



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΥΤΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Μεταπτυχιακή διατριβή

**Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών αστικών πάρκων της
Θήβας**

Μαρία Ν. Αντωνοπούλου

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Γαλανοπούλου Σταυρούλα, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ

**ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ
2020**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών αστικών πάρκων της
Θήβας

Study of heavy metal pollution in soils of urban parks of Thebes

Μαρία Ν. Αντωνοπούλου

Εξεταστική Επιτροπή:

Σταυρούλα Γαλανοπούλου, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Σπυρίδων Καλούδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Αναστασία Παντέρα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών αστικών πάρκων της Θήβας

Γενικό Τμήμα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η πιθανή ρύπανση από βαρέα μέταλλα των επιφανειακών εδαφών αστικών πάρκων της πόλης της Θήβας. Συλλέχθηκαν 17 σύνθετα επιφανειακά δείγματα εδάφους από βάθος 0 έως 10 cm από τέσσερα πάρκα της πόλης και πραγματοποιήθηκαν σε αυτά κοκκομετρικές και γεωχημικές αναλύσεις (προσδιορισμός pH, οργανικού άνθρακα, βαρέων μετάλλων Mn, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn).

Τα εδάφη είναι πλούσια σε οργανικό άνθρακα, ελαφρά αλκαλικά έως μέσο αλκαλικά και ως προς την κοκκομετρία τους χαρακτηρίζονται ως ελαφριάς μηχανικής σύστασης.

Από τη σύγκριση των τιμών των βαρέων μετάλλων με τις μέσες συγκεντρώσεις των στοιχείων στο στερεό φλοιό της γης και στα εδάφη, προέκυψε ότι τα εδάφη δεν είναι ρυπασμένα ως προς το Mn, τον Cu τον Zn, ενώ παρουσιάζουν μια μικρή επιβάρυνση ως προς τον Pb. Επίσης είναι ρυπασμένα ως προς το Cr και σε μεγάλο βαθμό ως προς το Ni. Τα βαρέα μέταλλα έχουν κυρίως γεωγενή προέλευση που οφείλεται στις εξαλλοιωτικές διεργασίες των πλούσιων σε ιχνοστοιχεία υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής.

Για την εκτίμηση του βαθμού της ρύπανσης των εδαφών προσδιορίστηκαν διάφοροι απλοί και σύνθετοι δείκτες ρύπανσης από τους οποίους προέκυψε σημαντική ρύπανση από νικέλιο γεωγενούς προέλευσης, σε μικρότερο βαθμό από το χρώμιο και σε πολύ μικρό βαθμό από τον μόλυβδο.

Επιστημονική περιοχή: Περιβαλλοντική γεωχημεία

Λέξεις κλειδιά: Αστικά εδάφη, βαρέα μέταλλα, δείκτες ρύπανσης, Θήβα

Study of heavy metal pollution in soils of urban parks of Thebes

General Department

ABSTRACT

In the present study, the possible heavy metal pollution of the surface soils of urban parks in the city of Thebes was studied. We collect 17 composite surface soil samples from a depth of 0 to 10 cm from four city parks and granulometric and geochemical analyzes were performed on them (determination of pH, organic carbon, heavy metals Mn, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn).

The soils are rich in organic carbon, slightly alkaline to medium alkaline and in terms of granulometry are characterized as light mechanical composition.

From the comparison of the values of heavy metals with the average concentrations of elements in the crust of the earth and in the soils, it resulted that the soils are not contaminated with respect to Mn, Cu with Zn, while they present a small charge of Pb. They are also contaminated with Cr and to a large extent with Ni. The heavy metals have mainly geogenic origin due to the alteration processes of the trace element rich ultramafic rocks of the area.

To assess the degree of soil pollution, various simple and complex pollution indicators were identified, which resulted in significant nickel pollution of geogenic origin to a lesser extent in terms of chromium and to a very lesser extent in terms of lead.

Scientific area: Environmental geochemistry

Keywords: Urban soils, heavy metals, pollution indices, Thebes

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

Μαρία Ν. Αντωνοπούλου

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Σ.Ε. του Π.Μ.Σ. του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, 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

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε ως μεταπτυχιακή εργασία, η οποία ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2019. Μελετήθηκαν οι χώροι πρασίνου της Θήβας ως προς τη ρύπανσή τους από βαρέα μέταλλα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας προκύπτουν από αναλύσεις σε δεκαεπτά (17) δείγματα εδάφους, τα οποία συλλέχθηκαν από αστικά πάρκα στην πόλη Θήβα, καθώς και από βιβλιογραφική μελέτη.

Ευχαριστώ θερμά την κ. Γαλανπούλου Σταυρούλα για την ανάθεση του θέματος της εργασίας μου, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά της και την εποπτεία της κατά τη διεξαγωγή της. Ευχαριστώ επίσης την κ. Παντέρα Αναστασία για τη συμβολή του εργαστηρίου εδαφολογίας στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας μου και τον κ. Καλούδη Σπυρίδωνα για την συμβολή του στη δημιουργία των χαρτών. Οφείλω επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Μουστάκα Νικόλαο, διευθυντή του εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών καθώς και στον κ. Τζιουβαλέκα Μιλτιάδη, Δόκιμο Ερευνητή ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Επιπλέον ευχαριστώ θερμά τους φίλους, συναδέλφους, την οικογένειά μου και ιδιαίτερα το σύζυγό μου, που με στήριξαν ως την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.3 ΕΔΑΦΟΣ.....	2
1.3.1 ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	4
1.3.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	5
1.3.3 ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	7
1.3.4 ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	9
1.3.5 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ.....	11
1.3.6 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	11
1.3.7 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	13
1.3.8 ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ.....	21
1.3.8.1 ΑΠΛΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	22
1.3.8.2 ΣΥΝΘΕΤΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	24
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	26
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	26
2.1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΗΒΑΣ.....	27
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	31
2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	32
2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	33
2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	34
2.6 ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ	38
3.ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	41
3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	41
3.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	41
3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	43
3.3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	43
3.3.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	44
3.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH.....	45
3.3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ	45
3.3.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	46
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	48

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	48
4.1.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	48
4.1.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΘΗΒΑΣ.....	49
4.1.3 pH	50
4.1.4 ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ	50
4.1.5 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	52
4.1.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	58
4.1.6.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (Igeo).....	58
4.1.6.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (PI: Pollution Index)	60
4.1.6.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PLI (Pollution Load Index).....	60
4.1.6.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΜΕC).....	60
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	61
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Κύριοι εδαφικοί ορίζοντες (πηγή: Πολυμενέας, 2012).	3
Εικόνα1.2: Διαγράμματα Eh και pH που δείχνουν τη σταθερότητα των εδαφών σε θερμοκρασία 25°C και ολική πίεση 1 atm (πηγή: Garrels & Christ, 1965).....	7
Εικόνα 2.1: Γεωγραφική θέση της Θήβας στην Ελλάδα (πηγή : προσαρμογή από google maps.com).....	26
Εικόνα 2.2: Γράφημα απεικόνισης χρήσεων γης στην περιοχή Βοιωτίας (πηγή: Δάβου, 2014)	27
Εικόνα2.3: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής Θήβας (πηγή: ΕΜΥ, 1999)	33
Εικόνα 2.4: Γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (ΤΙΝ) στον οποίο απεικονίζονται οι υπολεκάνες, οι λίμνες και το υδρογραφικό δίκτυο (πηγή: Κουτσουρέλης, 2013)	34
Εικόνα 2.5: Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (πηγή: Μουντράκης, 1985).	35
Εικόνα 3.1: Θέσεις δειγματοληψίας	42
Εικόνα 3.2: Επιφάνεια δειγματοληψίας	43
Εικόνα 4.1: Τριγωνικό Διάγραμμα Μηχανικής Σύστασης των εδαφών κατά το Αμερικανικό Σύστημα (πηγή: Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).	49
Εικόνα 4.2: Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Cr (mg/kg) στα αστικά πάρκα της Θήβας.....	54
Εικόνα 4.3: Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Ni (mg/kg) στα αστικά πάρκα της Θήβας.....	56
Εικόνα 4.4: Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Pb (mg/kg) στα αστικά πάρκα της Θήβας.....	57

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες εδαφών ανάλογα με το βάθος τους (πηγή: Τάντος Β. & Παπαϊωάννου Α., 2006).	2
Πίνακας 1.2: Ταξινόμηση δείκτη Igeo και βαθμός επιβάρυνσης (πηγή: Turekian & Wedepohl, 1961)	23
Πίνακας 1.3: Ανεκτά επίπεδα βαρέων μετάλλων στα εδάφη (Kloke, 1979).	25
Πίνακας 4.1: Μηχανική σύσταση επιφανειακών εδαφών αστικών πάρκων της Θήβας.	48
Πίνακας 4.2: Περιεχόμενος οργανικός άνθρακας και pH επιφανειακών εδαφών αστικών πάρκων της Θήβας.....	51
Πίνακας 4.3: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας σε mg/kg.....	52
Πίνακας 4.4: Τιμές δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo στα επιφανειακά εδάφη της Θήβας.....	58

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επιβάρυνση των οικοσυστημάτων από βαρέα μέταλλα αποτελεί σήμερα ένα παγκόσμιο πρόβλημα και πολλές έρευνες γίνονται με στόχο την μελέτη της συμπεριφοράς των επικίνδυνων στοιχείων στο έδαφος, σε συνάρτηση με τις εδαφικές ιδιότητες αλλά και την τοπογραφία της κάθε περιοχής. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η ανάπτυξη της βιομηχανικής παραγωγής σε συνδυασμό με την συσσώρευση μεγάλου μέρους του πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα και κοντά σε μεγάλες βιομηχανικές ζώνες έχει οδηγήσει στην αύξηση των ποσοστών ρύπανσης των περιοχών αυτών και στην αναγκαιότητα της μελέτης της ρύπανσης των αστικών περιβαλλόντων.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να μελετηθούν τα εδάφη της Θήβας ως προς την περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα εξαιτίας της γειτνίασης της πόλης με τη βιομηχανική ζώνη της Περιφερειακής Ενότητας Βοιωτίας. Αναλυτικότερα, σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να διερευνηθεί η πιθανή ρύπανση των εδαφών των αστικών πάρκων της Θήβας από βαρέα μέταλλα, να προσδιοριστεί ο βαθμός της ρύπανσης και να αναδειχθούν οι βασικές πηγές των ρύπων.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας συντέλεσε αφενός καθοριστικά στη διαμόρφωση του ανθρώπινου πολιτισμού, αφετέρου δε σε μια σειρά γεγονότων καταστροφικών για τον πλανήτη (Γεντεκάκης, 2010). Το περιβάλλον επιβαρύνεται από ατμοσφαιρικούς ρύπους και από κάθε διαλυτή (υδρόφιλη) ή αδιάλυτη (υδρόφοβη) στο νερό ουσία, η οποία όταν εισάγεται σ' αυτό από ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις. Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που εμφανίζονται από τα σωματίδια των ρύπων επιφέρουν προβλήματα στο οικοσύστημα και στη δημόσια υγεία (Karagkouni et. al., 2015).

Τα πετρώματα και τα διάφορα ορυκτά, περιέχουν τα θεμελιώδη δομικά συστατικά του πλανήτη και περιλαμβάνουν την πλειονότητα των χημικών στοιχείων. Πολλά στοιχεία είναι ουσιαστικής σημασίας για τα φυτά, τα ζώα και την ανθρώπινη υγεία. Τα

περισσότερα από αυτά τα στοιχεία, εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφής, του νερού και του αέρα. Τα πετρώματα, μέσω της αποσάθρωσης, δημιουργούν το έδαφος στο οποίο οι καλλιέργειες και τα ζώα διαβιώνουν. Το πόσιμο νερό διέρχεται μέσα από τα πετρώματα και τα εδάφη ως μέρος του υδρολογικού κύκλου, ενώ ένα μεγάλο μέρος της ατμοσφαιρικής σκόνης είναι γεωλογικής προέλευσης. Ως εκ τούτου, μέσω της τροφικής αλυσίδας και της εισπνοής, η υγεία του ανθρώπου είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη γεωλογία (Ροκρας, 2005).

1.3 ΕΔΑΦΟΣ

Το έδαφος είναι το ανώτατο στρώμα του φλοιού της γης το οποίο μπορεί να φέρει βλάστηση. Βάθος του εδάφους είναι το μεγαλύτερο βάθος στο οποίο μπορούν να διεισδύσουν οι ρίζες των φυτών και από το οποίο η βλάστηση παίρνει νερό και θρεπτικά στοιχεία. Στην Ελλάδα το βάθος του εδάφους κυμαίνεται συνήθως από 30 μέχρι 80 cm και τα εδάφη κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με το βάθος τους (Πίνακας 1.1). Τα δασικά εδάφη έχουν βάθος συνήθως 50 cm, σπάνια 1m. Μικρό βάθος απαντάται σε περιοχές με σκληρά πετρώματα, με μεγάλες κλίσεις και συνεχή διάβρωση, όπως στα ορεινά δάση. Στις πεδινές περιοχές σχηματίζονται βαθιά εδάφη, λόγω της βαθύτερης διήθησης του νερού και έλλειψης διάβρωσης.

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες εδαφών ανάλογα με το βάθος τους (πηγή: Τάντος Β. & Παπαϊωάννου Α., 2006).

