισμούς καθιστώντας το περιβάλλον ακατάλληλο για κάθε επιθυμητή χρήση.

Διάφορες μορφές της ρύπανσης του περιβάλλοντος είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η θαλάσσια ρύπανση, η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, η ρύπανση των εδαφών και των ιζημάτων, η ηχορύπανση, η ρύπανση από ραδιενεργά απόβλητα.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται σε αέριους ρύπους. Πρόκειται για χημικές ουσίες που ρυπαίνουν τον αέρα με σημαντικότερο το διοξείδιο του άνθρακα (φαινόμενο του θερμοκηπίου) και τους χλωροφθοράνθρακες στην ατμόσφαιρα (όζον). Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη προσπάθεια περιορισμού των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα με συμφωνίες μεταξύ των κρατών. Το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και οι άλλοι αέριοι ρύποι, βρίσκονται στα καυσαέρια των αυτοκινήτων, των φορτηγών, των αεροπλάνων, καθώς και στα εργοστασιακά καυσαέρια. Η συσσώρευση των αέριων ρύπων στον αέρα μαζί με τη σκόνη που αιωρείται μετά από φωτοχημική αντίδραση, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του νέφους στον αέρα των πόλεων. Στην ατμόσφαιρα είναι δυνατό να απελευθερωθούν άμεσα στοιχεία που σχηματίζουν πτητικές ενώσεις ή βρίσκονται με μορφή αιωρούμενων σωματιδίων μέσω διαφόρων βιομηχανικών διεργασιών και της καύσης του άνθρακα.

Η ρύπανση του νερού επηρεάζει τα υπόγεια νερά, τα επιφανειακά νερά, τα νερά των ποταμών και των λιμνών, ενώ η ρύπανση της θάλασσας έχει σοβαρές συνέπειες για πολλά είδη. Τα απορρίμματα, τα χημικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.ά. (η ανθρώπινη δηλαδή



δραστηριότητα) ρυπαίνουν το νερό με αποτέλεσμα τη ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και την υποβάθμιση της ποιότητας του πόσιμου νερού. Στη συνέχεια μέσω της τροφικής αλυσίδας οι συνέπειες μεταφέρονται στους ζώντες οργανισμούς. Η ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων έχει επίπτωση στα αποθέματα γλυκού νερού εξαιτίας της περιορισμένης ικανότητας αυτοκαθαρισμού τους και συνδέεται με την ρύπανση του εδάφους (Ghosh & Singh, 2005).

Εκτός από τον αέρα και το νερό η ρύπανση επηρεάζει σημαντικά και το έδαφος. Το έδαφος, για να ανταποκριθεί επιτυχώς στις πολυάριθμες λειτουργίες του, είναι απαραίτητο να παραμένει σε καλή κατάσταση. Όμως, η αύξηση του πληθυσμού της γης και ο υπερβολικός καταναλωτισμός, οδήγησαν σε εντατικές καλλιέργειες των εδαφών, που έχουν σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση σε αυτά βλαπτικών ουσιών. Για να αυξηθεί η γεωργική παραγωγή χρησιμοποιούνται, κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, πολλά φυτοφάρμακα, παρασιτοκτόνα ή εντομοκτόνα που σκοτώνουν βέβαια τα έντομα ή τα παράσιτα, περνούν όμως στην τροφική αλυσίδα, μένουν και ρυπαίνουν το έδαφος και το υπόγειο νερό. Το ίδιο συμβαίνει και με την κτηνοτροφία γιατί έχει περιοριστεί πολύ η βόσκηση και οι ζωοτροφές κατασκευάζονται βιομηχανικά. Μερικοί από τους σημαντικότερους κινδύνους που απειλούν το έδαφος είναι η διάβρωση, η μείωση της οργανικής ύλης, η τοπική και διάχυτη ρύπανση, η συμπίεση, η μείωση της βιοποικιλότητας κ.ά.

Οι ουσίες που φτάνουν στο έδαφος είναι διαλυμένες στο νερό της βροχής ή μεταφέρονται με τη μορφή επικάθισης στερεών συστατικών (dry deposition) ή με την απόθεση αποβλήτων (Αλιφραγκής κ. ά., 2014). Το αποτέλεσμα είναι δυσλειτουργία του εδαφικού οικοσυστήματος και μείωση της ικανότητας του εδάφους να επιτελέσει κάποιες από τις βασικές λειτουργίες του καθώς και οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, οι οποίες εκτός από το κόστος αποκατάστασης, επηρεάζουν την αξία της γης και τη χρήση της (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

Ένας από τους σημαντικότερους ρύπους που απαντώνται στα εδάφη είναι τα βαρέα μέταλλα.

Βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα μέταλλα με ειδικό βάρος μεγαλύτερο από του σιδήρου (Fe) τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις καθίστανται τοξικά (Foy et al., 1978; Van

Assche, 1983). Πολλά από τα στοιχεία αυτά, όπως ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το μαγγάνιο (Mn) κ.ά., όταν οι συγκεντρώσεις τους κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα, είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Alloway, 1995). Τα βαρέα μέταλλα είναι μια μεγάλη κατηγορία μεταλλοειδών και μεταλλικών στοιχείων που παρουσιάζουν έντονο βιολογικό ενδιαφέρον (Singh et al., 2006). Τα σωματίδια των βαρέων μετάλλων συνήθως μπορούν και μετακινούνται μέσω του αέρα, προσροφημένα σε σωματιδιακή ύλη, συχνά πολλά χιλιόμετρα μακριά από τον αρχικό τόπο εκπομπής τους (Callender, 2003). Είναι τοξικά γιατί δεν αποικοδομούνται μέσω των φυσικών διεργασιών με αποτέλεσμα τη συσσώρευσή τους στο έδαφος, τα ύδατα και τους οργανισμούς.

Οι πηγές των βαρέων μετάλλων μπορεί να είναι φυσικές και ανθρωπογενείς.

Φυσικές πηγές βαρέων μετάλλων αποτελούν οι εκρήξεις ηφαιστειών, οι φυσικές πυρκαγιές, η φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων κ.ά. Αν και μπορούν να ρυπάνουν σημαντικά το περιβάλλον τελικά η επιβάρυνση που προκαλούν συγκριτικά με τις πηγές που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα είναι κατά κανόνα πολύ μικρότερη (Salomons & Forstner, 1984).

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που οδηγούν στην απελευθέρωση βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον είναι: τα ορυχεία, τα οποία μπορεί να επιβαρύνουν το περιβάλλον με βαρέα μέταλλα ακόμα και 15 χρόνια μετά από την παύση της λειτουργίας τους (Duruibe et al., 2007), οι βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η παραγωγή και η κατεργασία μετάλλων, τα διυλιστήρια, οι βιομηχανίες κατασκευής ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού υλικού, οι βιομηχανίες κατασκευής μπαταριών, οι βιομηχανίες χρωμάτων, γυαλιών και κεραμικών, οι τσιμεντοβιομηχανίες, τα καύσιμα από μεταφορές, η καύση αποβλήτων, τα ιατρικά απόβλητα, τα φυτοφάρμακα, τα ζιζανιοκτόνα κ.ά. Η συνεχής βιομηχανοποίηση του πλανήτη με τις ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες του πληθυσμού οδηγεί στην εκπομπή υψηλότερων συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων (Ευθυμίου, 2018). Πέρα από εργαστηριακές μετρήσεις, η διερεύνηση της ρύπανσης από μέταλλα μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση οργανισμών επειδή πολλοί από αυτούς συγκεντρώνουν βαρέα μέταλλα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται μικρόφυτα σαν δείκτες μόλυνσης γλυκού νερού, τα δίθυρα μαλάκια κ.α. (Κελεπερτζής, 2006).

### *1.3.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ*

Η ρύπανση των αστικών εδαφών αποτελεί ένα σύγχρονο περιβαλλοντικό πρόβλημα που οφείλεται στην υπερσυγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα και κατά συνέπεια στην αυξημένη ανθρωπογενή δραστηριότητα. Τα εδάφη στις αστικές περιοχές έχουν ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που οφείλονται στην παρέμβαση του ανθρώπου στο αστικό περιβάλλον και που έχουν να κάνουν με τη σύνθεση, τη δομή και την γεωχημεία τους. Έτσι, στα αστικά εδάφη, σε αντίθεση με τα φυσικά εδάφη, δεν υπάρχει η τυπική κατακόρυφη διαστρωμάτωση, αλλά δημιουργείται ένα επιφανειακό στρώμα το οποίο προέρχεται κυρίως από τις διάφορες οικοδομικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα ή από τις μεταφορές, την καύση ορυκτών καυσίμων και τη βιομηχανική δραστηριότητα.

Στην Ελλάδα ρυπασμένες ή επιβαρυμένες θεωρούνται περιοχές όπως η ευρύτερη περιοχή της Ελευσίνας, τα Άνω Λιόσια, το Λαύριο, τα Οινόφυτα, η Θεσσαλονίκη, η Χαλκιδική, ο Βόλος και η Καβάλα. Το κοινό γνώρισμα των παραπάνω περιοχών είναι η λειτουργία βιομηχανιών χωρίς την απαραίτητη περιβαλλοντική μέριμνα, η εκμετάλλευση ορυχείων χωρίς την ύπαρξη χώρων διάθεσης απορριμμάτων κ.ά. (Voutsas et al., 1996).

### *1.3.4 ΟΛΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ - ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ*

Παρά τις ιδιαίτερα χαμηλές τους συγκεντρώσεις, τα βαρέα μέταλλα έχουν πολύ μεγάλη σημασία για τη ζωή των οργανισμών, στους οποίους επιδρούν θετικά ή αρνητικά. Παρεμβαίνουν στις βιοχημικές τους λειτουργίες με ποικίλους τρόπους, συμμετέχουν στις μεταβολικές διαδικασίες και επηρεάζουν τη φυσιολογία των οργανισμών (Cotton & Wilkinson, 1980). Τα περισσότερα κρίνονται απαραίτητα για τη ζωή και μέχρι σήμερα αλλάζουν συνεχώς τα αποτελέσματα των ερευνών όσον αφορά στο βιοχημικό τους ρόλο.

Η βιολογική διαθεσιμότητα ή βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων αποτελεί την ποσότητα του μετάλλου που είναι διαθέσιμη να προσληφθεί από έναν οργανισμό από το περιβάλλον του (Λουκίδου, 2003). Η ικανότητα ή όχι ιονισμού ενός μετάλλου, ο αριθμός οξειδωσης με τον οποίο εμφανίζεται, η δυνατότητα ή όχι να σχηματίζει σύμπλοκα με οργανικές ενώσεις και η κινητικότητά του, εξαρτάται πρωτίστως από τη φύση του ιόντος, αλλά και από ορισμένες

ιδιότητες του εδάφους όπως το pH, το ποσοστό και είδος της οργανικής ουσίας του, τα ανθρακικά άλατα του εδάφους, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, τα ορυκτά της αργίλου κ.α. (Μήτσιος, 2004).

Τα βαρέα μέταλλα σε μεγάλες ποσότητες αποβαίνουν τοξικά για τους ζωντανούς οργανισμούς. Τοξικότητα μιας ουσίας είναι η ικανότητά της να επηρεάζει τις ζωτικές λειτουργίες ενός βιολογικού συστήματος ή ενός ζωντανού οργανισμού (Βαλαβανίδης και Βλαχογιάννη, 2008). Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους, το είδος του μετάλλου, την ύπαρξη και συνεργιστική δράση άλλων μετάλλων και το είδος του οργανισμού. Εξαρτάται επίσης και από την ικανότητά τους για βιοσυγκέντρωση (διαδικασία που οδηγεί σε υψηλότερη συγκέντρωση μιας ουσίας σε έναν οργανισμό σε σχέση με τη συγκέντρωσή της (της ουσίας) στο περιβάλλον στο οποίο διαβιεί ο οργανισμός), βιοσυσσώρευση (σταδιακή αύξηση της ποσότητας μιας ουσίας σε έναν οργανισμό ή σε ένα τμήμα του οργανισμού που προκύπτει όταν ο ρυθμός πρόσληψης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό απομάκρυνσης της ουσίας από το σώμα του οργανισμού) και βιομεγέθυνση (διαδικασία που οδηγεί σε υψηλότερη συγκέντρωση μιας ουσίας σε έναν οργανισμό σε σχέση με τη συγκέντρωση στην τροφή του).

Τα βαρέα μέταλλα διαφέρουν ως προς την τοξικότητά τους, ακόμα και μέσα στους ίδιους οργανισμούς. Στη συνέχεια δίνεται η σειρά τοξικότητας των βαρέων μετάλλων:

$Hg^{+2} > Cu^{+2} > Zn^{+2} > Ni^{+2} > Pb^{+2} > Cd^{+2} > As^{+3} > Cr^{+3} > Sn^{+2} > Fe^{+3} > Mn^{+2}$  (Παπαδημητρίου, 2005).

Τα βαρέα μέταλλα περιορίζουν τη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών με αποτέλεσμα να περιορίζεται ή να διακόπτεται η μεταφορά Na, K, Cl και οργανικών μορίων διαμέσου της μεμβράνης. Οι οργανομεταλλικές ενώσεις των βαρέων μετάλλων είναι λίγο ως πολύ τοξικές. Η συνεχής έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε βαρέα μέταλλα έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί βλάβες σε ζωτικές λειτουργίες και όργανα, όπως νεφρικές βλάβες, γενετικές αλλοιώσεις κυττάρων (μεταλλάξεις), τερατογενέσεις, νευρικές διαταραχές, καρκινογενέσεις, καθώς και επιβλαβείς επιδράσεις στην ορμονική και αναπαραγωγική διαδικασία. Επιπλέον έχουν καταγραφεί και θάνατοι μετά από παρατεταμένη έκθεση σε βαρέα μέταλλα (Σιδέρης, 2009).

Τα βαρέα μέταλλα βρίσκονται στο έδαφος με διάφορες μορφές. Με τη διαλυτή μορφή στο εδαφικό διάλυμα καθώς και στο νερό στράγγισης, συγκρατούνται στο έδαφος με διάφορες

μορφές και ιοντικές καταστάσεις, καταβυθίζονται με τη μορφή αδιάλυτων ενώσεων, προσλαμβάνονται από τα φυτά ή παραμένουν στην αέρια φάση του εδάφους με τη μορφή πτητικών ενώσεων κατά τη μετατροπή τους (Μήτσιος, 2004).

Τα βαρέα μέταλλα μεταφέρονται στην τροφή του ανθρώπου από το έδαφος, μέσω των φυτών και των ζώων. Διακινούνται στον οργανισμό με την κυκλοφορία του αίματος και εισέρχονται στα κύτταρα, είναι ιδιαίτερα τοξικά για τα ζώα και τον άνθρωπο και μπορεί να προκαλέσουν δηλητηριάσεις, πολλές φορές χρόνιες. Προκαλούν επίσης γενετικές ανωμαλίες, δρουν στο ανοσοποιητικό και ενδοκρινολογικό σύστημα και προσβάλλουν τα νευρικά κύτταρα. Οι δηλητηριάσεις από τοξικές ουσίες (μόλυβδο, χαλκό, υδράργυρο) μπορεί να προκαλέσουν νοητική καθυστέρηση, ψυχοπαθολογικές καταστάσεις που συνδέονται με οργανικές διαταραχές του εγκεφάλου και καρκινογενέσεις (Παπαδημητρίου, 2005).

#### *1.3.5 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ*

Στα επιφανειακά εδάφη της περιοχής μελέτης προσδιορίστηκε η συγκέντρωσή τους στα ακόλουθα βαρέα μέταλλα: χρώμιο (Cr), χαλκός (Cu), ψευδάργυρος (Zn), μόλυβδος (Pb), μαγγάνιο (Mn) και νικέλιο (Ni).

#### **Χρώμιο (Cr)**

Το χρώμιο είναι χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 24, ατομική μάζα 51,9 και σημείο τήξης 1857°C. Είναι μέταλλο χρώματος ασημί, σκληρό και εύθραυστο, ισχυρά αντιδιαβρωτικό και αντιοξειδωτικό. Στο φλοιό της γης αποτελεί συστατικό των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων και βρίσκεται σε αυτόν σε συγκεντρώσεις περίπου 92mg/kg (Rudnick & Gao, 2013). Το χρώμιο εμφανίζεται στο περιβάλλον με αριθμό οξείδωσης +3 και +6, με σταθερότερο το (Cr<sup>3+</sup>) και (Cr<sup>6+</sup>) το οποίο παρουσιάζει διαφορετικές χημικές ιδιότητες: το (Cr<sup>6+</sup>) υπάρχει ως ανιόν, με αποτέλεσμα να εκχυλίζεται με μεγαλύτερη ευκολία από τα μόρια εδάφους και τα ιζήματα και να θεωρείται ως η τοξικότερη μορφή Cr. Το τρισθενές χρώμιο Cr είναι αδιάλυτο στο νερό, και δεν παρουσιάζει κινητικότητα, επομένως η παρουσία του επιβαρύνει τα υπόγεια ύδατα, ενώ το εξασθενές χρώμιο Cr εξαιτίας της

διαλυτότητάς του στο νερό και της κινητικότητάς του, είναι τοξικό για τα ύδατα και τον άνθρωπο. Η συμπεριφορά του χρωμίου στα εδάφη εξαρτάται έντονα από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής. Όταν στα εδάφη επικρατεί αλκαλικό περιβάλλον ευνοείται η κινητικότητα του  $\text{Cr}^{6+}$ .

Η μεγαλύτερη ποσότητα Cr που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από την ανθρώπινη δραστηριότητα προέρχεται από μεταλλουργικές βιομηχανίες υπό μορφή μορίων. Σημαντικές επίσης πηγές ατμοσφαιρικού χρωμίου είναι η παραγωγή πυρίμαχου τούβλου, η καύση του άνθρακα και η παραγωγή χάλυβα και η χαλυβουργία, μια από τις μεγαλύτερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής Cr παγκοσμίως. Οι φυσικές πηγές του Cr στην ατμόσφαιρα είναι κυρίως η ηφαιστειακή δραστηριότητα και οι δασικές πυρκαγιές. Χρησιμοποιείται ως υλικό για την επένδυση φούρνων, καθώς και την παραγωγή πυρίμαχων τούβλων, στις μπαταρίες, στους καταλύτες για υδρογόνωση των λιπών, στα πετρελαιοειδή υλικά, στην παρασκευή χρωστικών ουσιών και συντηρητικών ξύλου (διχρωμικό νάτριο) (Μήτσιος, 2004).

Το χρώμιο είναι σημαντικό και απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο (Μανουσάκης, 1999). Η επικινδυνότητά του εξαρτάται από τον βαθμό οξείδωσης και συγκέντρωσής του. Σε μικρές συγκεντρώσεις, όπως όλα τα μέταλλα, είναι αναγκαίο στους έμβιους οργανισμούς (Zayed et al., 1998), ενώ η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες χρωμίου δημιουργεί βλάβες στο ήπαρ, τους νεφρούς, τους πνεύμονες, το πεπτικό σύστημα και το δέρμα, γενετικές ανωμαλίες και δερματικές παθήσεις, επηρεάζει το κυκλοφορικό σύστημα και προκαλεί γαστρεντερικά προβλήματα (World Health Organization, 1988).

### **Χαλκός (Cu)**

Ο χαλκός είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29, ατομικό βάρος 63,546, θερμοκρασία βρασμού  $2567^{\circ}\text{C}$ , και θερμοκρασία τήξης  $1084,6^{\circ}\text{C}$ . Έχει χρώμα κοκκινωπό, μεταλλική λάμψη, είναι όλκιμος και ελατός, με μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και μπορεί να βρεθεί είτε σε καθαρή μορφή είτε σε πολλές μορφές κραμάτων (μπρούντζος, ορείχαλκος, κ.ά.). Ο χαλκός είναι απαραίτητο στοιχείο για τη ζωή και βρίσκεται σε αφθονία στο στερεό φλοιό της γης, ανήκει στα στοιχεία μετάπτωσης, έχει δύο αριθμούς οξείδωσης (+1, +2) και η μέση συγκέντρωσή του στο στερεό φλοιό της γης είναι 50 mg/kg.

Η καύση των προϊόντων ξύλου, κάρβουνου, λαδιού, καυσίμων, οι εκπομπές καυσαερίων των διαφόρων εργοστασίων, η αποτέφρωση των αστικών αποβλήτων, καθώς και τα χυτήρια, επιβαρύνουν σημαντικά τα αστικά εδάφη (5 έως 10 φορές περισσότερο σε σύγκριση με τα αγροτικά εδάφη) (Παπαδημητρίου, 2005). Επιπρόσθετες πηγές ρύπανσης από χαλκό είναι η χρήση μυκητοκτόνων και η ιλύς του βιολογικού καθαρισμού. Ενώσεις του Cu χρησιμοποιούνται ως μυκητοκτόνα, εντομοκτόνα, συντηρητικά ξύλου, στο γαλβάνισμα, στη βιομηχανία βαφής, σε επιμεταλλώσεις, ηλεκτρικά καλώδια και κυκλώματα, σωληνώσεις ύδρευσης, στη χαρακτηριστική, στη λιθογραφία και στην πυροτεχνική, σε λιπάσματα, ζωοτροφές και φαρμακευτικά προϊόντα. Χρησιμοποιείται επίσης στην κατασκευή ηλεκτρικών καλωδίων, μαγειρικών σκευών, λυχνιών, σωλήνων, νομισμάτων, εξαρτημάτων, οικοδομικών υλικών, κραμάτων και πυρομαχικών. Σε εδάφη με  $pH > 5.5$  και οργανική ουσία 1-5% συνήθως ο χαλκός βρίσκεται με μορφή συμπλόκου (Θέος, 2010).

Ο χαλκός αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο, όμως η πρόσληψη του χαλκού σε μεγάλες ποσότητες εγκυμονεί προβλήματα όπως διαταραχές του κεντρικού νευρικού συστήματος, προβλήματα στο συκώτι και τους νεφρούς κ.ά. Υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού στα φυτά, μεταβάλλουν τη διαπερατότητα της κυτταρικής τους μεμβράνης και προκαλούν βλάβες στην ομαλή τους ανάπτυξη (Γαλανάκη, 2019). Την παρουσία του χαλκού ευνοεί το χαμηλό  $pH$  ( $< 6$ , όξινο περιβάλλον).

### **Ψευδάργυρος (Zn)**

Ο Ψευδάργυρος είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 30, ατομικό βάρος 65,38, θερμοκρασία βρασμού  $907^{\circ}\text{C}$  και θερμοκρασία τήξης  $419,58^{\circ}\text{C}$ . Η μέση συγκέντρωση του Zn στον ανώτερο φλοιό της γης σύμφωνα με τους Rudnick & Gao (2013) είναι 67 mg/kg και στα εδάφη σύμφωνα με την Kabata-Pendias (2011) 70 mg/kg.

Φυσικές πηγές του ψευδαργύρου αποτελούν η αποσάθρωση ορυκτών πλούσιων σε ψευδάργυρο, όπως του σφαιερίτη, διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών (βιοτίτης, αυγίτης) καθώς και δευτερογενών ορυκτών της αργίλου (Ιωάννου, 2001), ενώ ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης είναι η εξόρυξη των μεταλλευμάτων του, οι βιομηχανικές εφαρμογές του, όπως η παραγωγή αντιδιαβρωτικών επικαλυμμάτων για το ατσάλι και τον σίδηρο, η κατασκευή κραμάτων, μεταλλουργία, επιμεταλλώσεις (γαλβανισμός), τα

φαρμακευτικά προϊόντα, η παραγωγή χαρτιού, τα λιπάσματα. Ο ψευδάργυρος χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες και κυρίως προστατεύει από τη διάβρωση εξαρτήματα χάλυβα και άλλων μετάλλων. Είναι σημαντικό συστατικό διαφόρων κραμάτων και χρησιμοποιείται ως καταλύτης κατά τη διάρκεια ορισμένων χημικών παραγωγών (χρωστικές ουσίες, πλαστικά, λιπαντικά, λάστιχα και εντομοκτόνα).

Η προσρόφησή του αυξάνεται με την αύξηση του pH κι ενώ είναι απαραίτητο για τη ζωή ιχνοστοιχείο, σε υπερβολικές ποσότητες στο περιβάλλον είναι τοξικό. Επηρεάζει αρνητικά τα φυτά, με τη φωτοσύνθεση και την αναστολή λειτουργίας των χλωροπλαστών τους (Van Assche et al., 1980; Clijsters & Van Assche, 1985) και προκαλεί πονοκεφάλους, ναυτία και δερματίτιδες στον άνθρωπο (Solomons, 1980).

### **Μόλυβδος (Pb)**

Ο Μόλυβδος, με ατομικό αριθμό 82, ατομικό βάρος 207,2, ειδικό βάρος 11,3 και θερμοκρασία τήξης 327°C ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις είναι τοξικός. Το κυριότερο ορυκτό του είναι ο γαληνίτης ο οποίος αποτελείται από μόλυβδο και θείο. Η μέση συγκέντρωση του Pb στους επιφανειακούς ορίζοντες του εδάφους παγκοσμίως είναι 27mg/kg (Kabata-Pendias, 2011). Οι χαμηλότερες περιεκτικότητες Pb (μέχρι 40 mg/kg), απαντώνται στα ελαφρώς αμμώδη εδάφη, και οι υψηλότερες (έως και 90 mg/kg), σε βαριά αργιλώδη εδάφη. Ο Pb επειδή έχει χαμηλή διαλυτότητα και δεν αποικοδομείται με μικροβιακή δραστηριότητα παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη τάση συσσώρευσης στο έδαφος.

Έχει την τάση να συγκεντρώνεται σε ορυκτά τα οποία περιέχουν πυρίτιο και παρουσιάζει αυξημένη τάση να σχηματίζει σταθερές ενώσεις με το θείο, γι αυτό και βρίσκεται στα ορυκτά με δεσμούς με το θείο. Επίσης απαντάται στα ιζηματογενή πετρώματα, στα ορυκτά της αργίλου καθώς και στην οργανική ουσία.

Πηγή ρύπανσης αποτελεί και η ατμοσφαιρική απόθεση μολύβδου, όπως και οι γεωργικές δραστηριότητες και συγκεκριμένα η χρήση αρσενικού μολύβδου ως φυτοφάρμακο για ψεκασμό οπωροφόρων δέντρων κ.ά. Οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης από μόλυβδο είναι κυρίως οι βιομηχανικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες, τα αέρια απόβλητα



καύσης της βενζίνης, οι χρωστικές που έχουν ως βάση τους τον Pb, καθώς και η επένδυση ηλεκτρικών αγωγών, η κατασκευή σωλήνων φωταερίου, η κατασκευή παιχνιδιών, συσσωρευτών, τυπογραφικών στοιχείων, μπαταριών, η κεραμική και υαλουργία, η στίλβωση σκευών και πολλά λιπάσματα και εντομοκτόνα (Reddy et al., 2005). Χρησιμοποιείται ευρέως στην τεχνολογία και σε μεγάλες ποσότητες απορρόφησής του από το αίμα, μπορεί να επηρεάσει το νευρικό σύστημα και το συκώτι, να εμποδίσει τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης και να συσσωρευτεί στα κόκκαλα.

### **Μαγγάνιο (Mn)**

Το χημικό στοιχείο Μαγγάνιο έχει ατομικό αριθμό 25, ατομικό βάρος 54,938, σημείο τήξης 1245°C και θερμοκρασία βρασμού 1962°C. Αντιδρά με θερμό νερό, εκλύει υδρογόνο και καίγεται εύκολα στο αέρα. Η μέση περιεκτικότητά του Mn στα εδάφη υπολογίζεται σε 488mg/kg (Kabata-Pendias, 2011). Είναι μέλος της οικογένειας των μετάλλων και έχει στενή συσχέτιση με το σίδηρο (Fe) σε γεωχημικές διαδικασίες. Γι αυτό και ο κύκλος του Mn ακολουθεί στενά τον κύκλο του σιδήρου (Fe).

Το μαγγάνιο βρίσκεται στα φυτά και κυρίως στα δασικά είδη, ενώ η έλλειψή του προκαλεί κιτρίνισμα των φύλλων (χλώρωση). Χρησιμοποιείται στην υαλουργία και στην κεραμική, στα καύσιμα, σε διάφορα κράματα όπου παρέχει σκληρότητα και ανθεκτικότητα και ως αντιοξειδωτικό. Τα κράματά του χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροβιομηχανία.

Οι επιπτώσεις του στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ευαίσθησία στην αναπνευστική οδό και πνευμονία, βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στο πάγκρεας, στους νεφρούς και στο ήπαρ.

### **Νικέλιο (Ni)**

Το Νικέλιο με ατομικό αριθμό 28, ατομικό βάρος 58,71, ειδικό βάρος 8,9, θερμοκρασία τήξης 1453°C και θερμοκρασία βρασμού 2732°C είναι ελατό και όλκιμο και σε θερμοκρασίες δωματίου έχει ιδιότητες όμοιες με αυτές του χάλυβα, αντέχοντας σε μεγάλες πιέσεις. Η περιεκτικότητά σε Ni στα εδάφη από όλο τον κόσμο κυμαίνεται από

0,2 έως 450 mg/kg, με μέση τιμή 4 έως 92mg/kg (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Το νικέλιο εμφανίζει χαλκοφιλικό και σιδηροφιλικό χαρακτήρα και εύκολα συνδυάζεται με το μεταλλικό σίδηρο. Για αυτό το λόγο ενώσεις νικελίου-σιδήρου είναι κοινές στον φλοιό της γης και στους μετεωρίτες. Επίσης συγκεντρώνεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο κάρβουνο και στο πετρέλαιο. Το νικέλιο του εδάφους σχετίζεται ισχυρά με τα οξειδία μαγγανίου και σιδήρου.

Το Ni απαντάται σε οξειδία και θειούχα ορυκτά, αποσπώνεται εύκολα, μετακινείται και καθιζάνει με μορφή οξειδίων Fe και Mn (Ιωάννου, 2001). Κάποια είδη λυματολάσπης και φωσφορικά λιπάσματα μπορεί να είναι σημαντικές πηγές νικελίου για τα αγροτικά εδάφη. Φυσικές πηγές νικελίου είναι οι δασικές πυρκαγιές, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και η μεταφορά σκόνης από μια περιοχή σε άλλη (Iyaka, 2011). Αυξημένα επίπεδα νικελίου μπορεί να βρίσκονται στο νερό της βρύσης ως αποτέλεσμα της διάβρωσης κραμάτων που περιέχουν νικέλιο και χρησιμοποιούνται σε μερικά συστήματα διανομής. Ανθρωπογενείς δράσεις, όπως επιμεταλλώσεις, μεταλλουργία, βιομηχανίες και καύσεις, χρήση φωσφορικών λιπασμάτων και απόρριψη λυμάτων, απελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες νικελίου στο περιβάλλον (Iyaka, 2011), με κίνδυνο να προκαλέσουν τη ρύπανσή του.

Χρησιμοποιείται σε διάφορα κράματα που αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες και σε κάμψη και θλίψη και παρέχουν προστασία από την οξείδωση και τη διάβρωση, στην τεχνολογία τροφίμων, στην ιατρική, στις μπαταρίες για διάφορα εργαλεία και δοχεία που χρησιμοποιούνται στην ιατρική και στις βαφές σε κεραμικές και υαλικές κατασκευές.

Σε πολλούς ανθρώπους προκαλεί αλλεργίες, καρκίνο στον πνεύμονα, γενετικές ανωμαλίες και δερματοπάθειες, εισβάλλοντας στον ανθρώπινο οργανισμό με την εισπνοή, τη λήψη πόσιμου νερού, την κατανάλωση τροφίμων, την επαφή αντικειμένων με επίστρωση νικελίου με το ανθρώπινο δέρμα και του καπνίσματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκαν να μελετηθούν ως προς τη ρύπανση έξι βαρέα μέταλλα από τα επιφανειακά εδάφη των περιοχών των Οινοφύτων, του Σχηματαρίου, της Οινόης και του Αυλώνα. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως προς τη μελέτη της ρύπανσης εξαιτίας της παρουσίας της βιομηχανικής ζώνης της Περιφερειακής Ενότητας Βοιωτίας στην περιοχή (Εικόνα 2.1).

Τα Οινόφυτα είναι κωμόπολη του νομού Βοιωτίας και δημοτική κοινότητα του Δήμου Τανάγρας. Βρίσκονται νότια του νομού στην κοιλάδα του Ασωπού ποταμού και σε υψόμετρο 110 μέτρων. Ο πληθυσμός των Οινοφύτων είναι 2.927 κάτοικοι σύμφωνα με την Απογραφή του 2011.

Το Σχηματάρι είναι κωμόπολη του νομού Βοιωτίας και βρίσκεται στο ανατολικό της άκρο. Βρίσκεται σε υψόμετρο 150 μέτρων και ο πληθυσμός του είναι 4.035 κάτοικοι.

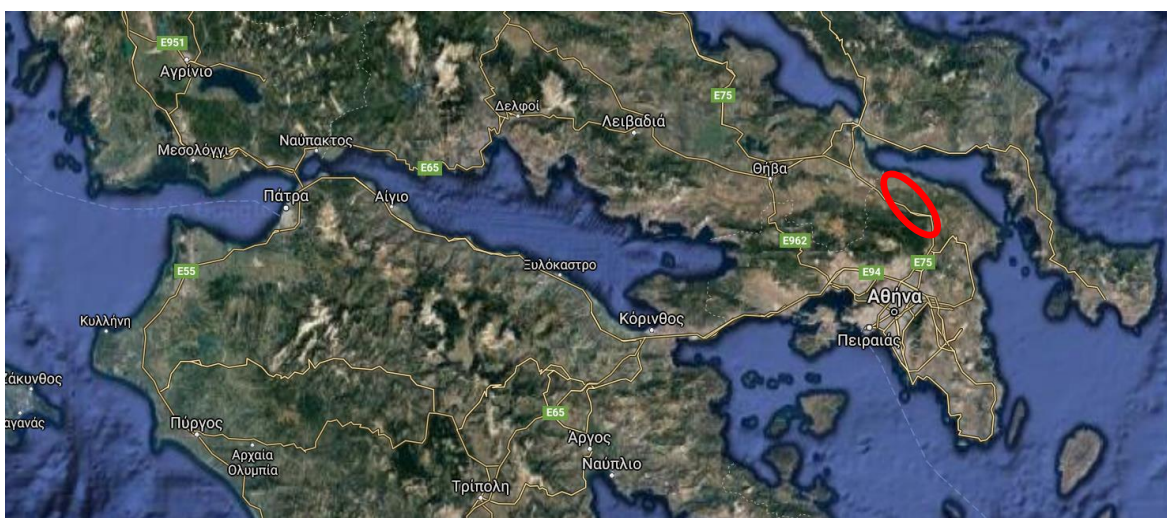
Η Οινόη είναι χωριό που ανήκει στο Δήμο Τανάγρας του Νομού Βοιωτίας. Βρίσκεται ανάμεσα στο Σχηματάρι και τα Οινόφυτα, στην περιοχή της βιομηχανικής ζώνης της νότιας Βοιωτίας. Ο πληθυσμός της ανέρχεται στους 442 κατοίκους σύμφωνα με την Απογραφή του 2011.

Ο Αυλώνας είναι κωμόπολη της βόρειας Αττικής κοντά στα σύνορα με την Βοιωτία. Είναι κτισμένος σε υψόμετρο 170 μέτρων αμφιθεατρικά στις βόρειες πλαγιές της Πάρνηθας και απέχει 50 χιλιόμετρα από την Αθήνα.

Η Βοιωτία είναι περιφερειακή ενότητα της Στερεάς Ελλάδας, με έκταση 2.954 τ.χλμ. και πληθυσμό 117.920 κατοίκους (2011). Πρόκειται για μια περιοχή πεδινή και αρκετά εύφορη με την ορεινή έκταση να καταλαμβάνει μικρό ποσοστό. Θεωρείται αγροτική περιοχή της Στερεάς Ελλάδας, όπου βάση της απογραφής 1999/2000 οι αγροτικές περιοχές της καλύπτουν το 54% και εν συνεχεία τα δάση - ημιφυσικές εκτάσεις καλύπτουν το 44% της Περιφερειακής Ενότητας. Η κτηνοτροφία είναι αρκετά ανεπτυγμένη στην ευρύτερη περιοχή της Βοιωτίας αλλά πολύ μεγάλο ποσοστό των κατοίκων ασχολείται με συμβατικές καλλιέργειες και καλλιέργειες θερμοκηπίου.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας ως προς τα επίπεδα της

ρύπανσης και των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον. Ιδιαίτερα έχει μελετηθεί ο Ασωπός ποταμός στον οποίο καταλήγουν πολλά από τα απόβλητα των βιομηχανιών της περιοχής. Τέτοιες εργασίες έχουν εκπονηθεί από τον Ζωγόπουλο Εμμανουήλ (2009) με θέμα τη ρύπανση του Ασωπού, από την Αντωνοπούλου Μαρία (2020) με θέμα τη ρύπανση στα εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας, από την Τζαναβάρη Ιωάννα (2019) με θέμα τη ρύπανση του Ασωπού, από την Στυλιανουδάκη Χριστίνα (2019) με θέμα τη ρύπανση υπόγειων υδάτων στην περιοχή του Ασωπού κ.ά.



**Εικόνα 2.1:** Ευρύτερη περιοχή μελέτης (Οινόφυτα, Σχηματάρι, Οινόη και Αυλώνα, googlemaps, προσωπική επεξεργασία)

## 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Βοιωτία κατοικείται από αρχαιοτάτων χρόνων αφού πρωτοελλαδικοί οικισμοί έχουν βρεθεί στις ανασκαφές της Εύτρησης και στις Λιθάρες κοντά στη Θήβα. Σε αυτό συνηγορούν ο μύθος του Ωγύγου, αλλά και αναφορές στη βοιωτική πόλη Γραία, που χαρακτηριζόταν η αρχαιότερη του κόσμου.

Τη Μυκηναϊκή περίοδο η Βοιωτία υπήρξε πυκνοκατοικημένη με πολύ σημαντικά ανακτορικά κέντρα. Κατά την περίοδο αυτή τα φύλα των Αχαιών, των Μινύων αλλά και των Καδμίων κατοίκησαν την περιοχή. Οι Μινύες υπήρξαν ιδιαίτερα δραστήριοι και πρωτοπόροι για την εποχή αυτή επιτυγχάνοντας την αποξήρανση της Κωπαΐδας, γεγονός που τους προσέδωσε πλούτο. Κέντρο τους υπήρξε η πόλη του Ορχομενού όπως επίσης σημαντικό κέντρο αυτής της περιόδου ήταν και η Θήβα.

Στη μετάβαση προς τη Γεωμετρική εποχή η Βοιωτία κατοικήθηκε από το φύλο των Βοιωτών που έδωσε και το όνομά του στην περιοχή. Οι Βοιωτοί κατέβηκαν από τη νότια Θεσσαλία μεταξύ 13<sup>ου</sup> και 12<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Εντούτοις, υπάρχει και μια ακόμη εκδοχή, κατά την οποία οι Βοιωτοί κατήλθαν από την περιοχή του όρους Βόιο της Μακεδονίας, από όπου προήλθε και το όνομα Βοιωτία. Αρχικά αποτέλεσαν μία χαλαρή ομοσπονδία πόλεων με κέντρο το ναό της Ιτωνίας στην Κορώνεια και αργότερα με κέντρο το ναό του Ποσειδώνα στην Ογχηστό. Κατά τον 5ο αιώνα π.Χ., η χαλαρή θρησκευτική ένωση μετατράπηκε σε ομοσπονδία με την ονομασία Κοινό των Βοιωτών. Κυρίαρχο ρόλο σ' αυτό διαδραμάτιζε η Θήβα.