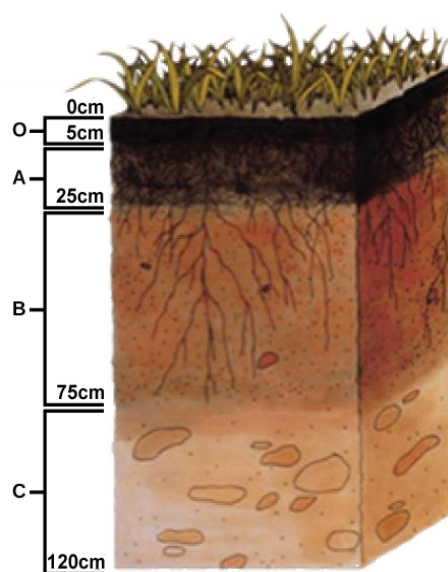
Κατηγορία	Βάθος σε cm
Πολύ αβαθές έδαφος	<15
Αβαθές έδαφος	15-30
Μετρίως βαθύ έδαφος	30-60
Βαθύ έδαφος	60-100
Πολύ βαθύ έδαφος	>100

Το έδαφος είναι ένα σημαντικό μέρος του οικοσυστήματός μας, με αποτέλεσμα να παίζει έναν πολύ βασικό ρόλο στην επιβίωση του ανθρώπου. Λειτουργεί ως φίλτρο διάφορων στοιχείων, αποθηκεύει θρεπτικά συστατικά και αποτελεί σύστημα προστασίας από τις επιπτώσεις της ρύπανσης. Επίσης συμβάλει σε αυτές τις λειτουργίες

καθώς και στην βιολογική δραστηριότητα, μόνο εφόσον διατηρεί την ικανότητά του να ανταλλάσσει κατιόντα με το περιβάλλον.

Η μορφολογική σύσταση του εδάφους, κυρίως η στερεά φάση του (Hammon et al., 2002), καθώς και οι ιδιότητές του συντελούν στο να συγκρατεί με διάφορους τρόπους τα θρεπτικά στοιχεία καθώς και βαρέα μέταλλα. Οι ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν τη χημική ισορροπία μεταξύ αυτών που βρίσκονται στη στερεά φάση και αυτών που βρίσκονται στην υγρή φάση του εδάφους, δηλαδή στο εδαφικό διάλυμα. Το έδαφος αποτελεί την κύρια πηγή ιχνοστοιχείων για τα φυτά τόσο θρεπτικών στοιχείων όσο και ρύπων, με αποτέλεσμα να αποτελεί άμεση πηγή στοιχείων που περνούν και στον άνθρωπο (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

Αποτελεί σημαντικό στοιχείο του γεωγραφικού περιβάλλοντος, την επαφή μεταξύ της γης (λιθόσφαιρας), του αέρα (ατμόσφαιρας) και των υδάτων (υδρόσφαιρας) και τη βάση λειτουργιών ζωντανών οργανισμών για τη ζωή στη γη. Είναι ένα φυσικό συσσωμάτωμα κόκκων που διαχωρίζεται με μηχανικό τρόπο. Σύμφωνα με τον Φλίγκο (2017), το υλικό του εδάφους έχει την τάση να εμφανίζει κατακόρυφη στρωμάτωση με συνέπεια τη δημιουργία εδαφικών οριζόντων οι οποίοι διαφοροποιούνται από το μητρικό πέτρωμα με βάση την κοκκομετρία και τη σύστασή τους. Οι κύριοι εδαφικοί ορίζοντες που αποτελούν το εδαφικό προφίλ συμβολίζονται διεθνώς A-B-C (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Κύριοι εδαφικοί ορίζοντες (πηγή: Πολυμενέας, 2012).

- Ο ορίζοντας A είναι ο ανώτερος ορίζοντας πλούσιος σε οργανικές ουσίες που του προσδίδουν σκουρόχρωμη όψη. Τα αργιλικά υλικά του ορίζοντα αυτού, καθώς και άλλα ευκίνητα υλικά αποπλένονται και μεταφέρονται στους βαθύτερους ορίζοντες.
- Ο ορίζοντας B είναι ο ενδιάμεσος ορίζοντας στον οποίο συγκρατούνται διάφορες χημικές ουσίες που προέρχονται από την απόπλυση του ορίζοντα A (οξειδία του σιδήρου, αργιλικά ορυκτά κ.ά.)
- Ο ορίζοντας C είναι ο κατώτερος εδαφικός ορίζοντας, που αποτελείται από μητρικό υλικό, μερικά αποσαθρωμένο. Ο ορίζοντας αυτός μπορεί να είναι οξειδωμένος (C_{ox}) ή να περιέχει $CaCO_3$ (C_{ca}).

Κάτω από τον ορίζοντα C υπάρχει το μητρικό πέτρωμα. Το κύριο χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί το έδαφος από τον ρεγόλιθο (αποσαθρωμένο πέτρωμα) είναι η εμφάνιση των ζωντανών οργανισμών, των οργανικών υπολειμμάτων και του χούμου.

1.3.1 ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το έδαφος σχηματίζεται από τη φυσική και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων, εξαρτώμενο από την σύσταση των μητρικών πετρωμάτων. Τα ανόργανα συστατικά του εδάφους περιέχουν κόκκους διαφόρων διαστάσεων που κατατάσσονται από λίθους έως σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων. Η κοκκομετρική σύσταση ενός εδάφους περιέχει τα λεπτομερή κλάσματα του εδάφους με μέγεθος κόκκων μικρότερο των 2mm και ονομάζεται λεπτή γη. Τα κλάσματα αυτά είναι τρία και διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Η άμμος με διάμετρο κόκκων μεταξύ 2 και 0,2 mm.
2. Η ιλύς με διάμετρο κόκκων μεταξύ 0,2 και 0,02 mm.
3. Η άργιλος με διάμετρο κόκκων <0,002 mm.

Η μηχανική σύσταση προσδιορίζει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών (υδατοϊκανότητα, ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, πορώδες κ.λ.π.), επηρεάζοντας την παραγωγικότητα τους. Κάθε κατηγορία κλασμάτων (άμμος, ιλύς και άργιλος), διαφέρει στις φυσικοχημικές ιδιότητες της. Αναλυτικότερα:

1. Η άμμος περιλαμβάνει πετρώματα πρωτογενών ορυκτών, κατά κύριο λόγο χαλαζία. Οι κόκκοι της άμμου μπορεί να είναι αποστρωγγυλεμένοι ή γωνιώδεις και ακανόνιστοι, ανάλογα με τη λείανση που έχουν υποστεί κατά τη μεταφορά τους. Τα εδάφη που περιέχουν αρκετή ποσότητα άμμου, έχουν τη δυνατότητα να αποστραγγίζονται και να αερίζονται πιο γρήγορα. Έχουν όμως και το μειονέκτημα της μη συγκράτησης των θρεπτικών στοιχείων του φυτού, καθώς επίσης εμφανίζουν λιγότερη συνοχή και πλαστικότητα του εδάφους.

2. Η ιλύς έχει μικρότερους κόκκους από την άμμο και ακανόνιστο σχήμα, παρουσιάζοντας κάποια πλαστικότητα και συνοχή. Όταν δεν συνοδεύεται από αρκετές ποσότητες άμμου, αργίλου και οργανικής ουσίας, δημιουργεί δυσμενείς εδαφικές συνθήκες, δημιουργώντας έδαφος συμπαγές ή με ασθενή δομή. Έχει όμως και το πλεονέκτημα μιας μικρής ποσότητας προσρόφησης των κατιόντων από την εδαφική δομή.

3. Η άργιλος αποτελείται από πεπλατυσμένους κόκκους και σε υγρή κατάσταση εμφανίζεται να έχει μεγάλη πλαστικότητα, συνεκτικότητα, συγκολλητικότητα και μεγάλο ποσοστό συγκράτησης υγρασίας. Με τη διαβροχή της διαστέλλεται, γίνεται κολλώδης και αποβάλλει θερμότητα, που καλείται θερμότητα διαβροχής, εμφανίζοντας έτσι ένα φαινόμενο αντιστρεπτό. Γενικά η άργιλος έχει μεγάλη ικανότητα προσρόφησης αερίων, νερού και ιόντων, καθώς και συγκράτησης θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος. Η συνεκτικότητα και η υδατοϊκανότητα του εδάφους αυξάνει όταν αυξάνεται το ποσοστό της αργίλου. Τα αργιλώδη εδάφη παρουσιάζουν δυσκολία στην καλλιέργεια και στην αποστράγγιση τους, εξαρτώμενα από την ποσότητα και την αναλογία των ορυκτών που αποτελούν την σύστασή τους (Πολυζόπουλος, 1976; Τσιτσίας, 1981; Τσώλη-Καταγά, 1991).

1.3.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η μελέτη των γεωχημικών χαρακτηριστικών των εδαφών έχει μεγάλη σημασία για τον προσδιορισμό των πιθανών πηγών των ρύπων από τοξικά βαρέα μέταλλα και ιδιαίτερα για τον διαχωρισμό μεταξύ της φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσής τους. Επιπλέον η μελέτη αυτή συνεισφέρει στην παρακολούθηση του βαθμού διατήρησης των ρύπων

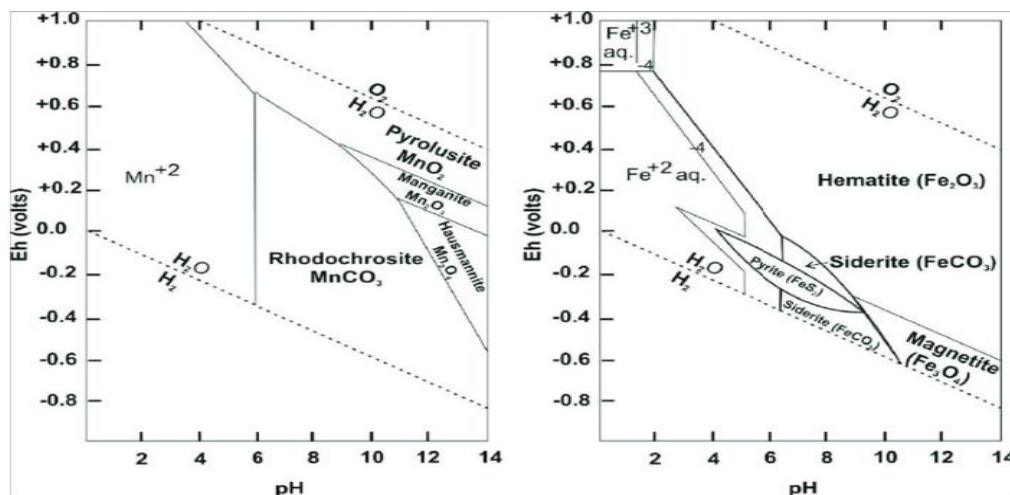
στο έδαφος αφού η γεωχημεία των εδαφών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αποθήκευση, συγκράτηση, μετακίνηση ή αποσύνθεση των διαφόρων ρυπαντών.

Η γεωχημική διασπορά των διαφόρων στοιχείων στο έδαφος επηρεάζεται από διάφορες ιδιότητες των εδαφών όπως η περιεχόμενη οργανική ουσία, το pH, το ποσοστό και το είδος των αργιλικών ορυκτών, το ποσοστό οξειδίων σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου κ.ά.

Οργανική ουσία περιέχουν όλα τα εδάφη σε διαφορετικές ποσότητες επηρεάζοντας τις χημικές ιδιότητες του εδάφους. Οι οργανικές ουσίες του εδάφους διακρίνονται σε χουμικές και μη- χουμικές ουσίες. Η οργανική ουσία αποτελείται από τμήματα φυτών (φύλλα, κλαδιά, κορμούς), οργανικά λείψανα και άμορφα υπολείμματα, γνωστά ως humus. Η ανάπτυξη του humus συνοδεύεται από έκλυση διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο προκαλεί μείωση του pH και δημιουργία όξινου περιβάλλοντος. Επιπλέον η παρουσία του αυξάνει την προσρόφηση νερού, καθώς και τις διεργασίες ανταλλαγής ιόντων. Οι μη - χουμικές ουσίες αποτελούνται από βιοχημικές ενώσεις όπως τα αμινοξέα, οι υδρογονάνθρακες, τα οργανικά οξέα, τα λίπη και τα έλαια, τα οποία δεν έχουν αλλάξει μορφή από αυτή που είχαν όταν συντέθηκαν από τους ζωντανούς οργανισμούς (Πολυζόπουλος, 1976).

Οι παράγοντες που ελέγχουν το πολύπλοκο σύνολο των χημικών διεργασιών αποσάθρωσης και διάβρωσης στα πετρώματα, από το οποίο εμπλουτίζονται σε μέταλλα τα εδάφη είναι: η οξείδωση, η αναγωγή, η υδρόλυση, η ενυδάτωση και η διάλυση. Όλες αυτές οι γεωχημικές αντιδράσεις ελέγχονται από χημικές ισορροπίες του περιβάλλοντος που φαίνονται από τα διαγράμματα Eh και pH (Εικόνα 1.2), (Garrels & Christ, 1965).

Οι εδαφικοί παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση των βαρέων μετάλλων μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών είναι το pH, η υφή του εδάφους, η ανταλλαγή ιόντων, η σύνθεσή του σε Al και Fe καθώς και οι μικροοργανισμοί του εδαφικού στρώματος και συμβάλλουν στην διαθεσιμότητα και κατανομή των ιχνοστοιχείων (Hogan et al., 1976; Kuo & Baker, 1980; Hughes et al., 1980; Jokinen & Tahtinen, 1987).



Εικόνα 1.2: Διαγράμματα Eh και pH που δείχνουν τη σταθερότητα των εδαφών σε θερμοκρασία 25°C και ολική πίεση 1 atm (πηγή: Garrels & Christ, 1965).

1.3.3 ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Ρύπανση είναι η παρουσία ρύπων στο περιβάλλον σε ποσότητα ικανή να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία τόσο των ζωντανών οργανισμών, όσο και στα οικοσυστήματα και γενικά στο περιβάλλον, καθιστώντας το ακατάλληλο για κάθε χρήση. Είναι η μεταβολή στη χημική σύσταση βασικών στοιχείων του περιβάλλοντος, όπως ο αέρας, το νερό και το έδαφος. Οι μορφές της είναι πολλές και εξαρτώνται από το τμήμα του περιβάλλοντος που επηρεάζουν. Η ρύπανση διακρίνεται σε κατηγορίες, όπως η θαλάσσια ρύπανση, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ρύπανση εδαφών, η ρύπανση των ιζημάτων, η ρύπανση των υδάτων, η ηχητική ρύπανση κλπ. Οι ρύποι μπορεί να είναι στερεοί, αέριοι ή υγροί με κύριες κατηγορίες τους ανόργανους ρύπους (βαρέα μέταλλα) και τους οργανικούς (υδρογονάνθρακες, παρασιτοκτόνα, πολυχλωριωμένα διφαινύλια κ.ά.). Οι ρύποι αυτοί έχουν αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο γιατί μπορούν να μεταφερθούν σε αυτόν μέσω της κατάποσης, της δερματικής επαφής ή της αναπνοής (Wei & Yang, 2010).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί φαινόμενα όπως του θερμοκηπίου, διάφορα νέφη (φωτοχημικό κ.ά.), την τρύπα του όζοντος, την όξινη βροχή. Μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τα ζώα, τη βλάστηση, τον άνθρωπο, τα μνημεία. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρουσιάζεται ιδιαίτερα έντονο στις μεγαλουπόλεις εξαιτίας των έντονων βιομηχανικών και αστικών δραστηριοτήτων.