Η ρύπανση του εδάφους χρονολογείται από πολύ παλιά, ξεκινά από τότε που ο άνθρωπος άρχισε να ασχολείται με την τήξη και την επεξεργασία των μεταλλευμάτων. Συγκεκριμένα θεωρείται ότι άρχισε στην εποχή του χαλκού (2500 π.Χ.). Ο Ernst (1998b) πραγματοποίησε μια αναλυτική και κριτική ανασκόπηση για τη ρύπανση από μέταλλα ξεκινώντας από την εποχή του χαλκού και φτάνοντας ως την Ρωμαϊκή εποχή. Σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιπέδων των ιχνοστοιχείων στο έδαφος (Κόκκορης, 2014).

### **2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Το κλίμα της Ελλάδας γενικά χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό, με ήπιους και υγρούς χειμώνες και με ξηρά, θερμά καλοκαίρια. Χαρακτηριστική είναι η έντονη ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Το κλίμα της Βοιωτίας θεωρείται ηπειρωτικό με κρύους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια. Η μέση θερμοκρασία είναι 16-18°C και το μέσο ύψος βροχής 500-600 χλστ. Ανάλογα με το υψόμετρο και την τοπογραφική ποικιλομορφία κάθε περιοχής διαφοροποιείται και το κλίμα. Πιο συγκεκριμένα, στο Νομό Βοιωτίας, οι πεδινές περιοχές παρουσιάζουν πιο ήπιο χειμώνα με έντονες βροχοπτώσεις, ενώ το καλοκαίρι επικρατούν πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες με αυξημένα ποσοστά υγρασίας. Η μέση θερμοκρασία της περιοχής κυμαίνεται σε 16-18°C και το μέσο ύψος βροχής από 500 έως 600 χλστ. Αντίθετα στις ορεινές περιοχές, παρατηρείται πιο ψυχρός χειμώνας με πιο δροσερό καλοκαίρι.

## 2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Βοιωτία είναι κυρίως πεδινή περιοχή, με το 40% του εδάφους της να αποτελεί πεδινές εκτάσεις, το 38% ημιορεινές και μόλις το 22% ορεινούς όγκους. Οι μεγαλύτερες πεδιάδες του νομού είναι αυτές της Θήβας, της Χαϊρώνειας και της Κωπαΐδας. Τις πεδιάδες αυτές διασχίζουν μικροί ποταμοί και χείμαρροι, κάποιοι από τους οποίους είναι ο Ασωπός, ο οποίος πηγάζει από τον Κιθαιρώνα και χύνεται στον Ευβοϊκό κόλπο, ο Βοιωτικός Κηφισός, που χύνεται στην λίμνη Υλίκη και ο Λιβαδόστρατος, που χύνεται στον Κορινθιακό κόλπο. Μικρότερα ποτάμια είναι ο Μόρνος και ο Μέλας, οι οποίοι είναι παραπόταμοι του Κηφισού.

Στην Περιφερειακή Ενότητα της Βοιωτίας ανήκουν δυο λίμνες, η Υλίκη και η Παραλίμνη, από τις οποίες γίνεται η τροφοδότηση της λίμνης του Μαραθώνα. Κάποια μεγάλα βουνά του νομού είναι ο Ελικώνας, με ψηλότερη κορυφή την Παλιοβούνα ύψους 1.748μ., ο Κιθαιρώνας, με ύψος 1.409μ., ο Παρνασσός, με 2.457μ. ύψος, το Νεραϊδολάκκωμα, με ύψος 1.678μ. και το Μεσσάπιο όρος, ύψους 1.021μ.

Οι ακτές του Κορινθιακού κόλπου έχουν αρκετά μεγάλο διαμελισμό και έτσι σχηματίζονται τα ακρωτήρια Αγιά, Μαύρος Κάβος και Μούντα. Επίσης στην περιφερειακή ενότητα Βοιωτίας ανήκουν αρκετές ακατοίκητες νησίδες όπως η Άμπελος, το Δασκαλιό, το Τσαρούχι, το Αλατονήσι, η Μακρόνησος, και οι Αλκυονίδες Νήσοι.

## 2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι περιοχές Αυλώνας - Σχηματάρι – Οινόη - Οινόφυτα ανήκουν από γεωτεκτονική άποψη στην υποπελαγονική ζώνη. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται κυρίως από μεγάλες οφιολιθικές μάζες οι οποίες συνοδεύονται από τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση.

Η περιοχή αποτελείται από δύο σχηματισμούς. Τους αλπικούς στο υπόβαθρο και τους νεώτερους, μετααλπικούς που πληρώνουν τη λεκάνη.

Οι σχηματισμοί του υποβάθρου συνίστανται κυρίως από ιζηματογενή και εκρηξιγενή πετρώματα, όπως ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, οφιόλιθους, σχιστόλιθους κ.ά. Οι οφιόλιθοι αποτελούνται κυρίως από σερπεντινωμένους περιδοτίτες και σε μικρότερο ποσοστό από διαβάσες, διορίτες και ανδεσίτες. Οι σχηματισμοί του

υποβάθρου απαντώνται επιφανειακά στα περιθώρια κυρίως της λεκάνης (Γκούσης και Κονισπολιάτης, 2005).

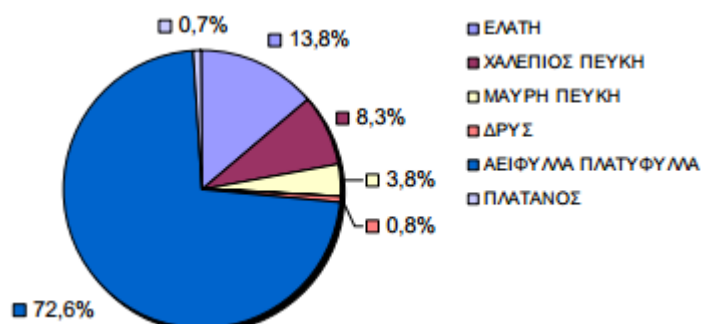
Οι νεώτεροι σχηματισμοί συνίστανται από:

α) Πλειοκαινικά και πλειστοκαινικά ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργίλους, μάργες, μαργαικούς ασβεστόλιθους και κοκκινοπηλούς, όπου τα κατώτερα στρώματα είναι λιμναίας και υφάλμυρης φάσης ενώ τα ανώτερα είναι αποθέσεις χειμαρροποτάμων.

β) Αλλουβιακές αποθέσεις, όπως εναλλασσόμενα χαλίκια, άμμους, αργίλους και πηλούς (Γκούσης και Κονισπολιάτης, 2005).

## 2.6 ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ

Η Βοιωτία αποτελεί την περιφερειακή ενότητα με το μικρότερο ποσοστό δασικής βλάστησης σε όλη την περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Απογραφής Δασών που πραγματοποίησε η Δασική Υπηρεσία το 1992, η περιφερειακή ενότητα Βοιωτίας καλύπτει μία έκταση 133.228 εκταρίων, ποσοστό 9% από τη συνολική 991.527 εκταρίων της περιφέρειας. Τα αείφυλλα πλατύφυλλα καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση της Βοιωτίας με 96.786 εκτάρια. Επίσης μεγάλο ποσοστό έκτασης καλύπτεται από Ελάτη, Χαλέπιο πεύκη και Μαύρη πεύκη με 18.350, 11.095 και 5.035 εκτάρια αντίστοιχα (Εικόνα 2.2). Ένα μικρότερο ποσοστό δασικής βλάστησης αποτελείται από Δρυς και Πλατάνια, με 1.024 και 938 εκτάρια αντίστοιχα.



**Εικόνα 2.2:** Η δασική βλάστηση της Βοιωτίας σε ποσοστό % (πηγή: wikipedia, 2021)

Η πανίδα της ευρύτερης περιοχής της Βοιωτίας αποτελείται από κοινά θηλαστικά για τον Ελλαδικό χώρο όπως για παράδειγμα λαγούς, ασβούς, αλεπούδες σκίουρους και σκαντζόχοιρους. Όσον αφορά στην ορνιθοπανίδα πρόκειται για έναν αξιόλογο αριθμό και με μεγάλη ποικιλία προστατευόμενων ειδών και όχι μόνο. Σημαντικός θεωρείται και ο αριθμός από είδη ερπετών και αμφιβίων, καθώς απαντώνται διάφορα είδη από χελώνες, φίδια, σαύρες αλλά και βατράχια. Ακόμη έχει καταγραφεί πληθώρα σημαντικών ειδών από ασπόνδυλα στην περιοχή.

## **2.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **Βιομηχανική δραστηριότητα**

Το ιστορικό της ρύπανσης στην περιοχή μελέτης ξεκίνησε από το 1969 με την έκδοση ενός προεδρικού διατάγματος, το οποίο επέτρεπε την εγκατάσταση βιομηχανιών στην περιοχή των Οινόφυτων και την ευρύτερη περιοχή, χωρίς να θέτονται όροι για τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργούσαν. Δέκα χρόνια αργότερα, το 1979 με την διανομαρχιακή απόφαση υπ' αριθμ. 19640/14-11-79, και με εφαρμογή της Ε1β/221/65 Υγ. διάταξης επιτρεπόταν η ρίψη αποβλήτων από τις βιομηχανίες στον ποταμό Ασωπό, με την προϋπόθεση ότι πρώτα θα γινόταν έλεγχος για τις ποσότητες χρωμίου που περιείχονταν σε αυτά.

Οι περιοχές Οινόφυτα, Σχηματάρι και Τανάγρα χαρακτηρίζονται από τη μεγαλύτερη βιομηχανική συγκέντρωση στην περιφέρεια της Στερεάς Ελλάδας και την τρίτη μεγαλύτερη στην Ελλάδα, μετά το Θριάσιο Πεδίο και τη Θεσσαλονίκη. Πρόκειται για μια έκταση 15.000 στρ. που συνορεύει με το νομό Αττικής κατά μήκος του οδικού άξονα ΠΑΘΕ/Ε-75 και της σιδηροδρομικής γραμμής Αθήνας – Θεσσαλονίκης - Ειδομένης.

Πρόκειται για μια βιομηχανική περιοχή που αποτελεί δορυφορική ανάπτυξη του βιομηχανικού συγκροτήματος της Αθήνας. Η δημιουργία της βιομηχανικής αυτής περιοχής οφείλεται στο γεγονός ότι σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 84/1984 απαγορεύτηκε η ίδρυση νέων βιομηχανιών αλλά και ο εκσυγχρονισμός υφιστάμενων βιομηχανιών στην Αττική. Το Προεδρικό αυτό διάταγμα έδινε κίνητρα σε όσες βιομηχανίες χωροθετούνταν σε απόσταση τουλάχιστον 60 χλμ. από την Αθήνα. Η βιομηχανική συγκέντρωση που δημιουργήθηκε στα Οινόφυτα και την ευρύτερη περιοχή βρίσκεται ακριβώς πάνω στο



όριο το οποίο ορίστηκε από τους τότε αναπτυξιακούς νόμους. Το ίδιο συνέβη και με αντίστοιχες συγκεντρώσεις προς την Κόρινθο και στις γύρω περιοχές της Θεσσαλονίκης.

Σήμερα πάνω από 1000 βιομηχανίες δραστηριοποιούνται στην ευρύτερη περιοχή, συγκεκριμένα στα μητρώα της Πυροσβεστικής υπηρεσίας είναι εγγεγραμμένες 1.080 βιομηχανίες και βιοτεχνίες από τις οποίες 286 από αυτές βρίσκονται στα Οινόφυτα (Ζωγόπουλος, 2009).

Πιο αναλυτικά, στην ευρύτερη περιοχή δραστηριοποιούνται μεταλλουργεία, βιομηχανίες επεξεργασίας αλουμίνιου, παραγωγής ασφάλτου και παράγωγων προϊόντων, βαφεία, βυρσοδεψία και βιομηχανίες παραγωγής και μεταποίησης τροφίμων. Επιπλέον η βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής συμπεριλαμβάνει την κατασκευή σκυροδέματος, πλαστικών, τη συντήρηση και συσκευασία αγροτικών προϊόντων, την κατασκευή επίπλων, την κλωστοϋφαντουργία καθώς και μηχανουργεία, μαρμαράδικα κ.ά.

Η λειτουργία των βιομηχανιών αλουμινίου ευθύνεται για την υποβάθμιση σε μεγάλο βαθμό τόσο στο χερσαίο οικοσύστημα της ευρύτερης περιοχής όσο και στο θαλάσσιο, λόγω των εκπομπών αερίων και υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον.

Το Πανεπιστήμιο Πατρών και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ήδη από το 1980 πραγματοποιούν μετρήσεις και αναφέρουν πως το μεγαλύτερο πρόβλημα στην ευρύτερη περιοχή είναι η απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων ερυθράς ιλύος χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια επεξεργασία. Το ύψος παραγωγής αλουμίνας είναι αυτό που καθορίζει και τις ποσότητες ερυθράς ιλύος που παράγονται και υπολογίζεται ότι κυμαίνονται περίπου σε 600.000 τόνους κάθε χρόνο.

### **Γεωργική δραστηριότητα**

Εκτός από την πολύ έντονη βιομηχανοποίηση που επικρατεί σήμερα στην περιοχή, παρατηρείται και έντονη γεωργική δραστηριότητα. Αυτή εκτιμάται ως μια σημαντική πηγή ρύπανσης του εδάφους, των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων στην ευρύτερη περιοχή αφού μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων χρησιμοποιούνται σε διάφορες καλλιέργειες.

Είναι γνωστό ότι τα φυτοφάρμακα και τα κατάλοιπά τους είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και όλους τους έμβιους οργανισμούς και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές διαταραχές στα φυσικά οικοσυστήματα. Η αυξημένη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων σε καλλιέργειες συχνά υπερβαίνει τις ανάγκες που έχουν τα φυτά και δημιουργεί περίσσεια αυτών στο έδαφος. Τα φυτοφάρμακα στη συνέχεια εκπλύνονται από τη βροχή και τα αρδευτικά νερά, προς τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και τους επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες. Από τα φορτία των λιπασμάτων, ένα ποσοστό περίπου της τάξης του 30% μόλις, καταλήγει στους καρπούς των φυτών και στα φυτικά κατάλοιπα με τη συγκομιδή. Επομένως, το υπόλοιπο ποσοστό παραμένει στο έδαφος ή απομακρύνεται με τη βοήθεια του νερού. Στη διαδικασία αυτή παίζει ρόλο η φύση του εδάφους και το είδος του στοιχείου (κάλιο, άζωτο κ.ά.) (ΚΕ.Π.Α.ΜΕ., 1997).

### **Κτηνοτροφία**

Οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής αφορούν στην εκτροφή, βοοειδών, αιγοπροβάτων, χοίρων, κουνελιών, ιπποειδών και ορνιθοειδών. Από τις δραστηριότητες αυτές πιο ρυπογόνες θεωρούνται η εκτροφή βοοειδών και χοίρων, εξαιτίας της υγρής φύσης των αποβλήτων που παράγουν καθώς η απόρριψή τους, χωρίς να έχει προηγηθεί κάποιου είδους επεξεργασία, τροφοδοτεί με σημαντικό ρυπαντικό φορτίο τους υδατικούς και εδαφικούς αποδέκτες της περιοχής.

Η σύσταση των υγρών αποβλήτων που προέρχονται από κτηνοτροφικές δραστηριότητες δε διαφέρει ποιοτικά από αυτή των αστικών αποβλήτων. Χαρακτηριστικό τους είναι όμως το πολύ υψηλό φορτίο που έχουν παρά τον μικρό τους όγκο.

Τα απόβλητα που παράγονται από τα ορνιθοτροφεία, κατά κύριο λόγο είναι στερεά, (εκτός από τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τον καθαρισμό των εγκαταστάσεων που είναι πολύ μικρές ποσότητες) χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό και ανόργανο φορτίο με αποτέλεσμα, εφόσον απορριφθούν στο φυσικό περιβάλλον χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια επεξεργασία, να υποβαθμίζουν την οικολογική και χημική κατάσταση της περιοχής μελέτης (Νίκα, 2014).

## Εξορυκτική δραστηριότητα

Αρκετά αναπτυγμένη είναι και η εξορυκτική βιομηχανία στην περιοχή. Στην περιφερειακή ενότητα και κυρίως στο Στείρι και στο Δίστομο υπάρχουν ίσως τα σημαντικότερα κοιτάσματα βωξίτη όλης της χώρας. Αξίζει να σημειωθεί πως τα μεγαλύτερα κοιτάσματα της Ευρώπης είναι αυτά που βρίσκονται στην Ελλάδα. Μάλιστα στο χωριό Στείρι υπάρχει το μοναδικό εργοστάσιο της Ελλάδας που παράγει αλουμίνιο και αλουμίνα. Εκτός από το βωξίτη, η εξορυκτική δραστηριότητα αφορά και σε αδρανή υλικά, μάρμαρα και γύψο.

Η εξόρυξη βωξίτη στην περιοχή μελέτης γίνεται με δυο τρόπους, είτε επιφανειακά είτε υπόγεια ή και συνδυαστικά. Εκτός από τα θετικά που έχει στην βιομηχανική ανάπτυξη και γενικότερα στην οικονομία της χώρας επιφέρει και αρνητικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον.

Πιο αναλυτικά, οι κυριότερες επιπτώσεις της εξορυκτικής δραστηριότητας βωξίτη και ιδιαίτερα των επιφανειακών εκμεταλλεύσεων στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης, είναι οι ακόλουθες:

α) Μεταβολές στα γεωλογικά - υδρογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται στις τεχνητές κοιλότητες που δημιουργούνται, στις εξάρσεις από την εναπόθεση 'στείρων' υλικών αλλά και από τη διάνοιξη πυκνού οδικού δικτύου προσπέλασης. Οι διαδικασίες αυτές διαταράσσουν τη μορφολογία του ανάγλυφου και επιφέρουν αλλαγές στο καθεστώς διάβρωσης - απόθεσης του εδάφους. Επίσης προκαλούν διασπάσεις, συμπίεσεις, μετατοπίσεις ή και υπερκαλύψεις του επιφανειακού στρώματος του εδάφους και των γεωλογικών σχηματισμών (Βαβίζος και Μερτζάνης, 2003).

β) Μεταβολές στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Η εξορυκτική δραστηριότητα έχει οδηγήσει στη διαφοροποίηση της πορείας των νερών ή της κατεύθυνσης της κίνησής τους, της ποιότητας και ποσότητάς τους, καθώς και στις αλλαγές του ρυθμού απορρόφησης των επιφανειακών υδάτων και των οδών αποστράγγισης ή του ρυθμού και της ποσότητας έκπλυσης του εδάφους (Καμινάρη κ.ά., 1989).

γ) Αλλοίωση του τοπίου, λόγω της διαφοροποίησης στη φυσιογνωμία του ανάγλυφου και τις αλλαγές, από την καταστροφή των φυσικών στοιχείων του (βλάστηση, έδαφος,

βραχώδεις σχηματισμοί). Η καταστροφή που γίνεται στα φυσικά στοιχεία, έχει ως αποτέλεσμα να χάνονται τα οπτικά χαρακτηριστικά του φυσικού τοπίου, όπως για παράδειγμα οι γραμμές, η υφή και το χρώμα. Επίσης, η ανθρωπογενής παρέμβαση οδηγεί στη δημιουργία νέων ανθρωπογενών οπτικών χαρακτήρων, όπως γεωμετρικές γραμμές και σχήματα, διαφοροποιημένη υφή και μεγέθη που κυριαρχούν στο τοπίο, (Μπρόφας, 1987).