Η θαλάσσια ρύπανση προέρχεται από τη διάβρωση των πετρωμάτων, την απόθεση υλικών από ηφαίστεια και εκρήξεις, αλλά και ζωντανούς οργανισμούς που δεσμεύουν και μεταφέρουν ρύπους μέσα από τις βιολογικές τους λειτουργίες. Κυρίως όμως οι ρύποι στη θάλασσα προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές όπως τα αστικά και βιομηχανικά λύματα που καταλήγουν σε αυτή, τη ναυσιπλοΐα, ατυχήματα, διαρροές πετρελαίου, αγροχημικά απορρίμματα, ραδιενεργές ουσίες και βαρέα μέταλλα, εξορυκτικές δραστηριότητες κ.ά.

Η ρύπανση του εδάφους προκαλείται από ρύπους που καταλήγουν σ' αυτό μετά την παραγωγή τους, μέσω του αέρα ή μέσω του νερού με τελική κατάληξη τα ιζήματα και τις τροφικές αλυσίδες των οικοσυστημάτων. Μέσω της τροφικής αλυσίδας, οι ρύποι μεταφέρονται από τα κατώτερα τροφικά επίπεδα στα ανώτερα και η συσσώρευσή τους είναι σταδιακά μεγαλύτερη όσο το τροφικό επίπεδο είναι υψηλότερο.

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στο έδαφος μπορεί να οφείλεται σε σημειακές ή μη σημειακές πηγές. Οι ουσίες που φτάνουν στο έδαφος είναι ή διαλυμένες στο νερό της βροχής, ή μεταφέρονται με τη μορφή επικάθισης στερεών συστατικών (drydeposition) ή με την απόθεση αποβλήτων (Αλιφραγκής, 2014). Οι ανθρωπογενείς ρύποι, είναι είτε ανόργανης μορφής, όπως άλατα, σκόνη, μέταλλα και μεταλλοειδή, διάφορα οξείδια και ιόντα, χλωριούχες και φθοριούχες ενώσεις κ.ά, είτε οργανικής μορφής όπως γύρις, οργανικά οξέα, κετόνες, σουλφίδια κ.ά. Η συμπεριφορά και η μορφή, των ρύπων στο έδαφος επηρεάζονται από τις ιδιότητες του εδάφους όπως είναι:

- οι συνθήκες τοξικότητας,
- η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους,
- η μορφή και η ποσότητα της οργανικής ουσίας του εδάφους
- η περιεκτικότητα σε ανθρακικά άλατα κ.ά. (Αλιφραγκής, 2015).

Βαρέα μέταλλα ονομάζονται τα μέταλλα που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από αυτό του σιδήρου (Fe) και είναι τοξικά και επιβλαβή σε υψηλές συγκεντρώσεις για τους ζωντανούς οργανισμούς. Ενώ υπάρχουν στα εδάφη σε χαμηλές συγκεντρώσεις που δεν επιβαρύνουν το φυσικό περιβάλλον, η υπερσυσσώρευση τους τα καθιστά τοξικά (Foy et al., 1978; Van Assche, 1983). Τα πιο βλαβερά είναι ο Μόλυβδος (Pb), ο Υδράργυρος (Hg), ο Χαλκός (Cu), το Κάδμιο (Cd), το Χρώμιο (Cr) και το Αρσενικό (As) (Passow et al., 1961).

Τα πιο τοξικά για τον άνθρωπο σε υψηλές συγκεντρώσεις θεωρούνται τα στοιχεία Cu, Zn, Mn, Mo, Co, Hg, Pb, Cd, Cr, Ni.

Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται τοξικά γιατί δεν αποικοδομούνται με τις φυσικές διεργασίες, αλλά συσσωρεύονται στο έδαφος και τα νερά και συχνά βιοσυσσωρεύονται, με αποτέλεσμα να περνούν στην τροφική αλυσίδα και μέσω αυτής να καταλήγουν στον άνθρωπο (Ernst, 1974; Κουϊμτζής κ.ά., 1998; McGrath et al., 2001; Sas-Nowosielska et al., 2004).

1.3.4 ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα βαρέα μέταλλα που περιέχονται στα εδάφη προέρχονται συνήθως από διαφορετικές πηγές. Η προέλευσή τους μπορεί να είναι α) λιθογενής, τα στοιχεία δηλαδή να προέρχονται από τη λιθόσφαιρα (μητρικό υλικό), β) ανθρωπογενής, από την εναπόθεση στοιχείων που καταλήγουν στα εδάφη ως αποτέλεσμα δραστηριοτήτων του ανθρώπου και γ) πεδογενής, δηλαδή να έχει λιθογενή ή ανθρωπογενή προέλευση, αλλά η κατανομή των βαρέων μετάλλων στους εδαφικούς οριζόντες να μεταβάλλεται εξαιτίας πεδογενών διεργασιών (Kabata – Pendias, 1992). Πρέπει να σημειωθεί πως η συμπεριφορά των στοιχείων στο έδαφος και κατά συνέπεια η βιοδιαθεσιμότητα τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προέλευσή τους (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Οι πηγές των βαρέων μετάλλων είναι φυσικές και ανθρωπογενείς.

Οι φυσικές πηγές σχετίζονται τόσο με ενδογενείς όσο και εξωγενείς δυνάμεις της γης. Οι εκρήξεις ηφαιστείων, τα γεωθερμικά πεδία, η αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων, οι φυσικές πυρκαγιές είναι κάποιες από αυτές (Salomons & Forstner, 1984). Αναλυτικότερα, τα βαρέα μέταλλα αποτελούν συστατικά των ορυκτών και πετρωμάτων, επομένως η χημική σύσταση του εδάφους αντανακλά τη σύσταση του μητρικού πετρώματος. Η ορυκτολογική σύσταση του μητρικού πετρώματος παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του περιβάλλοντος (οξειδωτικού ή αναγωγικού) στο οποίο λαμβάνουν χώρα διάφορες χημικές διαδικασίες οι οποίες καθορίζουν την κίνηση, την διαλυτότητα, τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στο έδαφος κ.ά. Τα βαρέα μέταλλα (ιχνοστοιχεία) αποτελούν το 1% του στερεού φλοιού της γης και συνήθως στα ορυκτά στα οποία

βρίσκονται αντικαθιστούν διάφορα μακροστοιχεία στο κρυσταλλικό πλέγμα τους. Στα ιζηματογενή πετρώματα τα βαρέα μέταλλα είναι προσροφημένα σε δευτερογενή ορυκτά τα οποία έχουν προέλθει από την αποσάθρωση και διάβρωση των πρωτογενών ορυκτών (Φλίγκος, 2017). Επιπλέον φυσική πηγή βαρέων μετάλλων στο έδαφος είναι η βιοχημική ανακύκλωση από τη νέκρωση φυτικών ιστών αφού έχει προηγηθεί ειδική βιο-συσσώρευση στο φυτικό σώμα. Έτσι εμφανίζεται, ένα πλούσιο σε βαρέα μέταλλα επιφανειακό στρώμα εδάφους, που οφείλεται στην πτώση φύλλων, καρπών και ανθέων, στα οποία έχει συσσωρευτεί μεγάλη ποσότητα τοξικών μετάλλων (Bormann & Likens, 1979).

Ανθρωπογενείς πηγές αποτελούν οι μεταλλευτικές, βιομηχανικές, γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, η χρήση καυσίμων, οι διεργασίες καύσεων σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και η αποψίλωση δασών και οι κατασκευές που αυξάνουν τη μεταφορά μετάλλων μέσω των αιωρούμενων σωματιδίων (Alloway & Ayres, 1997). Ως αναφορά στα εδάφη οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές των βαρέων μετάλλων είναι οι βιομηχανικές και κατασκευαστικές δραστηριότητες (τροφίμων, χημικών και φαρμακευτικών ειδών, λατομικών επιχειρήσεων, φυτοφαρμάκων, υφαντουργίες, μεταλλουργεία, κατασκευή τούβλων και οικοδομικών υλικών, παρασκευή πλαστικού, φαρμάκων, καυστήρων, χρωμάτων, λιπασμάτων κ.ά.), η χρήση φαρμάκων και λιπασμάτων στις γεωργικές καλλιέργειες, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και καυσίμων κ.ά. (Tyler, 1974; Μεγαδούκα, 2016).

Τα μεγαλύτερα ποσοστά βαρέων μετάλλων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών η απελευθέρωση τους στο περιβάλλον αυξήθηκε δραματικά επιβαρύνοντας την ατμόσφαιρα, τα εδάφη και τα νερά του πλανήτη με σημαντικές ποσότητες. Σύμφωνα με την Μεγαδούκα (2011), τα βαρέα μέταλλα που σχετίζονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες βρίσκονται στις επιφάνειες των εδαφών σε υδατοδιαλυτές και ανταλλάξιμες μορφές, που συνδέονται με την οργανική ύλη, ανθρακικές ρίζες, οξείδια Fe, Al, Mn και διάφορα πυριτικά άλατα.

Οι τοξικοί αυτοί ρύποι, οδηγούνται στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος, στα ύδατα και στη συνέχεια στον ανθρώπινο οργανισμό (Thornton, 1986; Holdgate, 1979).

1.3.5 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Τα εδάφη των αστικών περιοχών, είναι τα φυσικά εδάφη που έχουν επηρεαστεί από ανθρώπινες δραστηριότητες και συναντώνται σε αστικές περιοχές. Η σύνθεση λοιπόν, η γεωχημεία και η δομή τους επηρεάζεται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αφού με τη μίξη σκόνης και μπαζών, κατά τη διάρκεια οικοδομικών εργασιών καθώς και από τα αέρια που αποβάλλονται από τα οχήματα και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις αποκτούν ένα επιφανειακό στρώμα χάνοντας έτσι την τυπική κατακόρυφη διαστρωμάτωση που έχουν τα φυσικώς ανεπτυγμένα εδάφη (Morel et al., 2005). Έτσι αιτίες ρύπανσης των αστικών εδαφών, πέραν των προαναφερθέντων, είναι οι ρύποι που προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων εξαιτίας του μεγάλου αριθμού μεταφορικών μέσων και μηχανοκίνητων οχημάτων, τα αστικά και νοσοκομειακά απόβλητα καθώς και μεταφερόμενοι ρύποι από την βιομηχανική δραστηριότητα ιδίως όταν οι αστικές περιοχές γειτνιάζουν με βιομηχανικές ζώνες.

1.3.6 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα βαρέα μέταλλα έχουν φυτοτοξική δράση, σχηματίζοντας δυνάμεις πίεσης στους φυτικούς πληθυσμούς και δημιουργούν ανθεκτικούς γενοτύπους. Έτσι λοιπόν η ρύπανση με βαρέα μέταλλα, αποτελεί ρυθμιστικό στοιχείο, προκαλώντας αντιδράσεις στους οργανισμούς που ζουν εκεί. Από τις ολικές και διαθέσιμες ποσότητες των μεταλλικών ιχνοστοιχείων λίγες είναι εκείνες που μπορούν να απορροφηθούν και να αφομοιωθούν από τα φυτά και διακρίνονται ως διαθέσιμες (Baker, 1971, 1974). Η διαθεσιμότητα εξαρτάται από τον τύπο των ορυκτών και την διαδικασία της αποσάθρωσης του εδαφικού στρώματος (Thornton, 1986). Σύμφωνα με τον Crounse et al., (1980), εμφανίζεται πως υπάρχει μία σχέση μεταξύ της γεωχημείας και των ζωντανών οργανισμών (στην υγεία του ανθρώπου, στα ζώα και στα φυτά), εφόσον επάνω στο φλοιό της γης υπάρχουν πολλά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τις διάφορες βιοχημικές και φυσιολογικές λειτουργίες. Η υπερβολική απορρόφηση ορισμένων στοιχείων από τον οργανισμό του ανθρώπου προκαλεί σε αυτόν διάφορων ειδών ασθένειες, όπως είναι ο καρκίνος και οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Επίσης στα φυτά και στα ζώα προκαλεί τροφопενία με αποτέλεσμα αυτά να καθίστανται τοξικά όταν τα

ιχνοστοιχεία βρίσκονται σε αυξημένη ποσότητα στην επιφάνεια του εδάφους επηρεάζοντας έτσι την τροφική αλυσίδα και την ποιότητα των τροφών που καταναλώνονται από τον άνθρωπο (Thornton & Webb, 1979; Thornton et al., 1980).

Τα βαρέα μέταλλα είναι ενώσεις που δεν αποικοδομούνται μέσω φυσικών διεργασιών και παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον (Γαλανοπούλου, 2005). Εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα εμφανίζοντας το φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης και μέσω της διαδικασίας αυτής η έκθεση σε αυτά μπορεί να γίνει χρόνια.

Επιπλέον πολλές φορές αρκεί μια πολύ μικρή συγκέντρωσή τους στο έδαφος για να προκληθούν σε αυτό τοξικά φαινόμενα τα οποία επιδρούν στην αποδοτικότητα του εδάφους, στη μικροβιακή δραστηριότητα και στην ανάπτυξη της χλωρίδας.