δ) Μεταβολές στην ποιότητα του αέρα. Οι εκρήξεις, οι εκσκαφές και οι διατρήσεις κατά τη διαδικασία εξόρυξης του βωξίτη, η εκπομπή καυσαερίων από τα βαρέα οχήματα διακίνησης του μεταλλεύματος καθώς και των «στείρων» υλικών αλλά και η δημιουργία σκόνης δημιουργούν έντονα προβλήματα στην υγεία των εργαζομένων που εκτίθενται συστηματικά σε αυτά, αλλά και στους κατοίκους των γύρω περιοχών (Crounse et al., 1983).

ε) Μεταβολές στο μικροκλίμα. Το μικροκλίμα επηρεάζεται εξαιτίας των ακάλυπτων επιφανειών των μετώπων εξόρυξης και των αποθέσεων των στείρων υλικών τα οποία λειτουργούν ως συλλέκτες θερμότητας, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας κυρίως το καλοκαίρι (Μπρόφας, 1989).

στ) Πρόκληση θορύβου και δονήσεων από τις εκρήξεις και την εξορυκτική διαδικασία από όπου παράγεται θόρυβος.

ζ) Μεταβολές στη χλωρίδα και στην πανίδα. Πολύ σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η συρρίκνωση των δασικών εκτάσεων και βοσκοτόπων, εξαιτίας της δημιουργίας διαδοχικών κενών βλάστησης από τις εκσκαφές και την εναπόθεση των 'στείρων' υλικών (Αδαμακόπουλος κ.ά., 1988).

Το εργοστάσιο της «Αλουμίνιον της Ελλάδας» επεξεργάζεται τεράστιες ποσότητες βωξίτη καθημερινά. Οι τεράστιες ποσότητες κόκκινης λάσπης που παράγονται από το εργοστάσιο, εδώ και πολλές δεκαετίες απορρίπτονται στον Ασωπό, με αποτέλεσμα να καλύπτεται ο πυθμένας με ένα στρώμα από το υλικό αυτό, που έχει μέγιστο πάχος περίπου 30cm (Πανελλήνιο Κέντρο Οικολογικών Ερευνών, 2007).

### **Βυρσοδειψικό Πάρκο**

Τα βυρσοδεψεία επεξεργάζονται τα δέρματα, ένα παραπροϊόν των σφαγίων και παράγουν ένα προϊόν που αποτελεί την πρώτη ύλη για μεταποιητικές επιχειρήσεις (δερμάτινα ρούχα, τσάντες κ.ά.).

Τα βυρσοδεψεία της Αθήνας, απομακρύνθηκαν από την περιοχή του Ελαιώνα, σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 1049Δ/1995 και εγκαταστάθηκαν στη Βοιωτία και στα περίχωρα του Ασπρόπυργου. Η βυρσοδεψία αποτελεί μια ρυπογόνο βιομηχανική δραστηριότητα, με σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα απόβλητα των βυρσοδεψείων φέρουν μεγάλο φορτίο μικροβίων και είναι πολύ δύσσομα. Περιέχουν εκτός από αίμα, τρίχες, λίπη και ποσότητες χημικών ουσιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία και βαφή των δερμάτων. Σχεδόν όλα τα βυρσοδεψεία χρησιμοποιούν άλατα τρισθενούς χρωμίου για τις δεψικές τους διεργασίες, αλλά και χημικά όπως, οργανικούς διαλύτες, βιοκτόνα κ.ά. Το χρώμιο που απορρίπτεται μαζί με τα απόβλητα βρίσκεται σε μεγάλες σχετικά ποσότητες και θεωρείται τοξικό απόβλητο (Οικονόμου, 2011).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Στα εδαφικά δείγματα που ελήφθησαν από την περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε μια σειρά από κοκκομετρικές και γεωχημικές αναλύσεις. Προσδιορίστηκαν τα συχνότερα απαντώμενα σε αστικά και βιομηχανικά εδάφη βαρέα μέταλλα και προσδιορίστηκε ο οργανικός άνθρακας και το pH.

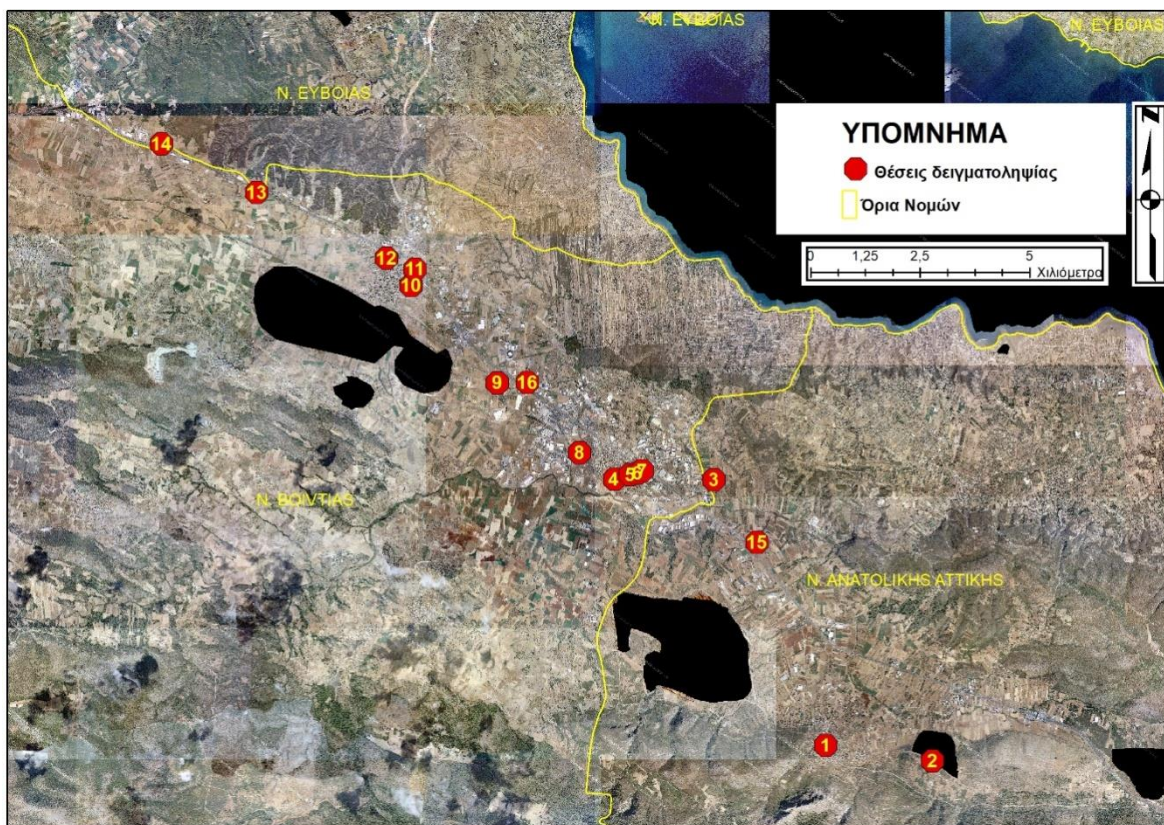
### **3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ**

Από την ευρύτερη περιοχή Σχηματαρίου – Οινόης - Οινοφύτων και Αυλώνα συλλέχθηκαν συνολικά δεκαέξι (16) αντιπροσωπευτικά σύνθετα επιφανειακά δείγματα εδάφους κυρίως από γεωργικές εκτάσεις και αλσύλια κοντά σε βιομηχανικές περιοχές καθώς και στα παραπάνω αστικά κέντρα το Σεπτέμβριο του 2020.

Συγκεκριμένα συλλέχθηκαν 5 δείγματα από το Σχηματάρι, 2 δείγματα από την Οινόη, 6 δείγματα από τα Οινόφυτα, 2 δείγματα από την περιοχή του Αυλώνα και τέλος 1 δείγμα ανάμεσα από τις περιοχές Οινόφυτα-Σχηματάρι. Τα δείγματα συλλέχθηκαν από βάθος εδάφους 0 έως 10 cm και οι θέσεις δειγματοληψίας απεικονίζονται στην Εικόνα 3.1.

Σε κάθε μια από τις θέσεις δειγματοληψίας επιλέχθηκε μια επιφάνεια με εμβαδόν 1x1m<sup>2</sup> (Εικόνα 3.2), απομακρύνθηκαν τα φυτά και τα φύλλα και κατόπιν ελήφθησαν και αναμίχθηκαν τέσσερα υποδείγματα από τις τέσσερις γωνίες και ένα υποδείγμα από το κέντρο της περιοχής αυτής.

Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν στις ήδη αριθμημένες πλαστικές σακούλες οι οποίες με πολλή προσοχή σφραγίστηκαν, έτσι ώστε τα δείγματα να μεταφερθούν αναλλοίωτα στο εργαστήριο εδαφολογίας στο Καρπενήσι.



**Εικόνα 3.1:** Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών εδαφών στην περιοχή Αυλώνα-Οινοφύτων-Οινόης-Σχηματαρίου



**Εικόνα 3.2:** Επιφάνεια δειγματοληψίας

### 3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Τα δείγματα εδάφους αφού μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, τοποθετήθηκαν πάνω σε διηθητικό χαρτί και αεροξηράθηκαν, αφού παρέμειναν σε χώρο πολύ καλά αεριζόμενο για αρκετές ημέρες. Μετά την αεροξήρανση τα δείγματα κοσκινίστηκαν με κόσκινο διαμέτρου 2mm, έτσι ώστε να ληφθεί η λεπτή γη. Τέλος, μια ποσότητα κοσκινισμένου εδάφους από κάθε δείγμα λειοτριβήθηκε σε πορσελάνινο γουδί και αποθηκεύτηκε μέχρι να γίνει η ανάλυση του.

#### 3.3.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης στα δείγματα εδάφους έγινε με τη μέθοδο του υδρομέτρου (Βουγουκος, 1927, 1951, 1962). Αρχικά ζυγίστηκαν 52,5 γραμμάρια αεροξηραμένου εδάφους και μεταφέρθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 600 ml. Στη συνέχεια προστέθηκαν 40ml μεταφωσφορικού νατρίου και 150ml απιονισμένο νερό. Το αιώρημα παρέμεινε σε ηρεμία για 24 ώρες έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί χημικά ο διαμερισμός της αργίλου από το μεταφωσφορικό νάτριο. Μετά τις 24 ώρες το περιεχόμενο του ποτηριού ζέσεως μεταφέρθηκε με τη βοήθεια υδροβολέα στο κύπελλο του ανακινητή και προστέθηκαν ακόμη 400 ml απιονισμένο νερό. Το μίγμα αναδεύτηκε στο μίξερ για 10 λεπτά προκειμένου να γίνει ο μηχανικός διαμερισμός της αργίλου. Μετά την ανακίνηση το περιεχόμενο του κυπέλλου μεταφέρθηκε σε γυάλινους κυλίνδρους Βουγουκος και προστέθηκε νερό μέχρι την κάτω χαραγή του κυλίνδρου, ενώ το πυκνόμετρο ήταν μέσα στο αιώρημα. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο του κυλίνδρου ανακινήθηκε για 5 με 6 φορές, με τη χρήση ράβδου ανακίνησης. Αφού αφαιρέθηκε η ράβδος ανακίνησης από το αιώρημα, τοποθετήθηκε στον κύλινδρο το πυκνόμετρο και το θερμόμετρο και ξεκίνησε η χρονομέτρηση. Στα 40 δευτερόλεπτα ακριβώς μετά το τέλος της ανακίνησης, πραγματοποιήθηκε η πρώτη ανάγνωση του πυκνομέτρου και μετρήθηκε η θερμοκρασία του αιωρήματος. Μετά από 2 ώρες έγιναν ξανά οι ίδιες μετρήσεις χωρίς όμως να αναδευτεί το αιώρημα. Τέλος, οι αναγνώσεις του πυκνομέτρου διορθώθηκαν σύμφωνα με ειδικούς πίνακες αφού το πυκνόμετρο είναι ρυθμισμένο έτσι ώστε οι ενδείξεις να ανάγονται στους 19°C (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

Τα ποσοστά περιεκτικότητας του εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο υπολογίστηκαν από τις



ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Άργιλος \%} = B / \Gamma * 100$$

$$\text{Ιλύς \%} = (A - B) / \Gamma * 100$$

$$\text{Άμμος \%} = (1 - A / \Gamma) * 100$$

όπου:

A: Είναι η πρώτη διορθωμένη ανάγνωση του πυκνομέτρου στα 40 δευτερόλεπτα.

B: Είναι η δεύτερη διορθωμένη ανάγνωση του πυκνομέτρου στις 2 ώρες.

Γ: Είναι το βάρος του εδάφους (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

### 3.3.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για τη γεωχημική ανάλυση χρησιμοποιούνται μέθοδοι που συμπεριλαμβάνουν το συστηματικό προσδιορισμό ενός ή περισσότερων χημικών στοιχείων ή συστατικών. Οι μετρήσεις γίνονται σε διάφορα υλικά της φύσης, σε πετρώματα, εδάφη, ποτάμια ιζήματα, ύδατα, βλάστηση, αποθέσεις παγετώνων και στον αέρα. Το είδος της μεθόδου που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από τη γεωχημική ιδιότητα του στοιχείου που αναζητείται, τη διαθεσιμότητα υλικού για δειγματοληψία, τις κλιματολογικές συνθήκες, τις συνθήκες αλλοίωσης και διάφορα χαρακτηριστικά διασποράς στοιχείων στην περιοχή έρευνας, όπως σε περιοχές με χαμηλό ανάγλυφο, παχιά ιζήματα και λίγα ύδατα (Φιλιππίδης, 2006).

#### 3.3.2.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH

Για τη μέτρηση του pH στα δείγματα εδάφους εφαρμόστηκε η ηλεκτρομετρική μέθοδος. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά ακριβής και βασίζεται στη μέτρηση της αγωγιμότητας με τη χρήση πεχάμετρων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό του pH είναι η εξής: Ζυγίστηκαν 20 γραμμάρια ξηραμένου και κοσκινισμένου εδάφους και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Στη συνέχεια προστέθηκε απιονισμένο νερό σε αναλογία 1 προς 2,5 και το αιώρημα αναδεύτηκε περιοδικά για 30 λεπτά με τη βοήθεια

γυάλινης ράβδου. Στη συνέχεια, αφέθηκε σε ηρεμία, για ακόμη 30 λεπτά, έτσι ώστε να επιτευχθεί μερική καθίζηση. Μετά την καθίζηση, μετρήθηκε το pH των εδαφικών δειγμάτων με τη χρήση του πεχάμετρου, αφού πρώτα ρυθμίστηκε το όργανο με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων pH 4 και 7 (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

### 3.3.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Για τη μέτρηση του οργανικού άνθρακα του εδάφους ζυγίστηκε 1 g εδάφους (που είχε προηγουμένως κονιοποιηθεί) και τοποθετήθηκε σε προζυγισμένο χωνευτήριο, αφού η υγρασία είχε αφαιρεθεί. Αφέθηκε αρκετές ώρες στο φούρνο στους 104°C. Έπειτα τοποθετήθηκε στους 450°C για 4 h. Στη συνέχεια ο οργανικός άνθρακας υπολογίστηκε από την ακόλουθη σχέση:

$$C_{org} = (\text{Αρχικό βάρος} - \text{Τελικό βάρος}) / \text{Αρχικό Βάρος} * 100\%$$

Η οργανική ουσία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Οργανική ουσία} = C_{org} * 1,724.$$

### 3.3.2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Για τον προσδιορισμό των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, υπάρχουν μέθοδοι που χρησιμοποιούν οξέα, τα οποία αποδομούν τα εδαφικά σωματίδια και διαλύουν τα μέταλλα. Στα δείγματα των επιφανειακών εδαφών της περιοχής μελέτης, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στις μεθοδολογίες: α) Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Chapters 25, 26, 28, edition year 1996 και β) US EPA 3050B method, η οποία περιλαμβάνει την πέψη του δείγματος σε κωνική φιάλη πάνω σε θερμαντική πλάκα ή αμμόλουτρο με τη χρήση HNO<sub>3</sub> 65% w/v, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% w/v και HCl και η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου Thermo iCE 3000 Series.

Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα γνωστής περιεκτικότητας για κάθε μέταλλο και για τα άγνωστα δείγματα.

Διαδικασία:

Σε κωνική φιάλη των 50ml ζυγίστηκε 1,0 g δείγματος εδάφους (αφού πρώτα είχε ξεραθεί και κονιοποιηθεί). Προστέθηκαν 5 ml πυκνού  $\text{HNO}_3$  και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αμμόλουτρο, ώστε το μίγμα που περιέχουν να καλύπτεται. Μετά από ηρεμία μιας ολόκληρης νύχτας, τα δείγματα παρέμειναν σε θερμοκρασία  $95^\circ\text{C}$  μέχρι που σταμάτησαν να εκλύονται μέσα στη φιάλη καφέ ατμοί. Αφού κρύωσαν, προστέθηκαν 5ml πυκνού  $\text{HNO}_3$  και θερμάνθηκαν στην θερμοκρασία των  $95^\circ\text{C}$  πάλι για 2h. Αφού κρύωσαν ξανά, προστέθηκαν 3 ml πυκνού  $\text{H}_2\text{O}_2$  και αφέθηκαν ολόκληρη νύχτα σε ηρεμία. Έπειτα, τα δείγματα αναθερμάνθηκαν για 1h στην ίδια θερμοκρασία και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Το δείγμα τελικά έγινε λεπτόκοκκο και το χρώμα του ανοιχτό. Όταν τα δείγματα απέκτησαν θερμοκρασία περιβάλλοντος τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml, αφού έγινε η διήθησή τους με χαρτί (3,5). Το διήθημα αυτό συλλέχτηκε. Ακριβώς η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την παρασκευή «λευκού μάρτυρα» της μεθόδου.

Για να υπολογιστούν τα αποτελέσματα, έγινε πολλαπλασιασμός της συγκέντρωσης του διαλύματος που δόθηκε από την ατομική απορρόφηση, με το συντελεστή αραίωσης που έχει τρία δεκαδικά ψηφία και προκύπτει από το πηλίκο του όγκου του εκχυλίσματος (25 ml) προς τη μάζα του δείγματος όπως αυτή καταγράφηκε στα πρωτογενή έντυπα με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων (1 g δείγματος αντιστοιχεί σε 50 ml τελικού εκχυλίσματος). Έτσι εκφράζεται η περιεκτικότητα του εδάφους, στο αντίστοιχο κάθε φορά μέταλλο. Αν η συλλογή του εκχυλίσματος γίνει σε φιάλη των 25 ml, πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό 25.

#### 3.3.2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Για τον προσδιορισμό των βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων, χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος βασισμένη στις παρακάτω μεθοδολογίες: α) Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Chapters 23, 24, 26, edition year: 1996, β) THERMO Flame Atomic Absorption Spectrometry manual και η μέτρηση έγινε με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου Thermo iCE 3000 Series.

Διαδικασία:

Ζυγίστηκαν 15 g αεροξηραμένου εδαφικού δείγματος, τοποθετήθηκαν σε κωνικές φιάλες των 150ml και προστέθηκαν 30ml διαλύματος DTPA. Ως εκχυλιστικό μέσο χρησιμοποιήθηκε το DTPA το οποίο χρησιμοποιείται για την εκχύλιση μετάλλων από το έδαφος, σχηματίζοντας χηλικές ενώσεις με τα ελεύθερα μέταλλα σε διάλυμα το οποίο μειώνει τις ιονικές τους δραστηριότητες, έτσι ώστε επιπρόσθετες ποσότητες μετάλλων απελευθερώνονται από το έδαφος μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία. Στην πράξη, οι εκχυλίσεις πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένα, διακοπτόμενα χρονικά διαστήματα, γιατί η ισορροπία μπορεί να μην είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσα σε μία λογικά μικρή χρονική περίοδο. Στα διαλύματα εκχύλισης χρησιμοποιείται χλωριούχο ασβέστιο, για να ελαχιστοποιηθεί η διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου.