Τέλος τα βαρέα μέταλλα προσροφώνται από την οργανική ουσία και τα αργιλικά ορυκτά του εδάφους με αποτέλεσμα να δεσμεύονται και να παραμένουν σε αυτό για μεγάλο χρονικό διάστημα συντελώντας έτσι στην επιβάρυνσή του (Γαλανοπούλου, 2005).

Σύμφωνα με την Παπαδημητρίου (2013), τα βαρέα μέταλλα ανάλογα με την επικινδυνότητά τους διακρίνονται σε:

- α) μη επικίνδυνα
- β) τοξικά αλλά σπάνια ή ιδιαίτερα δυσδιάλυτα
- γ) τοξικά.

Η τοξικότητά τους σχετίζεται με το είδος του μετάλλου, τη συγκέντρωσή τους και την παρουσία και δράση άλλων βαρέων μετάλλων καθώς και το είδος του οργανισμού. Η σειρά τοξικότητας των βαρέων μετάλλων είναι:

$Hg^{+2} > Cu^{+2} > Zn^{+2} > Ni^{+2} > Pb^{+2} > Cd^{+2} > As^{+3} > Cr^{+3} > Sn^{+2} > Fe^{+3} > Mn^{+2}$ (Παπαδημητρίου, 2013).

Τα βαρέα μέταλλα διαφέρουν ως προς την τοξικότητά τους σε σημείο που ακόμα και το ίδιο μέταλλο μπορεί να ποικίλει σε τοξικότητα ανάμεσα σε διαφορετικούς οργανισμούς. Έτσι, είναι πιο τοξικά στα μαλακά από ότι στα σκληρά νερά και η τοξικότητά τους αλλάζει ανάλογα με το pH ή την παρουσία διαλυμένης οργανικής ύλης. Η τοξικότητα φαίνεται να αυξάνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες γι' αυτό και η πιο επικίνδυνη εποχή για το βιόκοσμο είναι ο χειμώνας (Μαντέλα, 2007).

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. Μπορεί να εκφραστεί ως νευροφυσιολογικές διαταραχές, γενετικές αλλοιώσεις των κυττάρων (μεταλλάξεις), επιδράσεις στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα, στις βασικές λειτουργίες του οργανισμού, στην αναπαραγωγή, στην τερατογένεση και καρκινογένεση. Τέλος η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται και από την ικανότητα τους για βιοσυγκέντρωση, βιοσυσσώρευση και βιομεγέθυνση (Υψηλάντη, 2012).

1.3.7 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τα βαρέα μέταλλα που επιλέχθηκαν να μελετηθούν στην παρούσα εργασία είναι το μαγγάνιο (Mn), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni), ο μόλυβδος (Pb) και ο ψευδάργυρος (Zn).

ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn): Το χημικό στοιχείο Μαγγάνιο έχει ατομικό αριθμό 25, ατομικό βάρος 54,938, σημείο τήξης 1245°C και θερμοκρασία βρασμού 1962°C. Είναι αρκετά δραστικό μέταλλο, αντιδρά με θερμό νερό και εκλύει υδρογόνο και καίγεται εύκολα στο αέρα. Ανήκει στην 1η κύρια σειρά των στοιχείων μετάπτωσης και εμφανίζεται με περισσότερα σθένη, όπως Mn^{+2} , Mn^{+3} και Mn^{+4} . Αποτελεί συστατικό διαφόρων πρωτογενών ορυκτών και τα κυριότερα δευτερογενή ορυκτά του είναι ο πυρολουσίτης, ο μαγγανίτης κ.ά. Πρόκειται για ένα μέταλλο τεφρού χρώματος που μοιάζει με το σίδηρο. Συχνά απαντάται σε συνδυασμό με το σίδηρο, αλλά και σε μορφή οξειδίων του. Το Mn στο εδαφικό περιβάλλον εξαρτάται από το δυναμικό οξειδοαναγωγής, το pH του υδάτινου περιβάλλοντος και το κλίμα.

Στα φυσικά νερά είναι πολύ ευδιάλυτο, ενώ όταν το pH έχει υψηλές τιμές ($pH > 7$) δημιουργούνται δυσδιάλυτες μορφές και εμφανίζεται με τη μορφή υδροξειδίων και ανθρακικών αλάτων (McBride, 1994). Σε όξινο περιβάλλον εμφανίζει μεγαλύτερη διαλυτότητα των ενώσεών του στις περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ σε αλκαλικό περιβάλλον, λόγω του σχηματισμού του κατιόντος Mn^{2+} με την οργανική ουσία, με οξείδια και πυριτικά ορυκτά η διαλυτότητα του μειώνεται (Μπόβης, 1990).

Η χρήση του μαγγανίου ξεκινά από την αρχαιότητα, αν και χρησιμοποιήθηκε στη μεταλλουργία χωρίς να είναι γνωστή η ύπαρξή του. Το μεγαλύτερο ποσοστό του παραγόμενου μαγγανίου διεθνώς χρησιμοποιείται στην παραγωγή χάλυβα, επίσης στην επένδυση ηλεκτροδίων συγκόλλησης, στην παραγωγή ξηρών στοιχείων (μπαταρίες), στη βιομηχανία χρωμάτων για την υαλουργία και την κεραμική και στην παραγωγή υπερμαγγανικού καλίου, σε εργαστήρια ως οξειδωτικό και καταλύτης χημικών αντιδράσεων.

Το μαγγάνιο είναι το 12^ο συχνότερο στοιχείο στην επιφάνεια της γης με συμμετοχή 0,1% (περίπου 1000 ppm). Σύμφωνα με τους Kabata-Pendias (2011), η μέση περιεκτικότητά του Mn στα εδάφη είναι 488 mg/kg και σύμφωνα με τους Rudnick and Gao (2013) στον ανώτερο φλοιό της γης είναι 438,59 mg/kg.

Το μαγγάνιο προσβάλλει το κεντρικό νευρικό σύστημα, τους πνεύμονες, την καρδιά και το ήπαρ, ενώ παρατηρείται και τοξικότητα στο αναπαραγωγικό σύστημα και στο έμβρυο ανάλογα με τη δόση και τη διάρκεια της έκθεσης (Gebrekidan et al., 2013).

Στα φυτά η έλλειψη μαγγανίου καθώς και η υπερβολική πρόσληψή του οδηγεί σε διαταραχές στους διάφορους μηχανισμούς τους, μαρασμό των φύλλων και καφέ κηλίδες σε αυτά κ.ά.

ΧΡΩΜΙΟ (Cr): Το χρώμιο είναι χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 24, ατομική μάζα 51,9 και σημείο τήξης 1857°C. Είναι το πρώτο στοιχείο της ομάδας 6 με (σχετικά) υψηλή θερμοκρασία τήξης. Το χρώμιο είναι ένα χημικό στοιχείο ευρέως διαδεδομένο στο στερεό φλοιό της γης. Είναι μέταλλο χρώματος ασημί, σκληρό και εύθραυστο, ισχυρά αντιδιαβρωτικό και αντιοξειδωτικό. Απαντάται στο περιβάλλον σαν μεταλλικό χρώμιο (0), σαν τρισθενές χρώμιο (III) και σαν εξασθενές χρώμιο (VI). Εξάγεται κυρίως από τον χρωμίτη (FeCr_2O_4) ο οποίος και αποτελεί το βασικό μέταλλεμά του και δευτερευόντως από τον κροκοΐτη (PbCrO_4).

Το χρώμιο χρησιμοποιείται κυρίως στη μεταλλουργία για την παραγωγή του ανοξείδωτου χάλυβα και άλλων κραμάτων, όπως Fe-Ni ή Cu-Cr, συμβάλλοντας στην αύξηση της αντοχής τους στη διάβρωση και στην οξείδωση. Επιπλέον οι ενώσεις του χρωμίου βρίσκουν εφαρμογή στις επιμεταλλώσεις (επιχρωμίωση) εξαιτίας της μεγάλης ανθεκτικότητάς τους σε χημική προσβολή (διάβρωση, οξείδωση), καθώς και σαν συντηρητικό ξύλου, στην παραγωγή πυρίμαχων υλικών, στη χρωματοουργία, στην

υφαντουργία και βυρσοδεψία για την κατεργασία των δερμάτων, σαν καταλύτης στην παραγωγή υδρογονανθράκων κ.ά. (Πανούση, 2018).

Απελευθερώνεται στο περιβάλλον από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές (Γαλανάκη, 2019). Φυσική πηγή αποτελεί η διάβρωση και αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων και κυρίως των υπερβασικών, ενώ οι ανθρωπογενείς πηγές αφορούν στο μεγαλύτερο ποσοστό τους βιομηχανικές δραστηριότητες, τα απορρίμματα (ιλύ), διαρροές (απόβλητα) καθώς επίσης απόθεση και έκπλυση ατμοσφαιρικών σωματιδίων από τις βιομηχανίες (Richard and Bourg, 1991).

Στο έδαφος και τα υπόγεια ύδατα το χρώμιο απαντάται είτε σαν τρισθενές χρώμιο είτε σαν εξασθενές. Το εξασθενές χρώμιο, η δεύτερη πιο σταθερή μορφή του χρωμίου, είναι αποτέλεσμα κυρίως ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Η μορφή του ως Cr^{+6} είναι η πιο ευκίνητη και η πιο τοξική μορφή, η οποία βρίσκεται σε ρυπασμένες περιοχές. Απελευθερώνεται στο περιβάλλον μέσω της παραγωγής χάλυβα, των επιμεταλλώσεων, της καύσης του άνθρακα, της επεξεργασίας του ξύλου, της βυρσοδεψίας κ.ά. Το Cr (VI) είναι τοξικό και κυριαρχεί σε οξειδωτικό περιβάλλον σε αντίθεση με το Cr (III) που είναι σταθερό και λιγότερο τοξικό και κυριαρχεί σε αναγωγικό περιβάλλον (Κουτούπη, 2016).

Η χημική μορφή του Cr επηρεάζεται από τις συνθήκες Eh-pH του περιβάλλοντος. Σε τιμές $\text{pH} < 4$ το Cr^{+3} βρίσκεται σε λιγότερο ευκίνητη κατάσταση, ενώ αντίθετα όταν η τιμή του pH είναι 5,5 προσροφάται και οι ενώσεις του είναι σταθερές στο έδαφος κυρίως ως $\text{Cr}(\text{OH})_3$, (Bartlett and James, 1979; Kabata-Pendias, 2011). Το Cr^{+6} είναι πιο ευκίνητο και ασταθές στο έδαφος, κυρίως σε συνθήκες $\text{pH} < 5,5$ και $\text{pH} > 8$ (Bartlett and Kimble, 1976; Chrostovski et al., 1991; Kabata- Pendias, 2011).

Σύμφωνα με τους Kabata and Pendias, 2011 η μέση συγκέντρωσή του στα εδάφη είναι 59,5 mg/kg, ενώ η μέση τιμή της ολικής συγκέντρωσης του στοιχείου στο φλοιό της γης φτάνει στην τιμή 92 mg/Kg (Rudnick and Gao, 2003). Ενώ σε εδαφικά δείγματα σε εδάφη της Ευρώπης και των ΗΠΑ εμφανίζεται μια μέση συγκέντρωση στα 37 mg/kg και 60 mg/kg (Salminen et al., 2005) στον Ελλαδικό χώρο οι ολικές συγκεντρώσεις του μετάλλου είναι υψηλότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην γεωμορφολογία της Ελλάδας και στις υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου των υπερβασικών πετρωμάτων (Salminen, 2005).

Σε υψηλές συγκεντρώσεις το εξασθενές χρώμιο μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο καρκίνο του πνεύμονα, βλάβη στο ήπαρ και στους νεφρούς, δερματίτιδες κ.ά. Όταν απελευθερωθεί στο περιβάλλον διεισδύει στο έδαφος και καταλήγει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

ΧΑΛΚΟΣ (Cu): Το χημικό στοιχείο χαλκός είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29, ατομικό βάρος 63,546, θερμοκρασία τήξης 1084,6 °C και θερμοκρασία βρασμού 2567 °C.

Ο χαλκός έχει κοκκινωπό χρώμα, είναι όλκιμος και ελατός και μπορεί να βρεθεί σε καθαρή μορφή ή σε πολλές μορφές κραμάτων (μπρούντζος, ορείχαλκος, κ.ά.). Ανήκει στην ομάδα της 1ης κύριας σειράς των στοιχείων μετάπτωσης. Ο χαλκός, γνωστός από την αρχαιότητα αφού είναι αυτοφυής στη φύση, είναι ένα απαραίτητο για τη ζωή στοιχείο που βρίσκεται σε αφθονία στο στερεό φλοιό της γης. Είναι μέταλλο σχετικά μαλακό, με μεταλλική λάμψη και με μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Εμφανίζει αριθμούς οξειδωσης +1 και +2, είναι σιδηρόφιλο στοιχείο και εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στον πυρήνα της γης (Scoulllos & Constantianos, 1996). Σε όξινο περιβάλλον από τις ενώσεις του (σουλφίδια) απελευθερώνονται θειϊκά άλατα και ανθρακικές ενώσεις, ενώ σε αναγωγικό περιβάλλον βρίσκεται κυρίως με τη μεταλλική του μορφή. Στα εδαφικά κολλοειδή βρίσκεται κυρίως με τη μορφή ανταλλάξιμων κατιόντων και το μεγαλύτερο ποσοστό του Cu στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται με τη μορφή συμπλόκων με την οργανική ουσία. Σε εδάφη με pH>5.5 και οργανική ουσία 1-5% συνήθως ο χαλκός είναι προσροφημένος με μορφή συμπλόκου (Θέος, 2010).

Οι τιμές του σε μη ρυπασμένα εδάφη κυμαίνονται από 20-30 mg/kg (Βουλγαροπούλου, 2015), ενώ η μέση συγκέντρωσή του στο στερεό φλοιό της γης ανέρχεται στα 50 mg/kg (Alloway, 1990).

Η ρύπανση από χαλκό οφείλεται σε δραστηριότητες εξόρυξης και επεξεργασίας μεταλλευμάτων του, παραγωγή μπρούντζου, επιμεταλλώσεις, ηλεκτρικά καλώδια και κυκλώματα, από την εκτεταμένη χρήση γεωργικών φαρμάκων κ.ά. Επίσης από χαλκό κατασκευάζονται οι σωληνώσεις ύδρευσης, αλλά σε φυσιολογικές τιμές pH (6,5-8,5) δεν υπάρχει κίνδυνος αύξησης της συγκέντρωσης χαλκού στο πόσιμο νερό (Alloway & Ayres, 1997).

Η πρόσληψη εξαιρετικά μεγάλων ποσοτήτων χαλκού από τον άνθρωπο προκαλεί ηπατικές και νεφρικές βλάβες καθώς και διαταραχές στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Εμφανίζονται επίσης γαστρεντερικοί ερεθισμοί και προβλήματα στο συκώτι ακόμα και καρκίνος.

Όσον αφορά στους φυτικούς οργανισμούς, ο χαλκός παίζει σημαντικό ρόλο στη φωτοσύνθεση στην αναπνοή και σε άλλες λειτουργίες των φυτών. Η συγκέντρωση της ποσότητάς του από μόνη της, δεν αποτελεί ένδειξη τοξικότητας, αλλά σε συνδυασμό και με άλλους εδαφικούς παράγοντες οι οποίοι συνεργάζονται συναγωνιστικά ή ανταγωνιστικά με το μέταλλο ο χαλκός γίνεται τοξικός για τα φυτά. Ένα μεγάλο ποσοστό του βρίσκεται σε τέτοια χημική μορφή, η οποία δεν είναι άμεσα διαθέσιμη στα φυτά, παρά μόνο με τη συμπλοκή της οργανικής ουσίας και του χούμου γίνεται κατακράτηση του στο έδαφος (Mc.Bride, 1978). Οι όξινες συνθήκες εδάφους ($\text{pH} < 6$) βοηθούν στη διαθεσιμότητα του χαλκού αυξάνοντας την τοξικότητα του στα φυτά. Υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού προκαλούν σε αυτά αλλαγές στη διαπερατότητα της κυτταρικής τους μεμβράνης, αναστέλλουν την ανάπτυξη των βλαστών και των ριζών, απενεργοποιούν ένζυμα κ.ά. (Γαλανάκη, 2019).

ΝΙΚΕΛΙΟ (Ni): Το χημικό στοιχείο Νικέλιο είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 28 και ατομικό βάρος 58,71, ειδικό βάρος 8,9, θερμοκρασία τήξης 1453°C και θερμοκρασία βρασμού 2732°C . Το σύνηθες νικέλιο είναι μίγμα 5 ισοτόπων. Ανήκει στη κατηγορία των στοιχείων μετάπτωσης του περιοδικού πίνακα. Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση, εύπλαστο, σκληρό μέταλλο με λάμψη. Είναι διαλυτό στα αραιά διαλύματα HNO_3 , ελαφρώς διαλυτό στο HCl και H_2SO_4 και αδιάλυτο στο NH_4OH και στο νερό. Επειδή τα κράματά του είναι ανθεκτικά στη θλίψη, στη διάβρωση και σε υψηλή θερμοκρασία (Kabata- Pendias & Mukherjee, 2007), χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη, πυρηνικούς αντιδραστήρες (Adriano, 2001), ναυτικές εφαρμογές, αυτοκίνητα, μπαταρίες, καταλύτες κ.ά.

Το Νικέλιο εμφανίζεται ως το 24° πιο άφθονο στοιχείο στο φλοιό της γης με μέση συγκέντρωση 75 mg/Kg στα πετρώματα (Alloway, 1995). Σύμφωνα με τον Θεό (2010), η συγκέντρωση του νικελίου στο έδαφος εξαρτάται από το μητρικό πέτρωμα. Η παρουσία και συμπεριφορά του Ni στην επιφάνεια των εδαφών οφείλεται στην περιεκτικότητα των

μητρικών υλικών σε αυτό, στις διεργασίες του εδάφους καθώς και στις ανθρωπογενείς δράσεις (McGrath, 1995; Iyaka, 2011; Kabata and Pendias, 2011). Αποτελεί συστατικό των πυριγενών πετρωμάτων (Adriano, 2001) και τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε νικέλιο (270-3600 mg/kg) εμφανίζουν τα υπερβασικά πετρώματα, όπως οι περιδοτίτες, οι δουνίτες και οι πυροξενίτες, ενώ σε μικρότερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στα βασικά πετρώματα (45-410 mg/kg) και στα όξινα και ενδιάμεσα (2-20 mg/kg). Σε υψηλές συγκεντρώσεις απαντάται κυρίως στα σερπεντινικά πετρώματα.

Το Ni στο έδαφος είναι έντονα συνδεδεμένο με τα οξείδια Fe και Mn. Επίσης τα αργιλικά ορυκτά, ιδίως ο μοντμοριλλονίτης, εμφανίζουν την ικανότητα να το δεσμεύουν στην επιφάνειά τους (orycta.gr). Σχηματίζει σταθερές ενώσεις με τα οξείδια του Fe και του Mn καθώς επίσης και με την οργανική ουσία σχηματίζοντας οργανομεταλλικές ενώσεις (Θέος, 2010). Το Ni είναι περισσότερο ευκίνητο μέταλλο από το Fe και το Mn. Η διαλυτότητα και η κινητικότητα του νικελίου εξαρτάται από το pH και αυξάνει με την ελάττωση του pH.

Φυσικές πηγές του αποτελούν η καύση της βλάστησης από πυρκαγιά, η μεταφορά σκόνης από μια περιοχή σε άλλη και οι εκρήξεις ηφαιστειών (Cempel and Nickel, 2006; Iyaka, 2011). Ανθρωπογενείς πηγές του είναι η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων, τα αστικά απόβλητα και η καύση αυτών, οι βιομηχανικές δραστηριότητες όπως η βιομηχανία αυτοκινήτων και οι βιομηχανίες επιμετάλλωσης, η μεταλλευτική δραστηριότητα, η καύση κάρβουνου, η κατασκευή χάλυβα, οι στρατιωτικοί εξοπλισμοί, η κατασκευή μπαταριών Ni-Cd κ.ά. (Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Kabata - Pendia and Mukherjee, 2007; Iyaka, 2011).

Είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών, όταν εμφανίζεται σε μικρές συγκεντρώσεις (Kahle, 1993), ενώ αντίθετα σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι βλαβερό και τοξικό για τους οργανισμούς (Blaylock and Huang, 2000). Μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο καρκίνο του πνεύμονα, προβλήματα στην καρδιά, δερματοπάθειες, γενετικές ανωμαλίες κ.ά.

Η Ε.Ε. (86/278), έθεσε ως μέγιστο επιτρεπτό όριο τα 75mg/kg^{-1} συγκέντρωσης στοιχείου σε εδαφικές επιφάνειες (Παπάζογλου, 2004).

Οι Kabata and Pendias (2011), δίνουν τις ακόλουθες τιμές:

- Για αμμώδη εδάφη 7-33 mg/Kg
- Αργιλώδη 23-50 mg/Kg
- Ασβεστούχα 18-92 mg/Kg

Με συνολική μέση τιμή 29 mg/Kg

Οι Chen et al. 1999, για διάφορες χώρες δίνουν τις ακόλουθες τιμές:

- Αυστραλία, Αγγλία 60 mg/Kg
- Καναδάς 150 mg/Kg
- Γαλλία 50 mg/Kg
- Κίνα 20 mg/Kg
- Γερμανία 200 mg/Kg
- Ολλανδία 210 mg/Kg
- ΗΠΑ 420 mg/Kg
- Ν. Αφρική 15 mg/Kg
- Ιαπωνία 100 mg/Kg

ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb): Το χημικό στοιχείο Μόλυβδος έχει ατομικό αριθμό 82, ατομικό βάρος 207,2, ειδικό βάρος 11,3, θερμοκρασία τήξης 327 °C και θερμοκρασία βρασμού 1740 °C. Είναι στοιχείο το οποίο ανήκει στην κατηγορία των περισσότερο τοξικών βαρέων μετάλλων, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.

Η μέση συγκέντρωση του Pb στον ανώτερο φλοιό της γης είναι περίπου 17 mg/kg (Rudnick and Gao, 2003), ενώ στους επιφανειακούς ορίζοντες του εδάφους ανά τον κόσμο 27 mg/kg (Kabata and Pendias, 2011).

Ο μόλυβδος συναντάται στο φυσικό περιβάλλον κυρίως ως γαληνίτης, ορυκτό που αποτελείται από μόλυβδο και θείο. Άλλες φυσικές πηγές του είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων, η σκόνη των ερήμων, ηφαιστειακές εκρήξεις κ.ά.

Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης του εδάφους από Pb είναι η εξόρυξη των μεταλλευμάτων του, διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες όπως οι βιομηχανίες παραγωγής πλαστικών, χρωμάτων και βερνικιών, ηλεκτροδίων συγκόλλησης, μπαταριών, διυλιστήρια, ανακύκλωση μετάλλων, χρήση χρωστικών ουσιών σε κλωστοϋφαντουργία κ.ά., οι γεωργικές δραστηριότητες (χρήση εντομοκτόνων και

λιπασμάτων) και διάφορες αστικές δραστηριότητες (μέσα μεταφοράς, βαφές κτηρίων, αποτέφρωση απορριμμάτων, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) κ.λ.π. (Raskin et al., 1994; Κουϊμτζής κ.ά., 1998; Henry, 2000; Pichtel et al., 2000; Orcutt and Nilsen, 2000; Qadir et al., 2004a; Reddy et al., 2005).

Οι διεργασίες εδαφογένεσης, οι κλιματικές και τοπογραφικές επιδράσεις και η μικροβιακή δραστηριότητα μπορεί να επηρεάσουν την κατανομή του Pb στο εδαφικό προφίλ. Σε γενικές γραμμές, ο Pb συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους, συνήθως στα λίγα πρώτα εκατοστά και μειώνεται με το βάθος (παράδειγμα αποτελεί το σύνολο του Pb που έχει συσσωρευτεί από τις εκπομπές των αυτοκινήτων και παραμένει στην επιφάνεια σε λίγα εκατοστά του εδαφικού προφίλ (Tyler Miller, 1999).

Το 35-50% του εισπνεόμενου Pb απορροφάται στο αίμα, με αποτέλεσμα τη διατάραξη του αιμοποιητικού συστήματος στον ανθρώπινο οργανισμό, εμποδίζοντας κάποιες ενζυματικές λειτουργίες. Άλλη μία επιβλαβής επίπτωση του Pb στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η διατάραξη που προκαλεί στο νευρικό σύστημα και το συκώτι. Τα παιδιά είναι ιδιαίτερα ευπαθή στις συγκεντρώσεις μολύβδου διότι έρχονται σε άμεση επαφή με το χώμα και τη σκόνη των σπιτιών που είναι προσβεβλημένα από ιχνοστοιχεία μολύβδου.

ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (Zn): Το χημικό στοιχείο Ψευδάργυρος είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 30, ατομικό βάρος 65,38, θερμοκρασία τήξης 419,58 °C και θερμοκρασία βρασμού 907 °C. Είναι ένα στοιχείο που η μέση συγκέντρωση του στο φλοιό της γης δεν υπερβαίνει τα 70 mg/kg (Krauskopf, 1972) και στο έδαφος η μέση τιμή του είναι 70 mg/kg (Kabata and Pendias, 2011).

Φυσικές πηγές του αποτελεί η αποσάθρωση των ορυκτών που το εμπεριέχουν όπως σφαλερίτη (ZnS), κάποιων σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών (βιοτίτη, κερυσίλβη, αυγίτη κ.ά.), ενώ ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης αποτελούν η εξόρυξη των μεταλλευμάτων του, οι βιομηχανικές εφαρμογές του, όπως η παραγωγή αντιδιαβρωτικών επικαλυμμάτων για τον σίδηρο και το ατσάλι, η κατασκευή κραμάτων, οι μπαταρίες κ.ά. (Freedman & Hutchinson, 1981).

Κάποια φυτικά και ζωικά υπολείμματα, που εμφανίζονται κυρίως σε οργανικά εδάφη, αποικοδομούνται και απελευθερώνουν Zn στο έδαφος (Καλλιάνου, 2007). Κατά τη

διαδικασία της αποσάθρωσης και αποικοδόμησης Zn απορροφάται μεγάλο μέρος από την άργιλο, την οργανική ουσία και τα οξείδια του εδάφους (Fe, Mn, Al). Το μέρος που απορροφάται διατηρείται ως μη ανταλλάξιμη μορφή κυρίως με ιόντα Ca^{+2} . Η συγκράτηση και η διαθεσιμότητά του στα εδάφη, εξαρτάται από το pH του εδάφους και η προσρόφηση του αυξάνεται με την αύξηση του pH. Η αφομοιωσιμότητα του Zn, καθορίζεται από ορισμένους εδαφικούς παράγοντες, που είναι οι ακόλουθοι:

- Η οξύτητα του εδάφους. Η εμφάνιση του επικρατεί περισσότερο σε όξινα εδάφη.
- Η περιεκτικότητα φωσφόρου και οργανικής ουσίας. Όπου εμφανίζεται έντονα το στοιχείο του φωσφόρου και η οργανική ουσία υπάρχει έλλειψη Zn.
- Η δέσμευσή του από την άργιλο και τα ανθρακικά (CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Τα περισσότερα Ελληνικά εδάφη, όπου διαπιστώθηκε έλλειψη Zn, ανήκαν στην κατηγορία των ασβεστούχων και αλκαλικών (Τσιτσίας, 1981; Καλλιάνου, 2007).

Αν και η ύπαρξη του σαν ιχνοστοιχείο είναι απαραίτητη για τη ζωή, διότι συμμετέχει σε περισσότερα από 40 μεταλλο-ένζυμα, όταν βρίσκεται σε υπερβολικές ποσότητες στο περιβάλλον είναι τοξικό. Ειδικά στα φυτά, τα επηρεάζει αρνητικά όσον αφορά στη θρέψη τους, γιατί έχει φυτοτοξικές συνέπειες (Collins, 1981), αναστέλλει τις λειτουργίες των χλωροπλαστών και επηρεάζει τη φωτοσύνθεση (Van Assche et al., 1980; Clijsters & Van Assche, 1985). Στον ανθρώπινο οργανισμό εισέρχεται μέσω του αναπνευστικού ή του γαστρεντερικού συστήματος ή από το δέρμα και προκαλεί πονοκεφάλους, ναυτία, δερματίτιδες κ.ά. (Solomons, 1980).