Στη συνέχεια τα δείγματα ανακινήθηκαν για 2h στις  $180 \pm 20$  στροφές/λεπτό και φυγοκεντρήθηκαν στις 3000 στροφές/λεπτό. Ακολούθως, το υδατικό διάλυμα διηθήθηκε με τη χρήση διηθητικού χαρτιού (Whatman n°40 ή παρόμοιο) και προσδιορίστηκαν οι βιοδιαθέσιμες μορφές των βαρέων μετάλλων.

Ταυτόχρονα με τη σειρά των δειγμάτων ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία χωρίς εδαφικό δείγμα (λευκό δείγμα).

Ο εκχυλίσσιμος χαλκός, ψευδάργυρος, μαγγάνιο ή σίδηρος στο εδαφικό δείγμα εκφράζεται σε mg του μετάλλου ανά kg αεροξηρανθέντος εδάφους και υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{\mu\epsilon\tau} (mg_{\mu\epsilon\tau} / kg_{\alpha\epsilon\rho.\epsilon\delta.}) = A_{\mu\epsilon\tau} \cdot \left( \frac{V}{m_s} \right)$$

Όπου :

$A_{\mu\epsilon\tau}$  : η συγκέντρωση του εκχυλίσματος σε  $mg_{\mu\epsilon\tau}/L$ ,

$V$  : ο όγκος του εκχυλιστικού (DTPA) σε mL

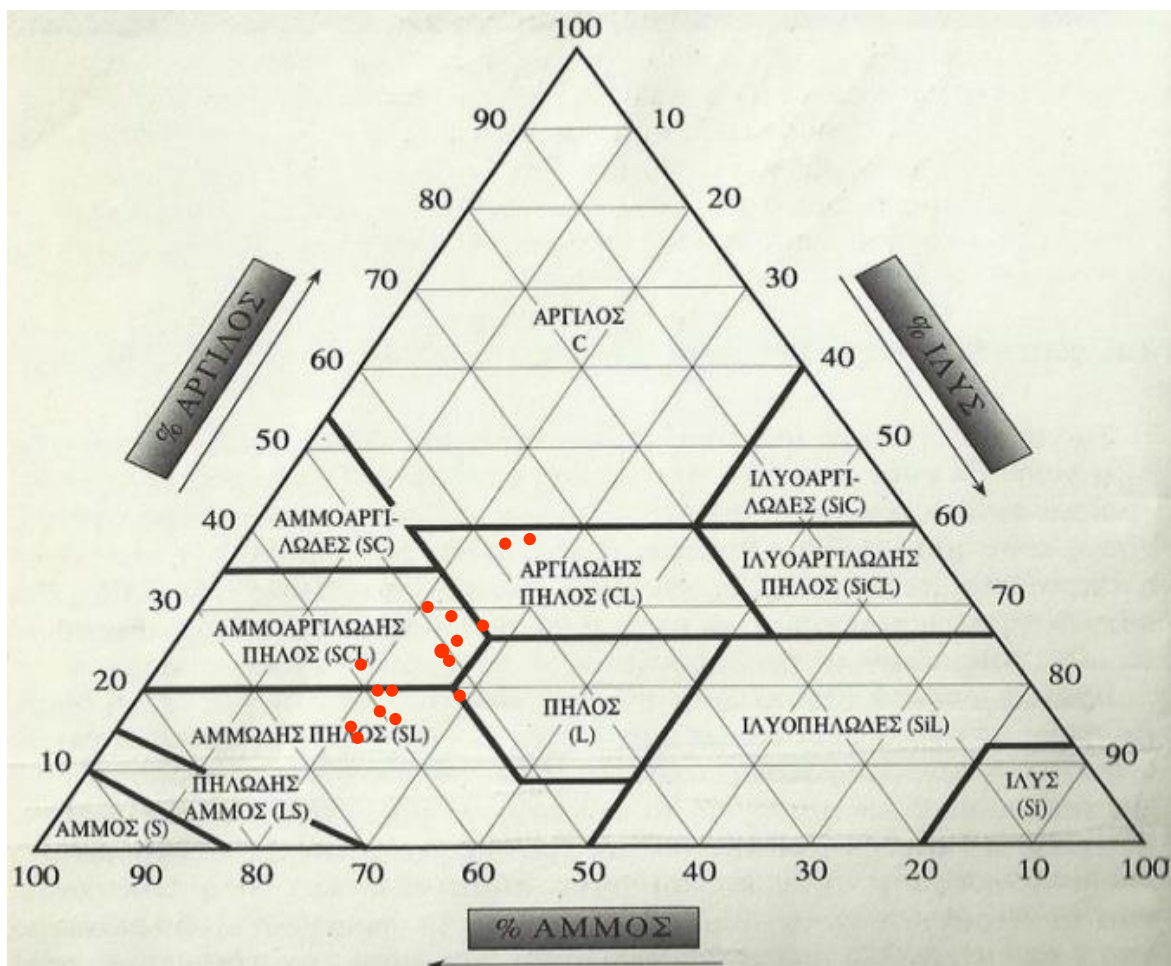
$m_s$  : τα g του αεροξηραμένου εδαφικού δείγματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 4.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Σχηματαρίου, Οινοφύτων, Οινόης και Αυλώνα υπολογίστηκαν τα ποσοστά επί % σε άμμο, ιλύ και άργιλο. Τα ποσοστά αυτά τοποθετήθηκαν στο τριγωνικό διάγραμμα μηχανικής σύστασης σύμφωνα με το διεθνές σύστημα και προσδιορίστηκε η κατηγορία της μηχανικής σύστασης κάθε δείγματος (Εικόνα 4.1) (Πίνακας 4.1).



Εικόνα 4.1: Τριγωνικό διάγραμμα μηχανικής σύστασης εδαφών κατά το διεθνές σύστημα (πηγή: Παντελάκης, 2019)

**Πίνακας 4.1:** Μηχανική σύσταση επιφανειακών εδαφών περιοχής μελέτης.

Δείγμα	Άμμος %	Ίλύς %	Άργιλος %	Κατηγορία μηχανικής σύστασης
1	51,85	30,48	17,68	Πηλός
2	57,56	28,57	13,87	Αμμώδης πηλός
3	34,70	32,38	32,91	Αργιλώδης πηλός
4	50,90	32,38	16,72	Πηλός
5	65,18	26,67	8,15	Αμμώδης πηλός
6	51,85	36,19	11,96	Πηλός - Αμμώδης πηλός
7	59,47	28,57	11,96	Αμμώδης πηλός
8	59,47	31,43	9,10	Αμμώδης πηλός
9	46,13	32,38	21,49	Πηλός
10	61,37	28,57	10,06	Αμμώδης πηλός
11	48,99	31,43	19,58	Πηλός
12	37,56	30,48	31,96	Αργιλώδης πηλός
13	48,99	27,62	23,39	Αμμοαργιλώδης πηλός
14	47,09	29,52	23,39	Πηλός
15	59,47	23,81	16,72	Αμμώδης πηλός
16	65,18	28,57	6,25	Αμμώδης πηλός

Τα εδάφη της περιοχής μελέτης κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες μηχανικής σύστασης. Οκτώ δείγματα ανήκουν στην κατηγορία «Αμμώδης πηλός», πέντε δείγματα στην κατηγορία «Πηλός», δύο δείγματα στην κατηγορία «Αργιλώδης πηλός», ένα δείγμα στην κατηγορία «Αμμοαργιλώδης πηλός» και τέλος ένα δείγμα βρίσκεται στο όριο μεταξύ «Πηλού» και «Αμμώδους πηλού». Επικρατεί σε όλα τα δείγματα το κλάσμα της άμμου ενώ η άργιλος παρουσιάζει διακυμάνσεις (6,25-32,91%). Τα δείγματα με τα μεγαλύτερα ποσοστά αργίλου εμφανίζονται στα εδάφη του Σχηματαρίου και σε ένα δείγμα μεταξύ Αυλώνα και Οινοφύτων που έχει ληφθεί από γεωργική έκταση.

#### 4.2 pH

Το pH είναι μια σημαντική παράμετρος η οποία πρέπει να προσδιορίζεται στα εδάφη γιατί από αυτή εξαρτάται η διαλυτότητα των βαρέων μετάλλων, η κινητικότητα τους στο έδαφος και η διαθεσιμότητά τους για τα φυτά (Antibachi et al., 2012). Επιπλέον, επηρεάζει τη δραστηριότητα των διαφόρων μικροοργανισμών στο έδαφος. Οι καταλληλότερες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών είναι μεταξύ pH 6 και 7. Εδάφη με pH μεγαλύτερο του 8,5, επειδή δεν ευνοούν την μετακίνηση των στοιχείων, παρουσιάζουν συχνά

ελλείψεις σε στοιχεία όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός. Αντίθετα, σε όξινα εδάφη, αυξάνεται η διαλυτότητα πολλών μετάλλων με αποτέλεσμα να γίνονται τοξικά.

Στα εδαφικά δείγματα της περιοχής μελέτης προσδιορίστηκε το pH το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 7,58 και 8,42 (Πίνακας 4.2). Τα εδάφη που έχουν τιμές pH μεταξύ 7,4 και 7,8 χαρακτηρίζονται ως ελαφρώς αλκαλικά, εκείνα με τιμές μεταξύ 7,9 και 8,4 μέτρια αλκαλικά και αυτά που έχουν τιμές pH μεταξύ 8,5 και 9 χαρακτηρίζονται ως ισχυρά αλκαλικά (Παντέρρα & Γαλανοπούλου, 2015). Έτσι, σύμφωνα με την παραπάνω κατάταξη, τα περισσότερα δείγματα (11 δείγματα) χαρακτηρίζονται ως μέτρια αλκαλικά, 4 δείγματα ως ελαφρώς αλκαλικά και μόλις 1 δείγμα ως ισχυρά αλκαλικό.

Οι τιμές αυτές ήταν αναμενόμενες εξαιτίας της παρουσίας ασβεστολιθικών πετρωμάτων στην περιοχή που μέσω των διαδικασιών διάβρωσης και αποσάθρωσης τροφοδοτούν τα εδάφη με βάσεις.

**Πίνακας 4.2:** Τιμές pH και οργανικού άνθρακα (Corg) επιφανειακών εδαφών περιοχών Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου.

<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>pH</b>	<b>Corg%</b>
<b>1</b>	7,74	4,33
<b>2</b>	7,58	4,76
<b>3</b>	8,06	2,21
<b>4</b>	7,82	2,76
<b>5</b>	7,8	5,00
<b>6</b>	8,1	2,67
<b>7</b>	8,14	3,12
<b>8</b>	7,94	4,01
<b>9</b>	7,92	4,05
<b>10</b>	7,78	4,95
<b>11</b>	7,94	3,50
<b>12</b>	8,15	2,23
<b>13</b>	8,42	1,71
<b>14</b>	8,13	1,29
<b>15</b>	7,93	5,60
<b>16</b>	7,98	3,97

#### **4.3. ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ**

Ο οργανικός άνθρακας στα εδάφη της περιοχής μελέτης κυμάνθηκε μεταξύ 1,29% και 5,60% με μέση τιμή 3,51% (Πίνακας 4.2). Έτσι δύο (2) δείγματα έχουν τιμές μεταξύ 1 και 2

και μέση περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα, επτά (7) δείγματα έχουν τιμές μεταξύ 2 και 4 και υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και επτά (7) δείγματα έχουν τιμές μεταξύ 4 και 8 και πλούσια περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (Κατρίτσης, 2016).

#### 4.4 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

Σύμφωνα με τη μελέτη των Γκούση και Κονισπολιάτη (2005) στα εδάφη της λεκάνης του Ασωπού εμφανίζονται ως κύρια ορυκτά χαλαζία, μοντμοριλλονίτης, ιλλίτης, καολινίτης, χλωρίτης, ασβεστίτης, δολομίτης, αραγωνίτης, Κ-άστριοι και πλαγιόκλαστα.

#### 4.5 ΟΛΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ - ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.3) δίνονται τα αποτελέσματα των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων (Ni, Pb, Zn, Mn, Cr, Cu) που προσδιορίστηκαν στα επιφανειακά εδάφη της περιοχής μελέτης σε mg/kg. Επιπλέον σχεδιάστηκαν γεωχημικοί χάρτες επιφανειακής κατανομής για τα τοξικότερα βαρέα μέταλλα μετά από επεξεργασία των δεδομένων στο ArcMap.

**Πίνακας 4.3:** Ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην περιοχή μελέτης σε mg/kg

Δείγμα	Ni	Pb	Zn	Mn	Cr	Cu
1	379,44	19,43	91,49	810,03	495,16	22,27
2	514,43	28,98	92,13	1740,46	634,15	26,58
3	172,66	14,04	52,91	652,55	146,43	26,42
4	545,72	13,52	57,21	472,20	171,11	35,45
5	282,90	36,44	88,21	823,41	248,32	38,39
6	674,68	340,85	32,29	395,71	146,96	15,56
7	299,46	299,46	63,66	679,82	151,57	28,22
8	233,59	233,59	77,95	275,40	110,94	54,79
9	232,99	232,99	54,30	576,80	110,33	29,82
10	142,79	22,51	58,25	423,82	89,62	22,68
11	200,75	6,51	38,17	499,57	111,47	16,50
12	289,56	5,60	44,37	549,67	148,50	19,21
13	389,82	10,11	42,33	534,21	198,19	19,42
14	363,59	6,97	51,84	610,99	231,84	24,19
15	356,53	356,53	70,75	767,20	690,30	22,05
16	257,06	257,06	53,01	468,33	111,54	25,96



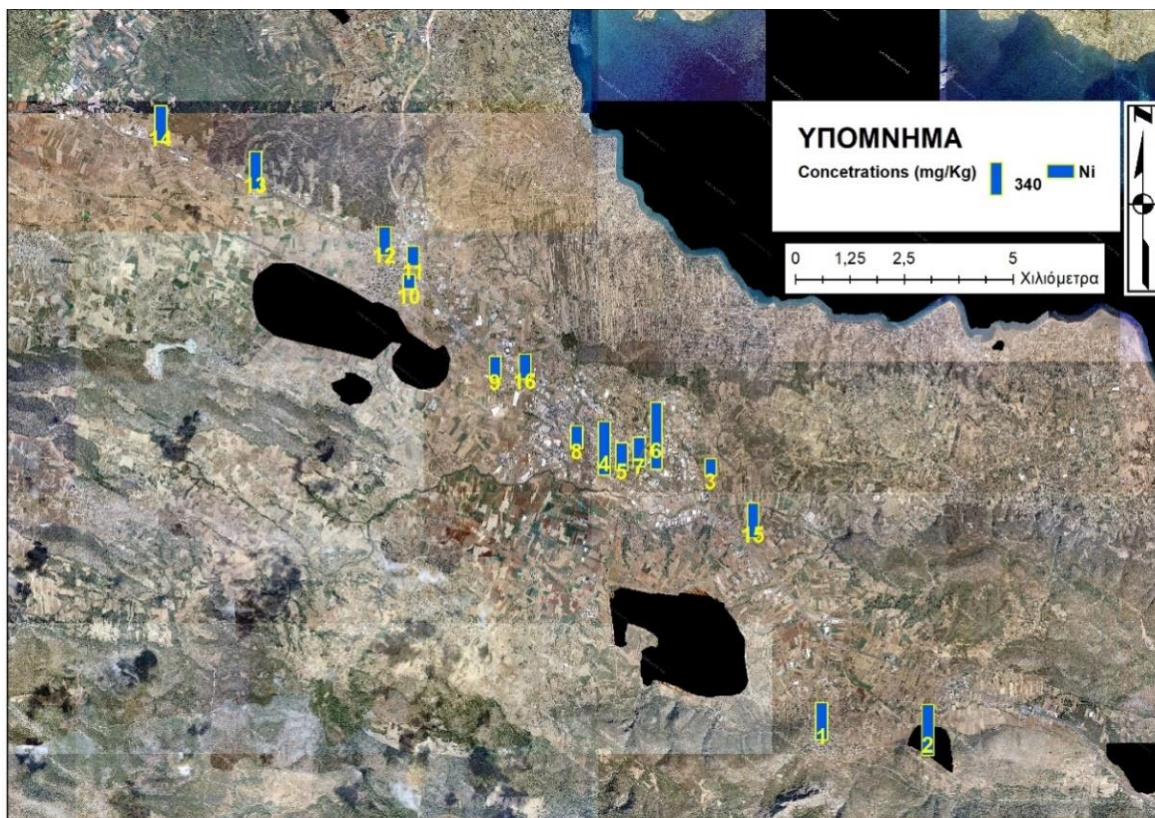
## Νικέλιο (Ni)

Στα δείγματα εδάφους που αναλύθηκαν, ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις νικελίου που κυμαίνονται μεταξύ 142,79 και 674,68 mg/kg με μέση τιμή 333,50 mg/kg. Οι τιμές αυτές ξεπερνούν τη μέση συγκέντρωση των επιφανειακών εδαφών σε όλο τον κόσμο, που δίνεται από την Kabata-Pendias (2011) (29mg/Kg). Επίσης υπερβαίνουν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια που έχουν θέσει διάφορες ευρωπαϊκές χώρες για τα εδάφη κατοικημένων περιοχών, όπως η Ιταλία (120 mg/kg), η Γερμανία (140 mg/kg) και το Βέλγιο (300 mg/kg) (Panagoroulos et al., 2016). Οι ίδιες χώρες έχουν θεσπίσει όρια για τις συγκεντρώσεις του νικελίου στα εδάφη βιομηχανικών περιοχών που είναι αντίστοιχα 500 mg/kg (Ιταλία), 900 mg/kg (Γερμανία) και 500 mg/kg (Βέλγιο). Συγκρινόμενες με τα θεσπισμένα όρια για τις βιομηχανικές περιοχές, οι συγκεντρώσεις τριών δειγμάτων (2, 4, 6) υπερβαίνουν αυτά της Ιταλίας και του Βελγίου, ενώ όλες είναι χαμηλότερες από το όριο της Γερμανίας.

Από το γεωχημικό χάρτη επιφανειακής κατανομής του νικελίου προκύπτει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του νικελίου απαντώνται στην περιοχή των Οиноφύτων καθώς και στην περιοχή του Αυλώνα, στους πρόποδες της βόρειας Πάρνηθας (Εικόνα 4.2).

Με βάση τα παραπάνω, τα Οινόφυτα, είναι επιβαρυμένα σε νικέλιο πιθανώς λόγω της αυξημένης βιομηχανικής δραστηριότητας στην περιοχή. Σύμφωνα με τον Antibachi et al. (2012), τα οφιολιθικά πετρώματα απελευθερώνουν στο έδαφος μέσω της διάβρωσης και της αποσάθρωσης μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων, όπως Ni, Cr, Fe, Co και Mn. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία υπερβασικών οφιολιθικών πετρωμάτων που δομούν το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, ένα μέρος του νικελίου έχει πιθανά και γεωγενή προέλευση και προέρχεται από την αποσάθρωση τους. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις νικελίου οφείλονται λοιπόν πιθανότατα τόσο σε γεωγενείς όσο και σε ανθρωπογενείς πηγές.

Οι συγκεντρώσεις του νικελίου συγκρινόμενες με αντίστοιχες τιμές που έχουν προσδιοριστεί στα εδάφη της ευρύτερης περιοχής είναι υψηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν στα εδάφη των Οиноφύτων (35-88 mg/Kg, Γκούσης και Κονισπολιάτης, 2005) και μικρότερες από αυτές σε εδάφη στον Ασωπό ποταμό (91-1200 mg/kg, Panagoroulos et al., 2016) και στη Θήβα (1501-2992 mg/kg, Kelepertzis and Stathoroulou, 2013; 211-1989 mg/kg, Αντωνοπούλου, 2020).