1.3.8 ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

Για την εκτίμηση του βαθμού επιβάρυνσης του εδάφους από βαρέα μέταλλα στην περιβαλλοντική γεωχημεία χρησιμοποιούνται περιβαλλοντικοί δείκτες. Οι δείκτες αυτοί προκύπτουν από μαθηματικές εξισώσεις και αλγορίθμους και βασίζονται στη σύγκριση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στο έδαφος ή στο ίζημα μιας περιοχής με τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε μη ρυπασμένα εδάφη ή ιζήματα της ίδιας περιοχής (συγκέντρωση υποβάθρου).

Οι απλοί δείκτες εφαρμόζονται για την εκτίμηση των επιπέδων ρύπανσης από ένα μόνο μέταλλο (Μεγαδούκα, 2016), ενώ οι σύνθετοι δείκτες εφαρμόζονται για όλα τα μέταλλα.

Η ανθρωπογενούς προέλευσης ρύπανση του περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα μπορεί να προσδιοριστεί μόνο όταν είναι γνωστή η περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία του γεωλογικού υποβάθρου. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεών τους σε αυτό, η μορφή στην οποία βρίσκονται και η κινητικότητά τους παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του περιβάλλοντος και στις βιολογικές διαδικασίες και η γνώση της γεωχημείας των ιχνοστοιχείων συμβάλει στην πρόβλεψη των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον (Σοφιάνσκα, 2013).

Για τον διαχωρισμό λοιπόν των φυσικών και ανθρωπογενών πηγών των ρύπων είναι απαραίτητη η γνώση των φυσικών τους συγκεντρώσεων στο φλοιό της γης, στα εδάφη, στα ιζήματα ή στα νερά. Αυτή η φυσική συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων ονομάζεται γεωχημικό υπόβαθρο (geochemical background), εξαρτάται από την ορυκτολογική σύσταση των μητρικών πετρωμάτων και χρησιμοποιείται ευρέως για να χαρακτηρίσει τη φυσική ή λιθογενή προέλευση των στοιχείων στο σύστημα έδαφος – ίζημα – νερό. Το γεωχημικό υπόβαθρο μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή και πρέπει να επιλέγεται σύμφωνα με την ορυκτολογική σύσταση των μητρικών πετρωμάτων (Σοφιάνσκα, 2013).

1.3.8.1 ΑΠΛΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

✓ ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (I_{geo} : Index of geoaccumulation)

Για τον προσδιορισμό πιθανής επιβάρυνσης των ιζημάτων σε μέταλλα χρησιμοποιείται ο δείκτης γεωσυσσώρευσης I_{geo} του Muller, σύμφωνα με τον τύπο:

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

όπου:

C_n είναι η μετρούμενη συγκέντρωση του εξεταζόμενου μετάλλου n στο δείγμα στην κοκκομετρική τάξη <2 μm (άργιλος),

B_n είναι η γεωχημική συγκέντρωση του υποβάθρου ή τιμή αναφοράς του μετάλλου και 1,5 ο συντελεστής διόρθωσης της μάζας του υποβάθρου (background matrix correction

factor) λόγω πιθανών διακυμάνσεων στις τιμές υποβάθρου για το συγκεκριμένο μέταλλο στο περιβάλλον (Muller, 1979).

Ο Δείκτης γεωσυσσώρευσης I_{geo} εκφράζει το μέγεθος της ρύπανσης σε μία περιοχή μελέτης και κλιμακώνεται σε επτά επίπεδα από το μηδέν μέχρι το έξι, με αυξανόμενο βαθμό ρύπανσης (Πίνακας 1.2). Η τάξη 0 αφορά τις μη επιβαρυσμένες περιοχές (αρνητικές τιμές I_{geo}) και η τάξη 6 αφορά τις εξαιρετικά ρυπασμένες περιοχές (τιμές $I_{geo}>5$) (Ahdy & Khaled, 2009).

Πίνακας 1.2: Ταξινόμηση δείκτη I_{geo} και βαθμός επιβάρυνσης (πηγή: Turekian & Wedepohl, 1961)

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

✓ ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (PI: Pollution Index)

Ένας δείκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει ποια από τα βαρέα μέταλλα αποτελούν μεγαλύτερη απειλή για το έδαφος είναι ο Δείκτης Ρύπανσης (PI) ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

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

όπου:

PI: ο δείκτης ρύπανσης για κάθε στοιχείο

C_n : 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) που έχει καθοριστεί από σχετική νομοθεσία, ή επιλέγεται από τη βιβλιογραφία.

Κατηγορίες ρύπανσης (Konstantinova et al., 2019; Yang et al., 2011):

PI<1: μη ρυπασμένο έδαφος

1≤PI<2: χαμηλό επίπεδο ρύπανσης

2≤PI<3: μέτριο επίπεδο ρύπανσης

3≤PI<5: ισχυρή ρύπανση

PI≥5: πολύ ισχυρή ρύπανση.

1.3.8.2 ΣΥΝΘΕΤΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

✓ ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PLI (Pollution Load Index)

Ένας σύνθετος δείκτης που χρησιμοποιείται για την συνολική εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης του εδάφους είναι ο δείκτης φορτίου ρύπανσης PLI. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται ως ο γεωμετρικός μέσος όρος του δείκτη ρύπανσης PI και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Όπου:

n: ο αριθμός των αναλυθέντων βαρέων μετάλλων και

PI: υπολογισμένες τιμές του δείκτη ρύπανσης.

Κατηγορίες ρύπανσης (Μεγαδούκα, 2016):

PLI<1: Χαμηλή ρύπανση

1<PLI<3: Μέτρια ρύπανση

3<PLI<6: Σημαντική ρύπανση

PLI>6: Πολύ υψηλή ρύπανση

✓ ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (MEC)

Με το δείκτη αυτό είναι δυνατός ο διαχωρισμός μεταξύ φυσικής και ανθρωπογενούς ρύπανσης και ο υπολογισμός του βασίζεται στα όρια των βαρέων μετάλλων που δίνονται

από τον Kloke (1979) (Πίνακας 1.3). Εάν ο δείκτης αυτός είναι πάνω από 1 υποδεικνύει ανθρωπογενή προέλευση στη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων. Δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Kowalska et al., 2018):

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

Όπου:

C: η περιεκτικότητα σε βαριά μέταλλα

T: ανεκτά επίπεδα που δίνονται από τον Kloke (1979).

n: ο αριθμός των βαρέων μετάλλων

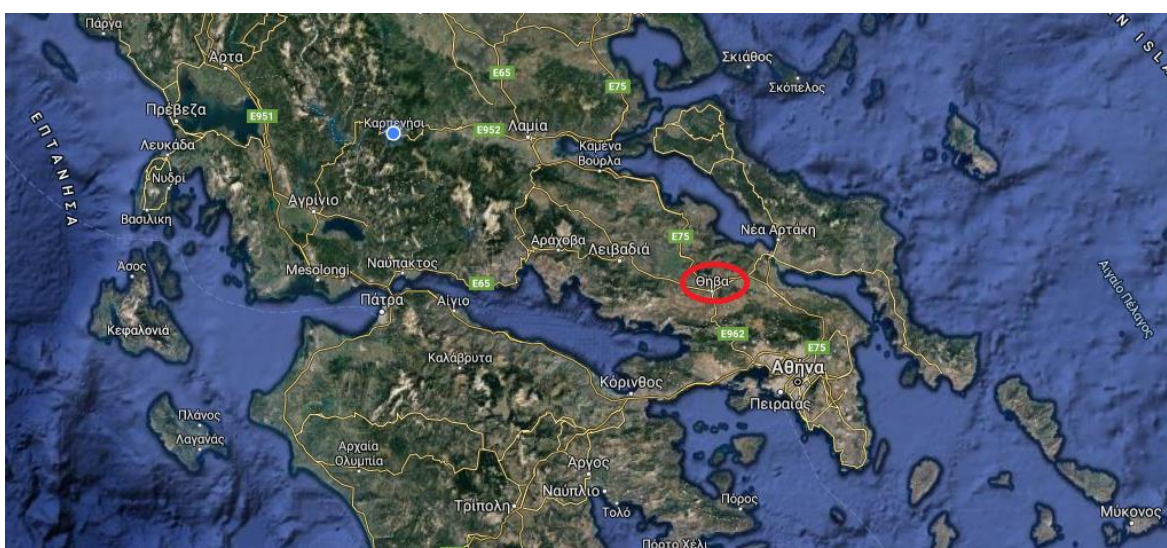
Πίνακας 1.3: Ανεκτά επίπεδα βαρέων μετάλλων στα εδάφη (Kloke, 1979).

Στοιχεία	Ανεκτά επίπεδα στα εδάφη
Mn	-
Cr	-
Cu	100
Ni	100
Pb	100
Zn	300

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σαν περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η πόλη της Θήβας εξαιτίας της γεινιάσής της με τη βιομηχανική ζώνη της Περιφερειακής Ενότητας Βοιωτίας. Η πόλη γεωγραφικά ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Βοιωτίας η οποία συνορεύει βόρεια με την Περιφερειακή Ενότητα Φθιώτιδας, δυτικά με την Περιφερειακή Ενότητα Φωκίδας, νοτιοανατολικά με την Περιφερειακή Ενότητα Αττικής, νοτιοδυτικά βρέχεται από τον Κορινθιακό κόλπο και ανατολικά βρέχεται από τον Ευβοϊκό κόλπο (Εικόνα 2.1).

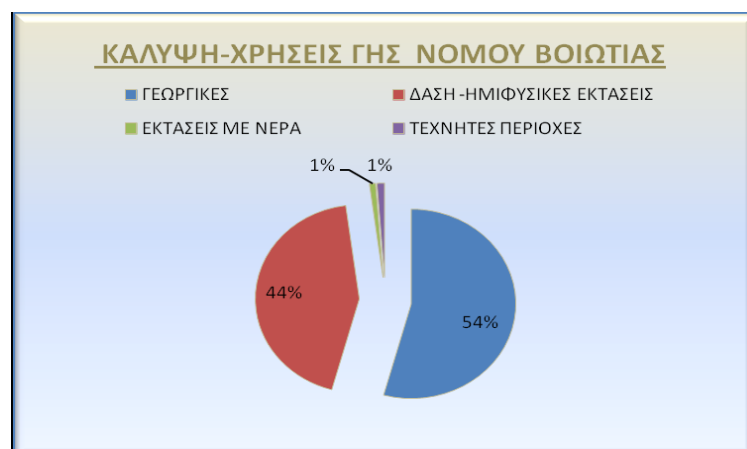


Εικόνα 2.1: Γεωγραφική θέση της Θήβας στην Ελλάδα (πηγή : προσαρμογή από google maps.com)

Η Βοιωτία κατά κύριο λόγο είναι περιοχή πεδινή και πολύ εύφορη ενώ η ορεινή της έκταση καταλαμβάνει μικρή έκταση. Το 40% περίπου της έκτασής της είναι πεδινό, το 38% ημιορεινό και το 22% ορεινό.

Όσον αφορά στη χρήση γης, είναι κυρίως αγροτική περιοχή και σύμφωνα με τη στατιστική Ελληνική Υπηρεσία και τα στοιχεία απογραφής 1999/2000, το μεγαλύτερο ποσοστό της Περιφερειακής Ενότητας Βοιωτίας καλύπτουν οι γεωργικές περιοχές σε ποσοστό 54% και ακολουθούν τα δάση-ημιφυσικές εκτάσεις σε ποσοστό 44%. Εκτός από τις συμβατικές καλλιέργειες της περιοχής (εκτεταμένες καλλιέργειες οσπρίων, βαμβακιού καθώς και οπωροκηπευτικών), υπάρχουν και καλλιέργειες θερμοκηπίου, που η άρδυσή τους γίνεται κυρίως με υπόγεια νερά από γεωτρήσεις, που υπάρχουν στην περιοχή, οι οποίες φθάνουν μέχρι σήμερα περίπου τις 100 (Εικόνα 2.2). Η κτηνοτροφία

είναι επίσης αναπτυγμένη στην περιοχή της Θήβας και σε ολόκληρη την Περιφερειακή Ενότητα της Βοιωτίας.



Εικόνα 2.2: Γράφημα απεικόνισης χρήσεων γης στην περιοχή Βοιωτίας (πηγή: Δάβου, 2014)

Σύμφωνα με το ΦΕΚ Β 698/2014, οι κάτοικοι της Θήβας στην απογραφή του 2011 παρουσιάζονται να είναι 22.883, ενώ το 2001 21.211, δηλαδή παρουσιάζει ο πληθυσμός της μια μικρή αύξηση.

2.1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΗΒΑΣ

- Βιομηχανική Δραστηριότητα

Σύμφωνα με προεδρικό διάταγμα το 1969 επιτράπηκε στο νομό Βοιωτίας η εγκατάσταση βαριά ρυπογόνων βιομηχανιών που έφυγαν από την περιοχή της Αττικής. Σήμερα στην ευρύτερη περιοχή, λειτουργούν περισσότερες από 1.000 μονάδες βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας (μεταλλουργίας, βυρσοδεψία, βαφεία, αλουμινοβιομηχανίες και βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων) (Παντελόγλου, 2008). Ειδικότερα, στο Δήμο Θηβαίων λειτουργούν πάνω από 200 βιομηχανίες και βιοτεχνίες μέσης και χαμηλής όχλησης κυρίως στην περιοχή του Ελαιώνα, του Υπάτου, στο Καναβάρι δυτικά της Θήβας, στο Αμπελοχώρι και στο Χαραϊντίνι εκατέρωθεν της Π.Ε.Ο Θήβας – Ελευσίνας. Η βιομηχανική αυτή δραστηριότητα αφορά την κατασκευή πλαστικών, σκυροδέματος, επίπλων, συντήρησης και συσκευασίας αγροτικών προϊόντων, μηχανουργεία, μαρμαράδιακα, αλουμινοκατασκευές, μεταποίησης τροφίμων κ.ά.

Το 1979 με Διανομαρχιακή Απόφαση και χωρίς να υπάρχει ελεγκτικός μηχανισμός η επεξεργασία των λυμάτων και αποβλήτων απορρίπτονται και θάβονται στο έδαφος. Μέχρι και σήμερα δίχως να υπάρχει σωστή διαχείριση οι βιομηχανίες που παράγουν είδη αποβλήτων απορρίπτονται σε παράνομες χωματερές, ρέματα και ποτάμια (π.χ. Ασωπός).

Μέχρι και το 2004 οι αναλύσεις στο πόσιμο νερό των Οиноφύτων περιορίζονταν σε μικροβιολογικούς ελέγχους. Το Νοέμβριο του 2004 από αναλύσεις του Γενικού Χημείου του Κράτους ανιχνεύθηκε η παρουσία ολικού χρωμίου στο αντλούμενο πόσιμο νερό στην περιοχή των Οиноφύτων. Επίσης εμφανίστηκε να είναι επιβαρυνμένο και από άλλα στοιχεία, όπως είναι ο μόλυβδος, χλωριόντα και νιτρικά. Το 2007 αποκαλύφθηκε πως το 95% του ολικού χρωμίου, που υπήρχε στον υδροφόρο ορίζοντα και στο δίκτυο ύδρευσης, ήταν το καρκινογόνο – μεταλλαξιγόνο. Ανιχνεύθηκε εκτός από τα Οινόφυτα και στις γύρω περιοχές Ωρωπός, Χαλκούτσι, Συκάμινο, Σχηματάρι (αρδευτικό νερό), Δήλεσι, Αυλίδα, Τανάγρα, Ασωπία, Θήβα, εξασθενές χρώμιο, το οποίο έχει ανθρωπογενή προέλευση, εξαιτίας του ενιαίου κοινού υδροφόρου ορίζοντα και επιπρόσθετων τοπικών τοξικών απορρίψεων (π.χ. Αυλίδα Ευβοίας). Οι συγκεντρώσεις ποίκιλαν από 10 μg/lit ως 330 μg/lit, τη στιγμή που το Ευρωπαϊκό όριο είναι το 0,05 μg/lit (Παντελόγλου, 2008).

Σύμφωνα με την τελευταία καταγραφή (Μασούρα, 2008) υπάρχουν 407 μονάδες με όγκο υγρών αποβλήτων που κυμαίνεται από 3m³/ημέρα έως 3000m³/ημέρα. Τα απόβλητα αυτά προέρχονται από βαφεία, κλωστοϋφαντουργία, μεταλλουργικές μονάδες, όπως επίσης και από κτηνοτροφικές μονάδες κ.ά. Σύμφωνα με μελέτη της Λουϊζίδου, (1998) προκύπτει ότι το 60% των παραγόμενων αποβλήτων προέρχεται από κλωστοϋφαντουργία, το 30% από μονάδες διατροφής, το 6% από επεξεργασία μετάλλων και το υπόλοιπο ποσοστό από τις υπόλοιπες μονάδες.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα του Νομού Βοιωτίας από τη βιομηχανική δραστηριότητα εντοπίζονται, κυρίως, στην περιοχή του Ασωπού ποταμού, εξαιτίας της συγκέντρωσης των κυριότερων βιομηχανιών, στην περιοχή Οиноφύτων – Σχηματαρίου, κατά μήκος της Εθνικής Οδού και στην περιοχή των Θηβών. Τα προβλήματα βιομηχανικής ρύπανσης αφορούν, κυρίως, ρύπανση των επιφανειακών υδάτων, που

προκαλείται από τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα. Η κατάσταση, ως προς την επεξεργασία και διάθεση των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων, γενικά μπορεί να χαρακτηριστεί δύσκολη, με εξαίρεση, ίσως, ορισμένες, μεγάλες βιομηχανίες, που διαθέτουν συστήματα επεξεργασίας των αποβλήτων τους. Αλλά, και στην περίπτωση αυτή, η απόδοση των εν λόγω συστημάτων, πολλές φορές δεν είναι ικανοποιητική και αποτελεσματική, είτε λόγω κακής λειτουργίας, είτε λόγω πλημμελούς επίβλεψης της λειτουργίας. Άλλες, πάλι, βιομηχανίες λειτουργούν χωρίς καν να διαθέτουν μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΚΕ.Π.Α.ΜΕ., 1997).

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει για όλες τις βιομηχανίες αλουμινίου, η λειτουργία των οποίων έχει δημιουργήσει σοβαρή υποβάθμιση, τόσο στο θαλάσσιο, όσο και στο χερσαίο οικοσύστημα της περιοχής, λόγω των σημαντικών εκπομπών υγρών αποβλήτων και αερίων (κυρίως φθοριούχων ενώσεων) στο περιβάλλον. Σύμφωνα με μετρήσεις που διεξάγονται από τη δεκαετία του 1980, τόσο από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, όσο και από το Πανεπιστήμιο Πατρών, το σημαντικότερο πρόβλημα αποτελεί η απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων ερυθράς ιλύος χωρίς καμία προηγούμενη επεξεργασία. Οι ποσότητες αυτές εξαρτώνται από το ύψος παραγωγής αλουμίνης, και κυμαίνονται περίπου σε 600.000 τόνους ετησίως. Στη σύστασή της, υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις τριοξειδίου του Σιδήρου (Fe_2O_3), διοξειδίου του Τιτανίου (TiO_2), τριοξειδίου του χρωμίου (Cr_2O_3), Νικελίου (Ni), Κοβαλτίου (Co) και μολύβδου (Pb), ενώ παράλληλα περιέχει και τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία Ουράνιο (^{238}U), Ράδιο (^{226}Ra) και Θόριο (^{232}Th) (ΚΕ.Π.Α.ΜΕ., 1997). Κατά την επεξεργασία του αλουμινίου αυτό οξειδώνεται και χρειάζεται “χρωμάτωση”. Επομένως, υφίσταται μια σειρά από μπάνια σε χρωμικό οξύ (εξασθενές χρώμιο), μεταξύ των οποίων το αλουμίνιο ξεπλένεται. Το νερό που χρησιμοποιείται για τα ξεπλύματα, μαζί με το χρώμιο, καταλήγει στα απόβλητα.

- Εξορυκτική Δραστηριότητα

Η εξορυκτική δραστηριότητα αφορά, κυρίως, αδρανή υλικά, μάρμαρα, γύψο και μεταλλεύματα (βωξίτης). Τη σημαντικότερη θέση στον τομέα της εξόρυξης σε ολόκληρο το Νομό Βοιωτίας κατέχει ο βωξίτης, που υπάρχει σε σημαντικά αποθέματα στον Παρνασσό και στον Ελικώνα. Τα συνολικά αποθέματα εκτιμώνται σε 500-600 εκατ. τόνους. Η εξόρυξη του βωξίτη στην περιοχή μελέτης γίνεται επιφανειακά ή υπόγεια ή με

συνδυασμό των δύο μεθόδων. Συνοδεύεται, δε, από σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις, τόσο στο φυσικό, όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον, και συγκεκριμένα (Κ.Ε.Π.Α.ΜΕ., 1997):

1. στη γεωμορφολογία της περιοχής,
2. στη χλωρίδα και τα φυσικά οικοσυστήματα,
3. στα επιφανειακά και υπόγεια νερά,
4. στην ατμόσφαιρα,
5. στο έδαφος,
6. στο ακουστικό περιβάλλον,
7. στις χρήσεις γης και
8. στο ιστορικό και πολιτιστικό περιβάλλον.

Οι εγκαταστάσεις της αλουμίνας και του αλουμινίου παράγουν τόνους κόκκινης λάσπης το χρόνο, που επί 45 χρόνια πέφτουν μέσα στον Ασωπό. Η κόκκινη λάσπη εμπεριέχει βαρέα μέταλλα που καταστρέφουν την πανίδα του βυθού. Επιπλέον, η κόκκινη λάσπη καλύπτει τον φυσικό πυθμένα με ένα στρώμα που έχει μέγιστο πάχος περίπου 30 cm.

- Βυρσοδεψικό Πάρκο (ΒΥ.ΠΑ.)

Τα βυρσοδεψεία ανήκουν στις οχλούσες μονάδες, λόγω των σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλεί η λειτουργία τους (κυρίως προβλήματα δυσοσμίας και επιβαρυμένα υγρά απόβλητα).

Η μετεγκατάσταση των βυρσοδεψείων της Αττικής, η οποία προέκυψε σαν επιτακτική ανάγκη, μεταξύ των άλλων και για περιβαλλοντικούς λόγους, και η λειτουργία τους στη νέα θέση (εντός των διοικητικών ορίων της Κοινότητας Ασωπίας), επιβαρύνει κυρίως τους υδάτινους αποδέκτες της περιοχής, εξαιτίας του υψηλού ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων τους. Η συνολική μέση ημερήσια παροχή υγρών αποβλήτων ανέρχεται περίπου σε 3.500 m³, ενώ το παραγόμενο ημερήσιο οργανικό φορτίο, από το σύνολο των βυρσοδεψικών μονάδων, ανέρχεται σε 6.200 kg BOD₅, που αντιστοιχεί σε αστική ρύπανση 100.000 ισοδύναμων κατοίκων (ι.κ.) (Κ.Ε.Π.Α.ΜΕ., 1997).

- Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

Στο Δήμο Θηβαίων, σε απόσταση 5 km ανατολικά της Θήβας, στη θέση Τσάρτσαλι από το 1969 λειτουργούσε Χώρος Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) για περισσότερα από είκοσι χρόνια. Από το 2009 στη θέση του έχει κατασκευαστεί ο νέος ΧΥΤΑ. Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν δύο ακόμη ΧΑΔΑ, μία στο δημοτικό διαμέρισμα Υπάτου στη θέση Κόκκινο Λιθάρι και μία στο δημοτικό διαμέρισμα Αμπελοχωρίου στη θέση Κιντάνι οι οποίες είναι ανενεργές.

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και οι επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον δεν είναι ένα σύγχρονο εύρημα των επιστημόνων, αλλά υπήρχε από το παρελθόν. Οι άνθρωποι στα προϊστορικά χρόνια υιοθέτησαν έναν νομαδικό τρόπο ζωής επειδή αναγκαζόταν να μεταναστεύουν ανά διαστήματα κατά τόπους, λόγω της δυσάρεστης οσμής που παρήγαγε η ίδια τους η δραστηριότητα, η οποία οφείλονταν στην ενίσχυση του ανέμου (Γεντεκάκης, 2010). Όσον αφορά στην εποχή του χαλκού και του σιδήρου, τα περισσότερα χωριά ήταν εκτεθειμένα στη βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων σε λαχανοκομικά είδη, οφειλόμενα στη σκόνη και στον καπνό. Τότε εντοπίζονται και οι πρώτες καταγραφές βαρέων μετάλλων. Η εξόρυξη χαλκού και χρυσού χρονολογείται πριν το 4000 π.Χ. Αργότερα, περίπου το 1000 π.Χ., ξεκίνησε η χρήση του σιδήρου (Γεντεκάκης, 2010). Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία εμφανίζονται και στην αρχαία Ρώμη (Bell & Treshow, 2002). Ο κίνδυνος λοιπόν που αντιμετωπίζει ο άνθρωπος στην καθημερινή του ζωή σήμερα, δεν είναι καινούριος.

Η Θήβα παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην Ελληνική μυθολογία και την ιστορία, όπως και όλη η Βοιωτία. Η ίδρυσή της περιγράφεται στα Ομηρικά έπη, στα οποία αποδίδεται στους αδερφούς Ζύθο (που έφερνε τις πέτρες) και Αμφίονα, ο οποίος παίζοντας τη λύρα του μάγεψε τις πέτρες, ώστε μετακινήθηκαν μόνες τους και σχημάτισαν τα τείχη της πόλης. Κάποιοι άλλοι μύθοι, αναφέρουν πως ιδρύθηκε από τον Κάδμο, γιο του Αγήνορα, Βασιλέα της Φοινίκης. Σύμφωνα με το μύθο αυτό, ο Δίας μεταμορφωμένος σε ταύρο έκλεψε την κόρη του Αγήνορα Ευρώπη και ο βασιλιάς διέταξε να ψάξουν να τη βρουν. Ο Κάδμος ψάχνοντας να τη βρει ζήτησε βοήθεια από τον Απόλλωνα και περνώντας από το μαντείο των Δελφών πήρε την εντολή να σταματήσει τις αναζητήσεις και ν' ακολουθήσει

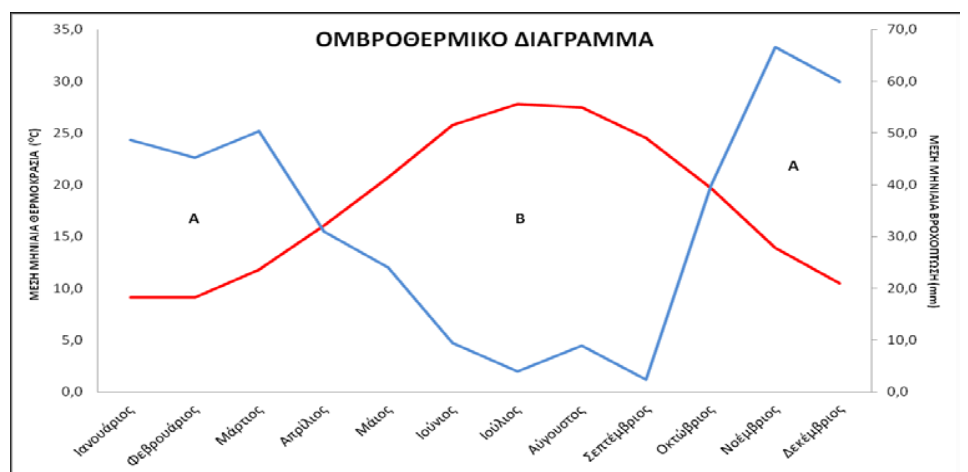
την πρώτη δαμάλα που θα συναντήσει. Σε όποιο σημείο γονατίσει η δαμάλα, εκεί να κτίσει μια πόλη (Polites & Edmonds, 1886) τη Θήβα στην οποία οι θεοί θα μοιράζουν τις ευλογίες τους. Επομένως ο Κάδμος, ακολούθησε την θεϊκή εντολή και κτίστηκε έτσι η πόλη της Θήβας. Κατοικήθηκε λοιπόν η πόλη που βρίσκεται στην πλούσια αυτή σε νερό και λίμνες πεδιάδα, η οποία περικλείεται από πολλά βουνά τον Παρνασσό, Ελικώνα, Κιθαιρώνα και άλλα μικρότερα. Βρίσκεται στο κέντρο της Ελλάδας κοντά στον Κορινθιακό και Ευβοϊκό κόλπο. Από την αρχαιότητα έως και σήμερα η Θήβα συνεχίζει να είναι η σπουδαιότερη πόλη της επαρχίας Θηβών, συνεισφέροντας οικονομικά με την πλούσια γεωργία και κτηνοτροφία της. Χαρακτηριστικό ιστορικό γεγονός είναι η μάχη των τριακοσίων νέων ιερολοχιτών (1877), οι οποίοι πολέμησαν για την απελευθέρωση της Θεσσαλίας και της Ηπείρου. Η αποξήρανση της λίμνης Κωπαΐδας επί διακυβέρνησης Χαριλάου Τρικούπη (1888), επίσης αποτελεί ένα σημαντικό έργο που άλλαξε ριζικά τη ζωή της πόλης.