**Εικόνα 4.2:** Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Ni (mg/kg) στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου.

Επίσης είναι υψηλότερες συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις νικελίου σε άλλες αντίστοιχες περιοχές της Ελλάδας και του κόσμου, όπως στο Θριάσιο πεδίο (36,1-95,5 mg/kg, Χατζούδης, 1996; 81,6 mg/kg, Massas et al., 2013; 145,3 mg/kg, Antoniadis et al., 2017), στη βιομηχανική πόλη Yazd στο Ιράν (23,4 mg/Kg Ni, Gerdefaramarzi et al., 2020) και στην πόλη Ningbo της Κίνας (7,1–69,4 mg/kg, Lu et al., 2021).

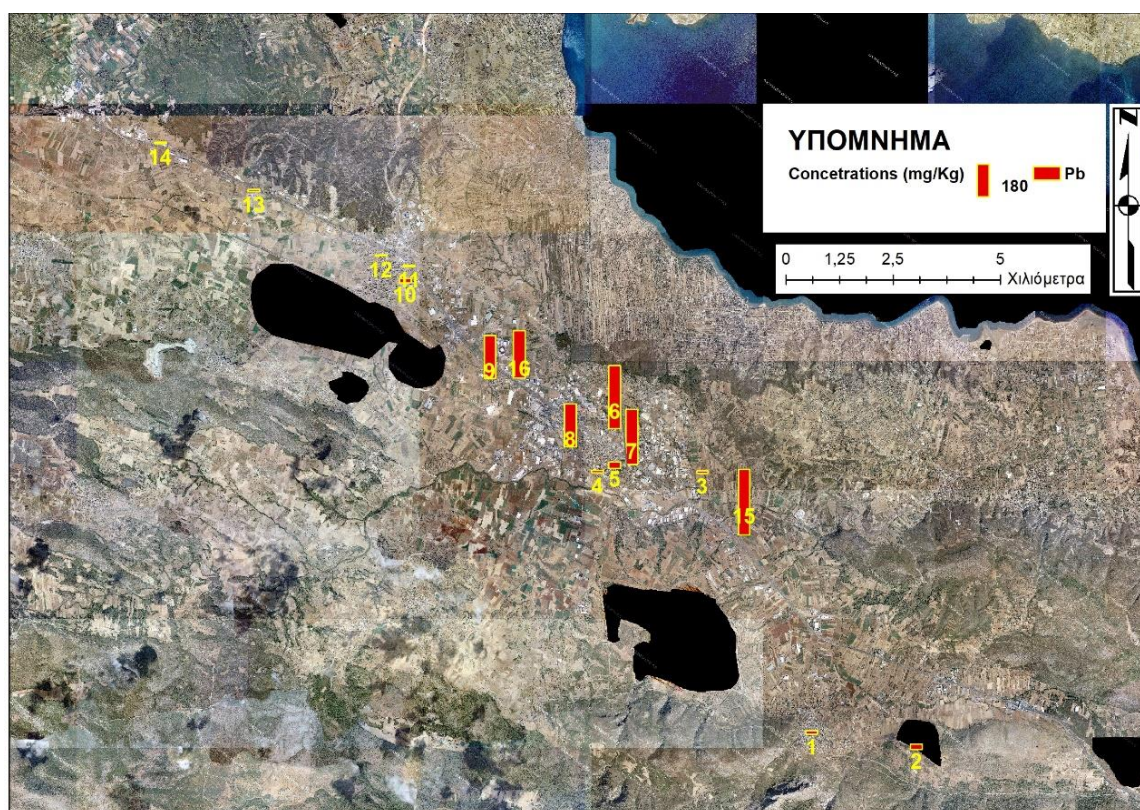
### **Μόλυβδος (Pb)**

Η συγκέντρωση μολύβδου στα εδάφη που μελετήθηκαν κυμαίνεται μεταξύ 5,60 (δείγμα 12) και 356,53 mg/kg (δείγμα 15) με μέση τιμή 117,79 mg/kg. Η μέση τιμή των επιφανειακών εδαφών σε μόλυβδο σε όλο τον κόσμο είναι 27 mg/kg σύμφωνα με την Kabata-Pendias (2011) και τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια στα εδάφη της Κίνας 24,6 mg/kg (Wang et al., 2012). Οι συγκεντρώσεις σε μόλυβδο στα εδάφη της περιοχής μελέτης υπερβαίνουν κατά πολύ τις παραπάνω τιμές, επομένως υπάρχει σημαντική επιβάρυνση των εδαφών της σε μόλυβδο.

Η μέση συγκέντρωση των εδαφών σε μόλυβδο είναι αρκετά υψηλότερη από αυτή που έχει προσδιοριστεί στα Οινόφυτα (60,37 mg/Kg, Γκούσης και Κονισπολιάτης, 2005), σε αστικά πάρκα της Θήβας (32,06 mg/kg, Αντωνοπούλου, 2020), στη Σίνδο (32,4 mg/Kg, Ευθυμίου, 2018), ενώ είναι μικρότερη από τη μέση τιμή που ανιχνεύθηκε στο Θριάσιο πεδίο (275,9 mg/Kg, Antoniadis et al., 2017).

Συγκριτικά με μελέτη που έγινε κοντά σε βιομηχανική περιοχή του Βουκουρεστίου και ανιχνεύτηκαν 750 mg/kg Pb (Velea et al., 2008), οι τιμές Pb στην περιοχή μελέτης είναι πολύ χαμηλότερες. Ομοίως, είναι μικρότερες από αυτές που προσδιορίστηκαν στα αστικά εδάφη της πόλης Yazd στο Ιράν (34,5 mg/Kg, Gerdefaramarzi et al., 2020) καθώς και από αυτή που βρέθηκε στην πόλη Ningbo της Κίνας (58,06 mg/kg, Lu et al., 2021).

Από το γεωχημικό χάρτη επιφανειακής κατανομής του Pb (Εικόνα 4.3), προκύπτει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του μολύβδου εμφανίζονται στις περιοχές Οινόφυτα και Οινόη, εκεί δηλαδή που υπάρχει μεγαλύτερη ανθρωπογενής και βιομηχανική δραστηριότητα.



**Εικόνα 4.3:** Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Pb (mg/kg) στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Αυλώνα, Οινόφυτων, Οινόης, Σχηματαρίου.

Επίσης, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μολύβδου εντοπίζονται κατά μήκος της εθνικής οδού Αθηνών - Λαμίας, γεγονός που υποδεικνύει την προέλευση ενός μέρους του μολύβδου από την καύση ορυκτών καυσίμων κατά την κίνηση των οχημάτων κατά μήκος της εθνικής οδού.

### **Ψευδάργυρος (Zn)**

Η συγκέντρωση του ψευδαργύρου στα εδάφη της περιοχής έρευνας κυμαίνεται μεταξύ 32,29 και 92,13 mg/kg με μέση τιμή 60,55 mg/kg. Συγκρινόμενη με τη τιμή 70 mg/Kg που δίνεται από την Kabata-Pendias (2011) για τα επιφανειακά εδάφη και το ανώτατο επιτρεπτό όριο που έχει θεσπιστεί για τα εδάφη της Κίνας (57,5 mg/Kg, Wang et al., 2012) προκύπτει ότι η περιοχή δεν είναι επιβαρυσμένη ως προς τον ψευδάργυρο.

Από τα 16 δείγματα που συλλέχθηκαν από την περιοχή μελέτης μόνο οι τιμές από πέντε (5) δείγματα ξεπερνούν τα 70 mg/Kg, τα οποία εντοπίζονται κυρίως στις περιοχές Αυλώνα και Οινόφυτων. Η μέση τιμή των δειγμάτων είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με αυτή που βρέθηκε στα Οινόφυτα από τους Γκούσης και Κονισπολιάτης, 189,11 mg/Kg (2005).

Η μέση τιμή Zn που βρέθηκε στη περιοχή μελέτης είναι πολύ μικρότερη από αυτή που προσδιορίστηκε στο Θριάσιο πεδίο (731,5 mg/Kg, Antoniadis et al., 2017) και μεγαλύτερη από αυτή στη Σίνδο (54 mg/Kg, Ευθυμίου, 2018).

Συγκριτικά με μελέτη που έγινε το 2008 κοντά σε βιομηχανική περιοχή του Βουκουρεστίου (1300 mg/kg, Velea et al., 2008) οι τιμές Zn που ανιχνεύθηκαν στην περιοχή μελέτης είναι πολύ χαμηλότερες και ελαφρώς μικρότερες από τις συγκεντρώσεις Zn που μετρήθηκαν στα αστικά εδάφη της πόλης Yazd, στο Ιράν (83,9 mg/Kg, Gerdefaramarzi et al., 2020).

### **Μαγγάνιο (Mn)**

Η συγκέντρωση μαγγανίου στα εδάφη της περιοχής μελέτης κυμαίνεται μεταξύ 275,40 και 1740,46 mg/kg με μέση τιμή 642,51 mg/kg. Οι τιμές αυτές υποδεικνύουν επιβάρυνση ως προς το Mn για τα εδάφη αυτά, συγκριτικά με την τιμή 488 mg/kg που δίνεται για τα επιφανειακά εδάφη από την Kabata-Pendias (2011).

Συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις Mn που ανιχνεύθηκαν στο Θριάσιο πεδίο (748,1 mg/kg, Antoniadis et al., 2017) οι τιμές που βρέθηκαν στην περιοχή μελέτης είναι χαμηλότερες, ενώ ξεπερνούν κατά πολύ τα 6,36 mg/Kg που ανιχνεύθηκαν στη Σίνδο το 2018 (Ευθυμίου, 2018).

Το Mn εμφανίζει τη μέγιστη τιμή του στην περιοχή του Αυλώνα, γεγονός που πιθανά συνδέεται με λιθογενή αίτια, δηλαδή, ένα σημαντικό μέρος του μπορεί να προέρχεται από την αποσάθρωση των οφιολιθικών και πυριτικών πετρωμάτων που δομούν την ευρύτερη περιοχή. Το μαγγάνιο έχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το χρώμιο με  $r=0,74$  ( $F=17,35$ ).

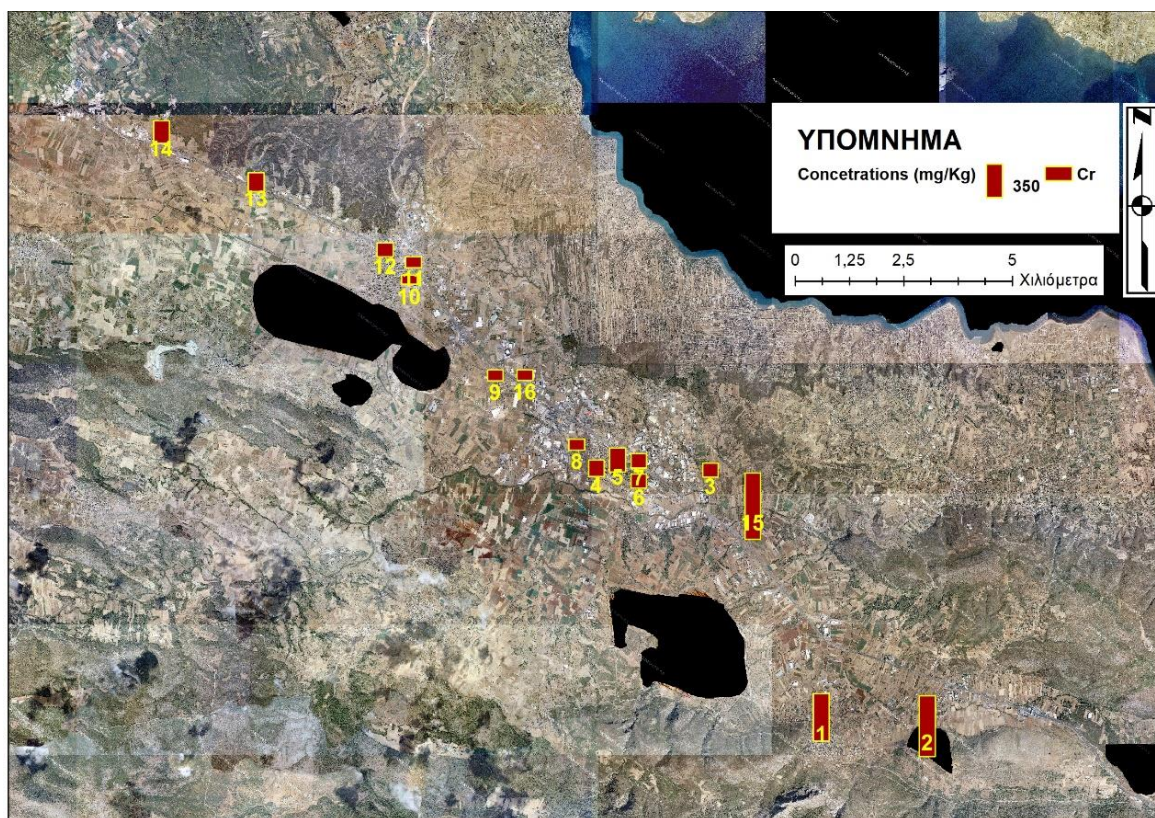
### **Χρώμιο (Cr)**

Η ολική συγκέντρωση χρωμίου στα εδάφη δειγματοληψίας κυμαίνεται μεταξύ 89,62 και 690,3 mg/kg με μέση τιμή 237,28 mg/kg. Οι τιμές αυτές ξεπερνούν την τιμή που δίνεται από την Kabata-Pendias (2011) για τα επιφανειακά εδάφη, η οποία είναι 59,5 mg/kg. Επιπλέον, αρκετές τιμές υπερβαίνουν τα ανώτερα όρια που έχουν θεσπίσει ευρωπαϊκές χώρες για το χρώμιο στα αστικά εδάφη (Ιταλία: 150 mg/kg, Γερμανία: 400 mg/kg, Βέλγιο: 520 mg/kg) ενώ δεν ξεπερνούν τις τιμές που οι ίδιες χώρες θέσπισαν για τα εδάφη των βιομηχανικών περιοχών (Ιταλία: 800 mg/kg, Γερμανία, 1000 mg/kg, Βέλγιο 700 mg/kg) (Panagoroulos et al., 2016). Υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωμίου παρουσιάζουν τα δείγματα 1 και 2 που ελήφθησαν στους πρόποδες της Βόρειας Πάρνηθας και το δείγμα 15 σε αγροτική περιοχή κοντά στα Οινόφυτα, όπως προκύπτει και από το γεωχημικό χάρτη επιφανειακής κατανομής του (Εικόνα 4.4).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα εδάφη της περιοχής μελέτης είναι ρυπασμένα ως προς το χρώμιο, το οποίο πιθανότατα προέρχεται τόσο από την ανθρωπογενή δραστηριότητα όσο και από γεωγενείς πηγές, δηλαδή από την αποσάθρωση των υπερβασικών οφιολιθικών πετρωμάτων που εμφανίζονται κυρίως στα περιθώρια της λεκάνης.

Συγκριτικά με άλλες μελέτες στην ευρύτερη περιοχή, οι τιμές του χρωμίου είναι μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις των εδαφών των Οινοφύτων (12-26 mg/Kg, Γκούσης και Κονισπολιάτης, 2005), αντίστοιχες με αυτές στον Ωρωπό (17-600 mg/Kg, Moraetis et

al., 2012), ελαφρώς χαμηλότερες από αυτές στη Θήβα (134-856 mg/kg, Antibachi et al., 2012) και πολύ χαμηλότερες από αυτές στην Αταλάντη (48-4200 mg/Kg, Kanellorou et al., 2015).



**Εικόνα 4.4:** Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Cr (mg/kg) στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης, Σχηματαρίου.

Επίσης είναι αντίστοιχες με τις συγκεντρώσεις χρωμίου που προσδιορίστηκαν στο Θριάσιο πεδίο (233,2 mg/kg, Antoniadis et al., 2017), ξεπερνούν αυτές που προσδιορίστηκαν στη Σίνδο (60 mg/Kg, Ευθυμίου, 2018), στην πόλη Yazd στο Ιράν (32,6 mg/Kg, Gerdefaramarzi et al., 2020) και είναι αντίστοιχες με τις τιμές του χρωμίου στην πόλη Ningbo της Κίνας (21,7–640,0 mg/kg, Lu et al., 2021).

### Χαλκός (Cu)

Η συγκέντρωση χαλκού στα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν στην περιοχή μελέτης κυμαίνεται μεταξύ 15,56 και 54,79 mg/kg με μέση τιμή 26,72 mg/kg. Η μέση τιμή του

χαλκού στην περιοχή, συγκριτικά με την τιμή 38,9 mg/Kg που δίνεται από την Kabata-Pendias (2011) είναι σε πιο χαμηλά επίπεδα. Συγκρινόμενη όμως με τις ανώτερες συγκεντρώσεις Cu που έχει θεσπίσει η Κίνα για τα εδάφη της (18,7 mg/Kg, Wang et al., 2012) είναι ελαφρά υψηλότερη από αυτές. Με βάση τα παραπάνω η περιοχή μελέτης δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη επιβάρυνση ως προς τον χαλκό.

Συγκριτικά με άλλες περιοχές, η μέση τιμή του χαλκού που προσδιορίστηκε είναι σε πολύ πιο χαμηλά επίπεδα από αυτή που βρέθηκε στο Θριάσιο πεδίο (732,9 mg/Kg, Antoniadis et al., 2017), και αντίστοιχη με την μέση τιμή του Cu που μετρήθηκε στα εδάφη της Σίνδου (32,5 mg/Kg, Ευθυμίου, 2018). Επίσης είναι μικρότερη από τις τιμές σε εδάφη βιομηχανικών και αστικών περιοχών σε διάφορα μέρη του κόσμου, όπως στη βιομηχανική περιοχή του Βουκουρεστίου (350 mg/kg, Velea et al., 2008), στην πόλη Ningbo της Κίνας (49,68 mg/kg, Lu et al., 2021) και αντίστοιχη με αυτή στα αστικά εδάφη της πόλης Yazd, (23,5 mg/Kg, Gerdefaramarzi et al., 2020).

#### **4.6 ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ**

Βιοδιαθεσιμότητα είναι το κλάσμα των βαρέων μετάλλων (ρυπαντή) που δύναται να μετακινηθεί και να προσληφθεί από τους ζωντανούς οργανισμούς (φυτά, ζώα, άνθρωπο). Αυτή επηρεάζεται από διάφορους φυσικοχημικούς και βιολογικούς παράγοντες, όπως από την ολική συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν, το pH και τη δομή του εδάφους, την περιεχόμενη οργανική ουσία, τα ορυκτά της αργίλου, από τη μορφή με την οποία βρίσκονται τα μέταλλα στο έδαφος, τα οξείδια σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου στο έδαφος, τη δραστηριότητα των οργανισμών, τις συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας κ.ά.

Τα βαρέα μέταλλα δεν αποικοδομούνται αλλά μπορούν να μετακινηθούν μέσω διαφόρων αντιδράσεων οξειδοαναγωγής, απορρόφησης κ.ά., με τη διαμεσολάβηση διαφόρων φυτών ή οργανισμών (Αθουσάκη, 2009). Η διαθεσιμότητα των διαφόρων ιχνοστοιχείων επηρεάζει την τοξικότητά τους στο έδαφος.

Στον Πίνακα 4.4 δίνονται οι εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στην περιοχή μελέτης.

**Πίνακας 4.4.:** Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην περιοχή μελέτης σε mg/kg.

<b>Δείγμα</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
<b>1</b>	2,08	6,93	1,33	19,40	4,89
<b>2</b>	1,83	3,32	1,29	35,69	4,03
<b>3</b>	1,90	2,17	0,98	15,27	1,95
<b>4</b>	3,54	5,72	6,38	15,09	8,46
<b>5</b>	5,51	7,94	3,75	22,18	7,42
<b>6</b>	2,28	5,20	2,01	13,38	3,14
<b>7</b>	3,91	3,65	4,18	18,48	6,69
<b>8</b>	16,09	4,68	13,96	27,02	14,55
<b>9</b>	3,51	3,66	3,44	18,36	4,89
<b>10</b>	6,57	3,81	2,12	11,68	7,75
<b>11</b>	1,29	3,23	1,01	19,35	2,28
<b>12</b>	1,47	4,93	1,88	19,00	1,33
<b>13</b>	2,57	1,02	0,58	6,35	0,57
<b>14</b>	1,36	4,50	1,50	20,54	1,15
<b>15</b>	2,16	3,29	1,61	27,94	6,38
<b>16</b>	2,60	4,42	2,91	34,52	10,36

### **Μόλυβδος**

Οι συγκεντρώσεις του βιοδιαθέσιμου μολύβδου που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα, κυμαίνονται από 1,29 mg/kg (δείγμα 11) μέχρι 16,09 mg/kg (δείγμα 8). Τα περισσότερα δείγματα έχουν μικρές αποκλίσεις τιμών μεταξύ τους. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα 5 (5,51 mg/kg), 10 (6,57 mg/kg), ενώ απόκλιση παρουσιάζει το δείγμα 8 (16,09 mg/kg). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ανιχνεύτηκαν στα Οινόφυτα και στο Σχηματάρι.

### **Νικέλιο**

Οι τιμές των δειγμάτων δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους, ως προς τις βιοδιαθέσιμες συγκεντρώσεις νικελίου. Η υψηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στο δείγμα 5 στα Οινόφυτα με τιμή 7,94 mg/kg και ακολουθούν το δείγμα 1 με τιμή 6,93 mg/kg στον Αυλώνα και τα δείγματα 4 (5,72 mg/kg) και 6 (5,20 mg/kg) στα Οινόφυτα. Η διαθέσιμη συγκέντρωση του νικελίου στον Αυλώνα που βρίσκεται στο νότιο περιθώριο της λεκάνης σχετίζεται πιθανώς με την παρουσία των οφιολιθικών πετρωμάτων στην περιοχή, ενώ στα Οινόφυτα και με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.



### **Χαλκός**

Οι συγκεντρώσεις του βιοδιαθέσιμου χαλκού που βρέθηκαν στα δείγματα κυμαίνονται από 0,58 mg/kg (δείγμα 13) μέχρι 13,96 mg/kg (δείγμα 8). Τα περισσότερα δείγματα παρουσιάζουν μια σχετική ομοιογένεια τιμών με εξαίρεση τα δείγματα 4 και 8 με τιμές 6,38 mg/kg και 13,96 mg/kg αντίστοιχα, τα οποία έχουν μεγαλύτερες τιμές από τα υπόλοιπα. Τα δείγματα αυτά εντοπίζονται στα Οινόφυτα.

### **Μαγγάνιο**

Οι συγκεντρώσεις του βιοδιαθέσιμου μαγγανίου στα δείγματα παρουσιάζουν ομοιογένεια, με εξαίρεση τη μικρότερη τιμή 6,35 mg/kg (δείγμα 13) και τη μεγαλύτερη 35,69 mg/kg (δείγμα 2) που απέχουν σημαντικά από τις τιμές των υπολοίπων δειγμάτων. Η μεγαλύτερη τιμή διαθέσιμου μαγγανίου εμφανίζεται στην περιοχή του Αυλώνα και σχετίζεται πιθανώς με την παρουσία πυριτικών και υπερβασικών πετρωμάτων.

### **Ψευδάργυρος**

Οι τιμές των δειγμάτων δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Η υψηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στο δείγμα 8 με τιμή 14,55 mg/kg και ακολουθεί το δείγμα 16 με τιμή 10,36 mg/kg, δηλαδή στις περιοχές των Οινοφύτων και της Οινόης.

## **4.7 ΡΥΠΑΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ**

Η εκτίμηση των επιπέδων της ρύπανσης που πραγματοποιείται με σύγκριση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων με οριακές τιμές που βασίζονται σε βιβλιογραφικά δεδομένα, δεν είναι αρκετή να δώσει πληροφορίες για την ποιότητα του εδάφους, παρά μόνο να προσδιορίσει την πιθανότητα της ρύπανσης. Το κενό αυτό έρχονται να καλύψουν οι διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες, οι οποίοι μπορούν να εκτιμήσουν τη συνολικότερη ρυπαντική κατάσταση του εδάφους. Οι δείκτες αυτοί είναι μαθηματικές εξισώσεις που λαμβάνουν υπόψη ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών και τις αποδίδουν με έναν αριθμό, ο οποίος μπορεί να ερμηνευτεί εύκολα. Ο υπολογισμός των δεικτών αυτών λαμβάνει υπόψη

τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και ποσοτικοποιεί την περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή ορισμένων από τους δείκτες αυτούς στα εδάφη της περιοχής μελέτης.

#### 4.7.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ( $I_{geo}$ )

Ο Δείκτης Γεωσυσσώρευσης ( $I_{geo}$ ) χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί το μέγεθος της ρύπανσης σε μία περιοχή (Müller, 1979). Οι τιμές του κατατάσσονται σε επτά τάξεις, από το μηδέν έως το έξι. Στην τάξη 0 συμπεριλαμβάνονται οι μη επιβαρυμένες περιοχές (αρνητικές τιμές  $I_{geo}$ ) και ο βαθμός ρύπανσης αυξάνεται έως την τάξη 6 στην οποία ανήκουν οι πολύ ρυπασμένες περιοχές (τιμές  $I_{geo} > 5$ ) (Ahdy & Khaled, 2009) (Πίνακας 4.5).

**Πίνακας 4.5:** Ταξινόμηση του δείκτη  $I_{geo}$  - Βαθμός επιβάρυνσης (πηγή: Müller, 1979)

$I_{geo}$	$I_{geo}$ – τάξη	Βαθμός επιβάρυνσης
<0	0	Μη επιβαρυμένη περιοχή
0-1	1	Μη επιβαρυμένη έως ελαφρά επιβαρυμένη περιοχή
1-2	2	Ελαφρά επιβαρυμένη περιοχή
2-3	3	Ελαφρά έως έντονα επιβαρυμένη περιοχή
3-4	4	Έντονα επιβαρυμένη
4-5	5	Έντονα επιβαρυμένη έως ρυπασμένη περιοχή
>5	6	Ρυπασμένη περιοχή

Ο δείκτης αυτός δίνεται από τον τύπο:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \cdot B_n}$$

όπου:

$C_n$ : Η συγκέντρωση του εξεταζόμενου μετάλλου  $n$  στο δείγμα στην κοκκομετρική τάξη <2  $\mu\text{m}$  (άργυλος),

$B_n$ : Η γεωχημική συγκέντρωση του υποβάθρου. Η τιμή 1,5 είναι συντελεστής διόρθωσης της μάζας του υποβάθρου (background matrix correction factor).

Οι τιμές του γεωχημικού υποβάθρου που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο στερεό φλοιό της (average shales) όπως αυτές δίνονται από τους Turekian and Wedepohl (1961).

Στον Πίνακα 4.6 αναφέρονται οι δείκτες γεωσυσσώρευσης που προσδιορίστηκαν στα επιφανειακά εδάφη των περιοχών, Αυλώνα, Οινοφύτων, Οινόης και Σχηματαρίου.

**Πίνακας 4.6:** Τιμές δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo στα επιφανειακά εδάφη της περιοχής μελέτης.

<b>Δείγμα</b>	<b>Igeo Mn</b>	<b>Igeo Cr</b>	<b>Igeo Cu</b>	<b>Igeo Ni</b>	<b>Igeo Pb</b>	<b>Igeo Zn</b>
<b>1</b>	-0,65	1,87	-1,60	1,90	-0,63	-0,64
<b>2</b>	0,45	2,23	-1,34	2,33	-0,05	-0,63
<b>3</b>	-0,97	0,12	-1,35	0,76	-1,10	-1,43
<b>4</b>	-1,43	0,34	-0,93	2,42	-1,15	-1,32
<b>5</b>	-0,63	0,88	-0,81	1,47	0,28	-0,69
<b>6</b>	-1,69	0,12	-2,12	2,73	3,51	-2,14
<b>7</b>	-0,91	0,17	-1,26	1,55	3,32	-1,16
<b>8</b>	-2,21	-0,28	-0,30	1,20	2,96	-0,87
<b>9</b>	-1,14	-0,29	-1,18	1,19	2,96	-1,39
<b>10</b>	-1,59	-0,59	-1,57	0,49	-0,41	-1,29
<b>11</b>	-1,35	-0,28	-2,03	0,98	-2,20	-1,90
<b>12</b>	-1,21	0,14	-1,81	1,51	-2,42	-1,68
<b>13</b>	-1,26	0,55	-1,80	1,93	-1,57	-1,75
<b>14</b>	-1,06	0,78	-1,48	1,83	-2,11	-1,46
<b>15</b>	-0,73	2,35	-1,61	1,81	3,57	-1,01
<b>16</b>	-1,44	-0,28	-1,38	1,33	3,10	-1,43

Οι τιμές του **δείκτη Igeo για το Mn** είναι όλες αρνητικές και ανήκουν στην τάξη Igeo = 0 εκτός από μία που ανήκει στην τάξη Igeo = 1. Επομένως η περιοχή μελέτης είναι μη επιβαρυσμένη ως προς το Mn.

Οι τιμές του **δείκτη Igeo για το Cr** κυμαίνονται από -0,59 έως 2,35. Πέντε δείγματα έχουν αρνητικές τιμές, ανήκουν στην τάξη Igeo = 0 και τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυσμένα ως προς το χρώμιο.

Οκτώ δείγματα ανήκουν στην τάξη Igeo = 1 και η αντίστοιχη περιοχή είναι επιβαρυσμένη έως ελαφρώς επιβαρυσμένη ως προς το χρώμιο.

Ένα δείγμα (δείγμα 1) ανήκει στην τάξη Igeo = 2 και η περιοχή στο κέντρο του Αυλώνα που ελήφθη θεωρείται ελαφρώς επιβαρυσμένη.

Τέλος δύο δείγματα ανήκουν στην τάξη  $I_{geo} = 3$ . Τα δείγματα αυτά (δείγμα 2 και 15) λήφθηκαν από την περιοχή του Αυλώνα και κοντά στα Οινόφυτα αντίστοιχα. Πιθανότατα συνδέονται με την παρουσία των οφιολιθικών - σερπεντινιακών πετρωμάτων που απαντώνται στην περιοχή και είναι πλούσια σε Cr. Έτσι η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται ελαφρώς έως έντονα επιβαρυμένη σε χρώμιο.

Οι τιμές του **δείκτη  $I_{geo}$  για τον Cu** είναι όλες αρνητικές, ανήκουν στην τάξη  $I_{geo} = 0$  και τα εδάφη της περιοχής είναι μη επιβαρυμένα ως προς το χαλκό.

Οι τιμές του **δείκτη  $I_{geo}$  για τον Ni** κυμαίνονται μεταξύ 0,49 και 2,73. Αναλυτικότερα, τρία δείγματα ανήκουν στην τάξη  $I_{geo} = 1$  και τα εδάφη είναι μη επιβαρυμένα έως ελαφρά επιβαρυμένα, δέκα δείγματα ανήκουν στην τάξη  $I_{geo} = 2$  και οι περιοχές στις οποίες αντιστοιχούν είναι ελαφρώς επιβαρυμένες σε νικέλιο και τρία δείγματα (δείγμα 2, 4, 6) κατατάσσονται στην τάξη  $I_{geo} = 3$ . Επομένως οι περιοχές του Αυλώνα και των Οινόφυτων θεωρούνται ελαφρώς έως έντονα επιβαρυμένες σε νικέλιο.

Οι τιμές του **δείκτη  $I_{geo}$  για τον Pb** παίρνουν αρνητικές τιμές για εννέα δείγματα που ανήκουν στην τάξη  $I_{geo} = 0$  και δεν είναι επιβαρυμένα σε μόλυβδο. Ένα δείγμα ανήκει στην τάξη  $I_{geo} = 1$  (μη επιβαρυμένη έως ελαφρώς επιβαρυμένη περιοχή), δύο δείγματα στην τάξη  $I_{geo} = 2$  (ελαφρώς επιβαρυμένη περιοχή) και τέσσερα δείγματα κατατάσσονται στην τάξη  $I_{geo} = 3$  και θεωρούνται ελαφρώς έως έντονα επιβαρυμένα σε μόλυβδο. Τα δείγματα αυτά απαντώνται κυρίως κατά μήκος της Εθνικής οδού Αθηνών - Λαμίας και πιθανότατα ένα ποσοστό του μολύβδου προέρχεται από την μετακίνηση των οχημάτων κατά μήκος της.

Οι τιμές του **δείκτη  $I_{geo}$  για τον Zn** παίρνουν όλες αρνητικές τιμές και ανήκουν στην τάξη  $I_{geo} = 0$ . Επομένως τα εδάφη της περιοχής μελέτης είναι μη επιβαρυμένα σε ψευδάργυρο.

#### 4.7.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (PI: Pollution Index)

Ο Δείκτης Ρύπανσης (PI) συνήθως χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των βαρέων μετάλλων για το έδαφος και δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{C_n}{GB}$$

όπου:

PI: ο δείκτης ρύπανσης για το κάθε προσδιοριζόμενο στοιχείο

Cn: η μέση συγκέντρωση του στοιχείου στο έδαφος (σε mg/kg) που προέρχεται από τουλάχιστον πέντε θέσεις δειγματοληψίας,

GB: η τιμή του γεωχημικού υποβάθρου για το ίδιο στοιχείο (σε mg/kg) το οποίο καθορίζεται είτε από τη σχετική νομοθεσία είτε επιλέγεται από τη βιβλιογραφία.

Ανάλογα με τις τιμές του δείκτη PI τα εδάφη κατατάσσονται ως εξής (Yang et al., 2020):

PI<1 μη ρυπασμένο έδαφος, 1≤PI<2 χαμηλό επίπεδο ρύπανσης, 2≤PI<3 μέτριο επίπεδο ρύπανσης, 3≤PI<5 ισχυρή ρύπανση και PI≥5 πολύ ισχυρή ρύπανση.

Ο Δείκτης Ρύπανσης (PI) που υπολογίστηκε για τα επιφανειακά εδάφη της περιοχής μελέτης πήρε τις ακόλουθες τιμές για κάθε μέταλλο:

- **Για το Mn** είναι ίσος με 0,76 και είναι μικρότερος του 1. Επομένως το έδαφος είναι μη ρυπασμένο ως προς το μαγγάνιο.
- **Για το Cr** είναι ίσος με 2,64 και κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3. Επομένως σύμφωνα με την παραπάνω κατάταξη τα εδάφη της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν μέτριο επίπεδο ρύπανσης ως προς το χρώμιο.
- **Για το Cu** είναι ίσος με 0,59, δηλαδή μικρότερος του 1 και τα εδάφη είναι μη ρυπασμένα από το χαλκό.
- **Για τον Pb** είναι ίσος με 5,89, δηλαδή >5 και τα εδάφη εμφανίζουν πολύ ισχυρή ρύπανση ως προς τον μόλυβδο.
- **Για το Ni** είναι ίσος με 4,90 και κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5, δηλαδή τα εδάφη εμφανίζουν ισχυρή ρύπανση ως προς το νικέλιο.
- **Για τον Zn** είναι ίσος με 0,64, μικρότερος του 1, συνεπώς τα εδάφη είναι μη ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο.

#### 4.7.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PLI (Pollution Load Index)

Ο δείκτης φορτίου ρύπανσης PLI εφαρμόζεται για να εκτιμηθεί συνολικά ο βαθμός ρύπανσης του εδάφους. Δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$PLI = \sqrt[n]{PI_1 \times PI_2 \times PI_3 \times \dots \times PI_n}$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν και  $PI$  οι υπολογισμένες τιμές του δείκτη ρύπανσης.

Όταν ο δείκτης  $PLI \leq 1$  τότε περιγράφει μια κατάσταση του εδάφους χωρίς ρύπανση, ενώ όταν ο  $PLI > 1$ , τότε το έδαφος είναι ρυπασμένο από βαρέα μέταλλα. Ειδικότερα διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ως προς τη ρύπανση:

$PLI < 1$ : Χαμηλή ρύπανση

$1 < PLI < 3$ : Μέτρια ρύπανση

$3 < PLI < 6$ : Σημαντική ρύπανση

$PLI > 6$ : Πολύ υψηλή ρύπανση

Στα επιφανειακά εδάφη της περιοχής μελέτης υπολογίστηκε ο δείκτης φορτίου ρύπανσης  $PLI$  ίσος με 1,67. Σύμφωνα με την παραπάνω κατάταξη τα εδάφη παρουσιάζουν μέτρια ρύπανση ως προς τα βαρέα μέταλλα που μελετήθηκαν.

#### 4.7.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (MEC)

Με το δείκτη αυτό είναι δυνατό να εκτιμηθεί η προέλευση των βαρέων μετάλλων, δηλαδή να προσδιοριστεί εάν οι πηγές τους είναι ανθρωπογενούς ή λιθογενούς προέλευσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιεί οριακές τιμές βαρέων μετάλλων (ανεκτά επίπεδα) που δίνονται από τον Klokke (1979). Αυτές οι τιμές είναι 100 mg/kg για τα μέταλλα Cu, Ni, Pb και 300 mg/kg για τον Zn.

Ο δείκτης MEC δίνεται από τη σχέση:

$$MEC = \frac{\left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n}\right)}{n}$$

όπου  $C$  είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε βαρέα μέταλλα,  $T$  τα ανεκτά επίπεδα σύμφωνα με τον Klokke (1979) και  $n$  ο αριθμός των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν.

Τιμές του δείκτη πάνω από 1 δείχνουν ανθρωπογενή προέλευση των ρύπων στα εδάφη. Ο δείκτης MEC εφαρμόστηκε στα εδάφη της περιοχής μελέτης και είναι ίσος με 1,25 υποδεικνύοντας ανθρωπογενή προέλευση των βαρέων μετάλλων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι περιοχές των Οиноφύτων - Οινόης - Σχηματαρίου και Αυλώνα βρίσκονται κοντά στη βιομηχανική ζώνη Βοιωτίας, μιας από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές περιοχές της Ελλάδας με σημαντικά φορτία ρύπων στην ατμόσφαιρα, τα εδάφη, τα ιζήματα και τα ύδατα της περιοχής αυτής.

Από την μελέτη των κυριότερων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των εδαφών τους προέκυψε ότι ως προς την κοκκομετρία τους ανήκουν στις κατηγορίες «Αμμώδης πηλός», «Πηλός», «Αργιλώδης πηλός» και «Αμμοαργιλώδης πηλός», είναι μέτρια έως ισχυρώς αλκαλικά και έχουν μέση έως πλούσια περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα.

Επιπλέον, τα επιφανειακά εδάφη είναι ρυπασμένα από το μόλυβδο, το νικέλιο, το χρώμιο και το μαγγάνιο, ενώ δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη ρύπανση από το χαλκό και τον ψευδάργυρο. Οι υψηλότερες ολικές συγκεντρώσεις νικελίου, χρωμίου και μαγγανίου προσδιορίστηκαν στην περιοχή του Αυλώνα και πιθανότατα οφείλονται στην αποσάθρωση των πλούσιων σε αυτά υπερβασικών οφιολιθικών πετρωμάτων που απαντώνται στην περιοχή. Υψηλές συγκεντρώσεις τους μετρήθηκαν και στα Οινόφυτα, οι οποίες αποδίδονται κυρίως στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Εντονότερη ρύπανση παρουσιάζουν τα εδάφη ως προς το μόλυβδο, οι μεγαλύτερες τιμές του οποίου προσδιορίστηκαν κατά μήκος της εθνικής οδού Αθηνών - Λαμίας και αποδίδονται κυρίως στην έντονη κυκλοφορία των οχημάτων κατά μήκος της.

Ομοίως, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του βιοδιαθέσιμου νικελίου και μαγγανίου προσδιορίστηκαν στα Οινόφυτα και στον Αυλώνα, ενώ του βιοδιαθέσιμου μολύβδου στα Οινόφυτα και στο Σχηματάρι. Οι μεγαλύτερες τιμές των διαθέσιμων μορφών χαλκού και ψευδαργύρου απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή των Οиноφύτων.

Σύμφωνα με τους ρυπαντικούς δείκτες εδάφους που υπολογίστηκαν τα εδάφη παρουσιάζουν έως πολύ ισχυρή ρύπανση από το μόλυβδο, ισχυρή ρύπανση από το νικέλιο και μέτρια ρύπανση από το χρώμιο, ενώ δεν εμφανίζουν σημαντικά επίπεδα ρύπανσης από το χαλκό, τον ψευδάργυρο και το μαγγάνιο. Ο εμπλουτισμός των εδαφών σε βαρέα μέταλλα οφείλεται σε σημαντικό βαθμό σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανική



δραστηριότητα, μεταφορές, γεωργικές καλλιέργειες κ.λπ.), κυρίως στο αστικό κέντρο των Οиноφύτων και δευτερευόντως στην Οινόη και στο Σχηματάρι. Οι συγκεντρώσεις νικελίου, χρωμίου και μαγγανίου αποδίδονται σε ένα ποσοστό στον εμπλουτισμό των εδαφών σε αυτά λόγω της εξαλλοίωσης των οφιολιθικών - σερπεντινιτικών πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής.

Συμπερασματικά, στην ευρύτερη περιοχή των Οиноφύτων προσδιορίστηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, κυρίως μολύβδου, νικελίου και χρωμίου, ανθρωπογενούς κυρίως προέλευσης, και στον Αυλώνα υψηλές περιεκτικότητες νικελίου, μαγγανίου και χρωμίου, γεωγενούς κυρίως προέλευσης.

Η ανάπτυξη που επιφέρει η βιομηχανική δραστηριότητα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, τα προβλήματα της υγείας του πληθυσμού και την απαξίωση των φυσικών πόρων, όπως είναι το έδαφος και το νερό, και τελικά, το κόστος ευκαιρίας από εναλλακτικές δραστηριότητες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αδαμακόπουλος Τ., Σφήκας Γ. και Χατζηβαρσάνης Β., (1988). Αξιολόγηση και διαχείριση του οικοσυστήματος της Γκιώνας. Κίνηση Προστασίας Εθνικών Δρυμών.Σελ. 94.
- Αθουσάκη Α., (2009). Βιοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων σε εδάφη. Μεταπτυχιακή εργασία. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης. Σελ. 94.
- Αλιφραγκής Δ., (2015). Το έδαφος: Διαχείριση, Προστασία, Βελτίωση και Αποκατάσταση των Λειτουργιών του. Εκδόσεις Αϊβάζη. Θεσσαλονίκη (υπό έκδοση).
- Αλιφραγκής Δ., Γαζέα Ε., Βουλγαρίδου Ε., Βαβελίδης Μ., Γαλατσιάνου Α., και Αγαλή Α., (2014). Αποικισμός ισχυρά ρυπασμένων εδαφών μετά τη χημική σταθεροποίηση τους. 15<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο. 26-28 Νοεμβρίου 2014,.Πάτρα.
- Αντωνοπούλου Μ., (2020). Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών αστικών πάρκων της Θήβας. Μεταπτυχιακή διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 81.
- Βαβίζος Γ. και Μερτζάνης Α., (2003). Περιβάλλον - Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Αθήνα. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.Σελ. 342.
- Βαλαβανίδης Α. και Βλαχογιάννη Θ., (2008) Περιβαλλοντική Χημεία και Οικοτοξικολογία. Διαχείριση Οικοσυστημάτων Εκτίμηση Οικολογικού Κινδύνου.
- Γαλανάκη Ε. Κ., (2019). Βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων σε λαχανοκομικά είδη. Πτυχιακή Διατριβή. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.Σελ. 121.
- Γκούσης Κ., Κονισπολιάτης Ν., (2005). Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη εδαφών της περιοχής Οινοφύτων, Ν. Βοιωτίας.
- Ευθυμίου Ε., (2018). Οι επιπτώσεις της έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην ανθρώπινη υγεία στην Ελλάδα. Μεταπτυχιακή εργασία. Ελληνικό ανοικτό Πανεπιστήμιο. Σχολή Θετικών επιστημών και τεχνολογίας.
- Ζωγόπουλος Ε., (2009). Ασωπός ρύπανση και επιπτώσεις στην υγεία. Πτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Θέος Ν., (2010). Περιβαλλοντικές Επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.Σελ.164.
- Ιωάννου Δ., (2001). Μελέτη της προσρόφησης βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων στα ιζήματα του Θερμαϊκού κόλπου, με τη χρήση μαθηματικών προτύπων επιφανειακής συμπλοκοποίησης. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 159.
- Καμινάρη Μ., Μερτζάνης Α. και Κωνσταντινίδου Ρ., (1989). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις εξορυκτικές δραστηριότητες στον ορεινό όγκο της Γκιώνας. Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας. 4-7 Σεπτεμβρίου. Μυτιλήνη.
- Κατρίτσης Δ.Χ., (2016). Κινητικότητα και βιοπροσβασιμότητα δυνητικά τοξικών στοιχείων σε επιφανειακά εδάφη του Λεκανοπεδίου Αθηνών. Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 162.
- Κελεπερτζής Α., (2006). Εργαστηριακές Ασκήσεις Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωχημείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

- ΚΕ.Π.Α.ΜΕ., (1997). Χωροταξικό Σχέδιο Νομού Βοιωτίας. Α΄ Φάση. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Βοιωτίας. Κέντρο Χωροταξικών - Πολεοδομικών & Αρχιτεκτονικών Μελετών. Τεχνική Έκθεση.
- Κόκκορης Β., (2014). Βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων από τους Βασιδιομύκητες *Coprinus comatus* και *Psathyrella candolleana* σε διάφορες περιοχές του λεκανοπεδίου της Αθήνας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Λουκίδου Μ., (2003). Απομάκρυνση τοξικών μετάλλων από αραιά διαλύματα με την εφαρμογή της βιορρόφησης. Διδακτορική διατριβή: Τμήμα Χημείας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μανουσάκης Γ., (1999). Γενική και ανόργανη χημεία. Σελ. 510-696.
- Μήτσιος Ι., (2004). Γονιμότητα εδαφών θρεπτικά στοιχεία φυτών. Μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και εφαρμογές. Ζυμηλ. Αθήνα.
- Μουσουλιώτης Α., (2019). Οργανική ουσία του εδάφους και η σημασία της. Κλάδος Χρήσης Γης και Ύδατος, Τμήμα Γεωργίας, διαθέσιμο στο: [http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/C671EB1BE83C1E28C225804800349C68/\\$file/ΟΡΓΑΝΙΚΗ%20ΟΥΣΙΑ%20ΤΟΥ%20ΕΔΑΦΟΥΣ%20ΚΑΙ%20Η%20ΣΗΜΑΣΙΑ%20ΤΗΣ.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/C671EB1BE83C1E28C225804800349C68/$file/ΟΡΓΑΝΙΚΗ%20ΟΥΣΙΑ%20ΤΟΥ%20ΕΔΑΦΟΥΣ%20ΚΑΙ%20Η%20ΣΗΜΑΣΙΑ%20ΤΗΣ.pdf). Ανάκτηση 25/11/2020.
- Μπρόφας Γ., (1987). Έρευνα για την αποκατάσταση του τοπίου στο λατομικό χώρο Πεντέλης. Δασική έρευνα. 149-186.
- Μπρόφας Γ., (1989). Η αποκατάσταση πράσινου στα λατομεία. Συνέδριο ΓΕΩΤΕΕ, 12-13 Απριλίου. Αθήνα.
- Νίκα Κ., (2014). Φυσικογεωγραφική μελέτη της λεκάνης του Βοιωτικού Ασωπού με έμφαση στην υδάτινη απορροή και στερεοπαροχή σε σχέση και με την αλλαγή του κλίματος. Διπλωματική εργασία. Αθήνα. Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος. ΕΚΠΑ.
- Οικονόμου Σ., (2011). Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση χρωμίου από τα υγρά απόβλητα των βυρσοδεψείων. Αθήνα.
- Πανελλήνιο Κέντρο Οικολογικών Ερευνών, ΠΑΚΟΕ, (2007). Έκθεση-Εκτίμηση της Υφιστάμενης Κατάστασης της Εταιρείας ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ & των Μελλοντικών Δραστηριοτήτων του Ομίλου Μυτιληναίος, Πρόγραμμα Για Ποιότητα Ζωής. Διαθέσιμο στο: [Pakoe.gr](http://Pakoe.gr). Ανάκτηση 22/12/2020.
- Παντελάκης Δ., (2019). Εδαφολογία: Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες εδαφών. ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας. Σημειώσεις μαθήματος.
- Παντέρα Α. και Γαλανοπούλου Σ., (2015). Διδακτικές Σημειώσεις Δασική Εδαφολογία Καρπενήσι.
- Παπαδημητρίου Ε., (2005). Τοξικοκινητική και βιοχημική μελέτη της επίδρασης χαλκού σε διάφορους ιστούς του αμφίβιου *Rana ridibuda*. Διδακτορική διατριβή: Τμήμα Βιολογίας. Πανεπιστήμιο Αριστοτέλειο Θεσσαλονίκης.
- Σιδέρης Χ., (2009). Διερεύνηση της δράσεως του καδμίου και άλλων βαρέων μετάλλων στη συμπεριφορά, αντιοξειδωτική κατάσταση, ένζυμα και βιογενείς αμίνες εγκεφάλου επιμυών. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Ιατρικής ΕΚΓΑ. Αθήνα. Σελ. 150.

- Στυλιανουδάκη Χ., (2019). Προσδιορισμός νιτρορύπανσης υπόγειων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή του Ασωπού ποταμού με χρήση ANNs. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Τάντος Β.& Παπαϊωάννου Α., (2008). Δασική Εδαφολογία. Σημειώσεις μαθήματος. ΤΕΙ Λάρισας.
- Τζαναβάρη Ι., (2019). Μελέτη ταυτοποίησης πηγών ρύπανσης και ανάπτυξη περιβαλλοντικού πλαισίου βάσει γεωλογικών και υδρογεωλογικών κριτηρίων-η περίπτωση του Ασωπού. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- Φιλιππίδης Α., (2006). Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Τμήμα εκδόσεων ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη.
- Χατζούδης Γ., (1996). Διερεύνηση της περιεκτικότητας σε Βαρέα Μέταλλα των Εδαφών και Φυτών του Θριάσιου Πεδίου. Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ. V. τευχ. 1-2.
- Alloway B., (1995). Heavy metals in soils. Second Edition. Springer-Verlag. USA 371p.
- Ahdy H. & Khaled A., (2009): Heavy Metals Contamination in Sediments of the Western Part of the Egyptian Mediterranean Sea. Aust. J. Basic & Appl. Sci. 3: 3330- 3336.
- Antibachi D., Kelepertzis E. and Kelepertzis A., (2012). Heavy Metals in Agricultural Soils of the Mouriki-Thiva Area (Central Greece) and Environmental Impact Implications. Soil and Sediment Contamination. 21:434-450.
- Antoniadis V., Golia E., Shaheen S., Rinklebe J., (2017). Bioavailability and health risk assessment of potentially toxic elements in Thriasio plain, near Athens, Greece. Environ Geochem Health 39: 319-330.
- Bouyoucos, G.J., (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. Soil Sci. 23: 343-352.
- Bouyoucos, G.J., (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agron. J. 43: 434-438.
- Bouyoucos, G.J., (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
- Callender E., (2003). Heavy Metals in the environment-historical trends Treatise Geochem. 9 p. 612.
- Clijsters H. & Van Assche F., (1985). Inhibition of photosynthesis by heavy metals. Vol.145. pp.31- 40.
- Cotton A. & Wilkinson G., (1980). Advanced inorganic chemistry. Forth edition. John Wiley and sons. p. 1400.
- Crouse R.G., Pories W.j, Bray J.T. and Mauger R.L., (1983). Geochemistry and Man: Health and Disease, 1. Essential elements. 2. Elements possibly essential. Those toxic and Others, in: Applied Environmental Geochemistry. ed. I. Thorton, Academic Press. London. 267-333.

- Duruibe J. O., Ogwuegbu M. O. and Egwurugwu J. N., (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects International Journal of Physical Sciences Vol. 2 (5). pp. 112-118. Διαθέσιμο στο: <http://www.academicjournals.org/IJPS> ISSN 1992 - 1950 © 2007 Academic Journals. Ανάκτηση 26/01/2021.
- Ernst W., (1998b). The origin and ecology of contaminated, stabilized and non-pristine soils. In: Vangronsveld J, Cunnungham SD (eds) Metal-contaminated soils. In situ inactivation and phytoremediation. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp 17-25.
- Foy D., Chaney L., White C., (1978). Physiology of metal toxicity in plants. Annu Rev. Plant physiol. Molec. Biol. 29:511-566.
- Gerdefaramarzi S., Ghasemi M., Gheysouri M., (2020). Pollution, human health risk assessment and spatial distribution of toxic metals in urban soil of Yazd City, Iran. Environ Geochem Health, Springer. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00844-y>. Ανάκτηση 3/8/2021.
- Ghosh M. & Singh S., (2005). A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of It's by Products. Asian Journal on Energy and Environment. ISSN 1513-4121.
- Iyaka Y., (2011). Nickel in soils: A review of its distribution and impacts. Scientific Research and Essays 6 (33): 6774-6777.
- Jokinen R. & Tähtinen H., (1987). Copper content of coarse mineral and peat soils and the growth of oats in pot experiment. Annales Agriculturae Fenniae 26:227-237.
- Kabata-Pendias A. and Pendias H., (2001). Trace Metals in soils and plants. CRC Press. Boca Raton. Fla. USA. 2<sup>nd</sup> edition 413p.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A., (2007). Trace Elements from soil to Human. Springer. Berlin 550p.
- Kabata-Pendias A., (2011). Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press Inc. Boca Raton. Florida 505P.
- Kanellopoulos C., Argyraki A., Mitropoulos P., (2015). Geochemistry of serpentine agricultural soil and associated groundwater chemistry and vegetation in the area of Atalanti. Greece. J Geochem Explor 158: 22-33.
- Kelepertzis E. and Stathopoulou E., (2013). Availability of geogenic heavy metals in soils of Thiva town (central Greece). Environ Monit Assess. 185. 9603–9618.
- Kloke A., (1979). Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury, and nickel in plants grown on contaminated soils. United Nations-ECE symposium. Geneva. pp. 51–53.
- Lu X., Gu A., Huang Ch., Wei Y., Xu M., Yin H., Hu X.F., (2021). Assessments of heavy metal pollution of a farmland in an urban area based on the Environmental Geochemical Baselines. Journal of Soils and Sediments 21:2659–2671. Springer. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02945-8>. Ανάκτηση 20/7/2021.
- Massas I., Kalivas D., Ehaliotis C., Gasparatos D., (2013). Total and available heavy metal concentrations in soils of the Thriassio plain (Greece) and assessment of soil pollution indexes. Environ Monit Assess.

- Moraetis D, Nikolaidis NP, Karatzas GP. et al., (2012). Origin and mobility of hexavalent chromium in North-Eastern Attica. Greece. *Appl Geochem* 27: 1170-1178.
- Müller, G. (1979). Schwermetalle in den Sediment en des Rheins — Veränderungenseit 1971. *Umschau*, 24 , 778-783
- Panagopoulos Th., González D. J., Bostenaru D. M., (2016). Urban planning with respect to environmental quality and human well-being. *Environmental Pollution*. Volume 208. Part A. Pages 137-144. ISSN 0269-7491.  
Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.07.038>. Ανάκτηση 21/07/2021.
- Reddy M.S., Basha S., Joshi H.V., Jha B., (2005). Evaluation of the emission characteristics of trace metals from coal and fuel fired power plants and their fate during combustion. *J. Hazard. Mater.* 123. 242-249.
- Rudnick R. & Gao S., (2013). *Composition of the Continental Crust*. Treatise on geochemistry. 2<sup>nd</sup> Edition. Elsevier Science.
- Singh H. B., Brune W. H., Crawford J. H., Flocke F., and Jacob D. J., (2006). Chemistry and transport of pollution over the Gulf of Mexico and the Pacific: INTEX-B campaign overview and first results, *Atmos. Chem. Phys.* 9. 2301–2318. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.5194/acp-9-2301-2009>. Ανάκτηση 10/12/2020.
- Solomons N.W., (1980). Zinc and Copper in Medicine. In: Karcioğlu Z. and Sarper R.M. (eds), Charles C. Thomas. Springfield. Illinois pp. 224-275.
- Salomons W. & Forstner U., (1984). *Metals in the Hydrocycle*. Springer Verlag Berlin/New York.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72 (2), 175–192.
- Van Assche F., Ceulemans R. & Clijsters H., (1980). Zinc mediated effects on leaf CO<sub>2</sub> diffusion conductances and net photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* L. Vol.145. pp.171-180.
- Veale T., Gherghel L., Predica V., Krebs R., (2008). Heavy metal contamination in the vicinity of an industrial area near Bucharest. *Environ science and technology in Romania*. Suppl 1. S27-S32. Springer. Διαθέσιμο στο: Doi: 10.1007/s11356-008-0073-5. Ανάκτηση 17/08/2021.
- Voutsas, D., Grimanis, A., Samara, C., (1996). Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter. *Environ. Pollut.* 94. 325- 335.
- Yang P., Drohan P., Yang M., Li H., (2020). Spatial variability of heavy metal ecological risk in urban soils from Linfen, China. *Catena* 190 104554.
- World Health Organization Geneva (1988). *International Programme on chemical safety. Environmental health criteria*, 61.
- Zayed A., Lytle C., Qian, JH. et al., (1998). Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta* 206. 293–299, Springer. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.1007/s004250050403>. Ανάκτηση 3/7/2021.

<https://el.wikipedia.org/>.

<http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>.

[https://www.researchgate.net/publication/327554824\\_Geochemike\\_periballontike\\_melete\\_edaphon\\_tes\\_perioches\\_Oinophyton\\_N\\_Boiotias](https://www.researchgate.net/publication/327554824_Geochemike_periballontike_melete_edaphon_tes_perioches_Oinophyton_N_Boiotias).

<https://www.filoxeno.com/articles/intercept?articleid=29971&categoryid=11588&place=%CE%9B%CE%99%CE%92%CE%91%CE%94%CE%95%CE%99%CE%91&lat=38.44794&lon=22.93756&polygonType=municipality&seotitle=%CF%87%CE%BB%CF%89%CF%81%CE%B9%CE%B4%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%B4%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%BD%CE%B1%CF%83%CF%83%CE%BF%CF%85-%CE%BB%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%B4%CE%B5%CE%B9%CE%B1&flag=menu>.

<http://www.parnassosnp.gr/%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CE%B4%CE%B1-%CF%84%CE%B1-%CE%B6%CF%89%CE%BD%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%AC-%CE%BC%CE%B1%CF%82.aspx>.

[http://www.parnitha-np.gr/index\\_xlorida.htm](http://www.parnitha-np.gr/index_xlorida.htm).

<http://www.elet.gr/pages/wp-content/uploads/65-Pages-from-4o-praktika.pdf>.

<https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/6134>, Ανάλυση ορατότητας της εξορυκτικής δραστηριότητας: μελέτη περίπτωσης Π.Ε. Βοιωτίας, Ευρυτανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας.

<http://www.greescapes.gr/index.php/2010-01-21-16-47-29/landscapescat/41-boiotias/230-oinofita>.

<http://ecocrete.gr/>.

<http://symparataxi.blogspot.com/2008/12/>. Ανάκτηση 16/01/2021.