2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βόρειου Ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό, δηλαδή ήπιοι και υγροί χειμώνες με ξηρά, θερμά καλοκαίρια και έντονη ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου. Η τοπογραφική ποικιλομορφία οδηγεί στην διαφοροποίηση των κλιματικών τύπων στον Ελλαδικό χώρο ανάλογα με το υψόμετρο που εμφανίζεται σε κάθε περιοχή. Έτσι, στην περιοχή της Θήβας, στις πεδινές περιοχές, ο χειμώνας είναι πιο ήπιος, με έντονες βροχοπτώσεις, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού έχουμε υψηλή θερμοκρασία που πολλές φορές ξεπερνά τους 40°C με αυξημένο ποσοστό υγρασίας. Η θερμοκρασία της περιοχής κυμαίνεται σε μέσο όρο από 16-18 °C και το μέσω ύψος των βροχών 500-600 χλστ. Αντίθετα στις ορεινές περιοχές, παρατηρείται πιο ψυχρός χειμώνας με πιο δροσερό καλοκαίρι, με αποτέλεσμα οι τιμές της ετήσιας υγρασίας να είναι πιο υψηλές σε όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, σε διάφορες μορφές που εμφανίζονται, όπως είναι η βροχή, το χαλάζι και το χιόνι αποτελούν την πιο σπουδαία τροφοδοσία για την λεκάνη απορροής των πεδινών εκτάσεων της περιοχής. Ειδικότερα το φαινόμενο της

χιονόπτωσης κυρίως στις ορεινές περιοχές εμφανίζεται από το Νοέμβριο έως το Μάρτιο, σε αντίθεση με τις πεδινές περιοχές που η εμφάνιση του φαινομένου είναι πιο συχνή.



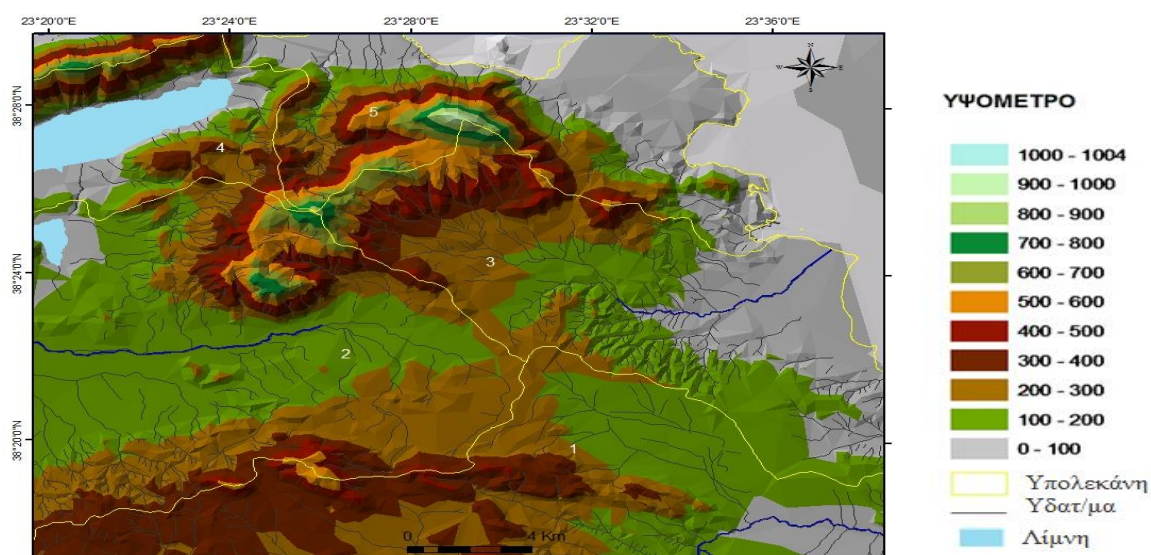
Εικόνα2.3: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής Θήβας (πηγή: ΕΜΥ, 1999)

Παρατηρώντας το ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης (Εικόνα 2.3) διακρίνεται ότι η ξηρή περίοδος διαρκεί από τις αρχές Απριλίου μέχρι τις αρχές Οκτώβρη, ενώ μια ισόχρονη και σχετικά ίσης έντασης, αν όχι πιο έντονη, υγρή περίοδος ακολουθεί.

2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι μεγαλύτερες πεδιάδες στην περιοχή μελέτης είναι της Θήβας, της Χαϊρώνειας και της Κωπαΐδας (που σχηματίστηκε ύστερα από την αποξήρανση της ομώνυμης λίμνης). Οι πεδιάδες αυτές διασχίζονται από μικρούς ποταμούς και χείμαρρους, κυριότεροι από τους οποίους είναι ο Ασωπός στα δυτικά, που 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. Μικρότεροι ποταμοί είναι οι παραπόταμοι του Κηφισού, Μόρνος και Μέλας. Η Περιφερειακή Ενότητα της Βοιωτίας έχει δυο λίμνες, την Υλίκη και την Παραλίμνη, που τροφοδοτούν με τα νερά τους τη λίμνη του Μαραθώνα. Τα λεκανοπέδια της Βοιωτίας περιβάλλονται από τα βουνά Ελικώνα (με ψηλότερη κορυφή την Παλιοβούνα, 1.748μ.), Κιθαιρώνα (1.409μ.), Παρνασσό (2.457μ.), Νεραϊδολάκκωμα (1.678μ.), Μεσσάπιο (1.021μ.), Πτώο και Χλωμό (1.081μ.). Οι ακτές του Κορινθιακού κόλπου έχουν μεγάλο διαμελισμό και σχηματίζουν

τα ακρωτήρια Αγιά, Μαύρος Κάβος και Μούντα και πολλά νησάκια, μεταξύ των οποίων το Μακρονήσι και το Ελατονήσι. Στη Βοιωτία ανήκουν πολλές ακατοίκητες νησίδες: Άμπελος, Δασκαλιό, Τσαρούχι, Κασίδης, Αλατονήσι, Βρώμη, Μακρόνησος, Αλκυονίδες Νήσοι, Γράμμουσα, Γάντζα, Πασάς, κ.ά. Στον Ευβοϊκό κόλπο σχηματίζονται τα στενά της Αυλίδας και του Ευρίπου, και ο όρμος Σκροπονερίου (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (TIN) στον οποίο απεικονίζονται οι υπολεκάνες, οι λίμνες και το υδρογραφικό δίκτυο (πηγή: Κουτσουρέλης, 2013)

2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Από γεωτεκτονική άποψη τα πετρώματα της ευρύτερης περιοχής των Θηβών ανήκουν στην υποπελαγονική ζώνη (Εικόνα 2.5). Η υποπελαγονική ζώνη αποτελείται από ασβεστόλιθους νηριτικής φάσεως που συνιστούν μετάβαση από μια νηριτική φάση επί της Πελαγονικής ζώνης προς την πελαγική φάση απόθεσης ασβεστολίθων στη ζώνη της Πίνδου. Η υποπελαγονική ζώνη χαρακτηρίζεται από τις μεγάλες οφιολιθικές μάζες και τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση που διακατέχει μεγάλη έκταση (Kariri et al., 2007).

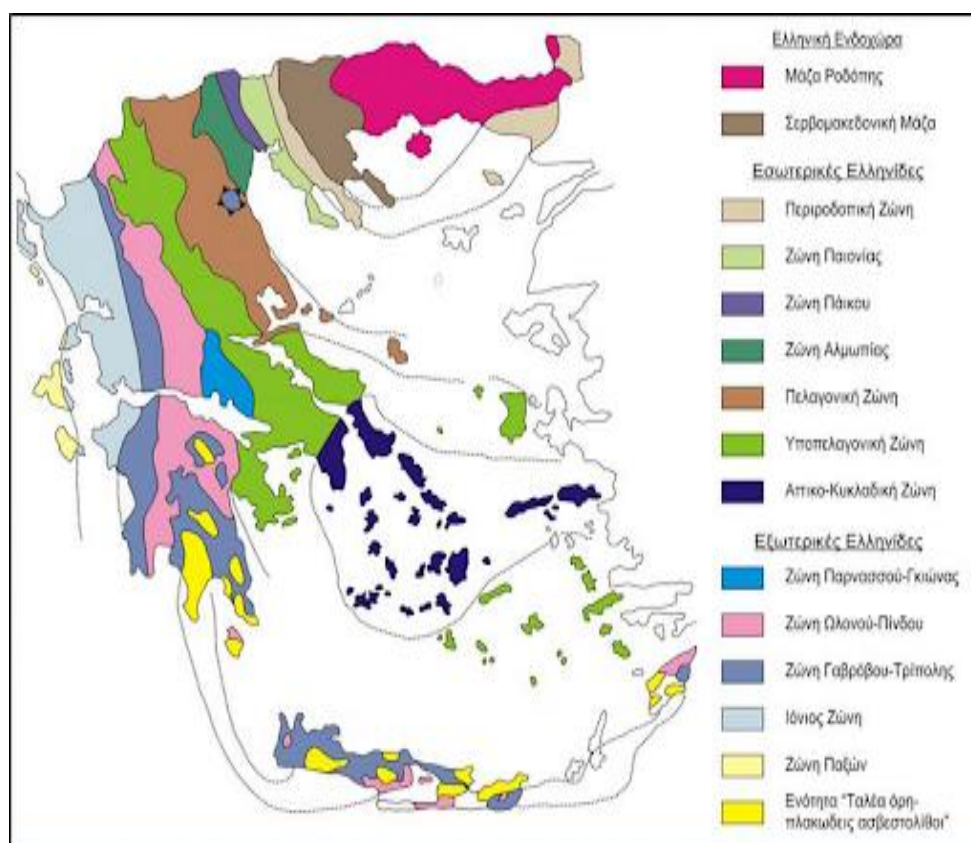
Η λεκάνη Θηβών, Τανάγρας, Μαλακάσας δημιουργήθηκε εξαιτίας τεκτονικών κινήσεων όπου έλαβαν χώρα κατακόρυφες μετατοπίσεις κατά το Κατώτερο Μειόκαινο και συνεχίζονται έως σήμερα και οι οποίες οδήγησαν σε ποικίλη λιθολογική διάρθρωση των ιζημάτων σε όλη την έκταση της λεκάνης (Μέττος, 1992).

Τα αλκικά ιζήματα διακρίνονται σε μεταμορφωμένα που απαντώνται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης και σε μη μεταμορφωμένα στο νότιο τμήμα της καθώς και μέσα στη λεκάνη υπό μορφή νησίδων κάτω από τους νεογενείς σχηματισμούς (Μέττος, 1992).

Τα μεταλλικά ιζήματα που χαρακτηρίζονται από λιμναίες, ποτάμιες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις (Αν. Μειόκαινο) επεκτείνονται έως τις ακτές του Ευβοϊκού κόλπου (Μέττος, 1992).

Τα λιμναία ιζήματα αποτελούν τα βαθύτερα μέλη της λεκάνης και αποτελούνται από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τραβερτίνες.

Τα ανώτερα τμήματα απαρτίζονται κυρίως από συνεκτικά και μη κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής απαντώνται νεογενείς σχηματισμοί όπως οι σχηματισμοί Σχηματαρίου και Θηβών-Ερυθρών.



Εικόνα 2.5: Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (πηγή: Μουντράκης, 1985).

Σύμφωνα με τον Τσόδουλο (2009), οι σχηματισμοί περιοχής Θηβών-Ερυθρών αναπτύσσονται κυρίως στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης, δηλαδή στην περιοχή

που περικλείεται από την πόλη των Θηβών και τις κοινότητες Ερυθρών, Πλαταιών, Καπαρελλίου και Λεονταρίου. Σύμφωνα με τους Τσόδουλο (2009) και Μέττο (1992) οι κύριες στρωματογραφικές ενότητες από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη είναι οι εξής:

- Τα βαθύτερα μέλη των αποθέσεων αποτελούν συνεκτικά κροκαλοπαγή που μεταβαίνουν προς τα επάνω σε λεπτότερες στρώσεις από εναλλαγές αργιλούχων άμμων, αργίλων και πηλών μέσα στους οποίους απαντούν αραιές στρώσεις από μη συνεκτικά και συνεκτικά κροκαλοπαγή.

- Συνεκτικά κροκαλοπαγή τα οποία εναλλάσσονται με ψαμμίτες με χαρακτηριστικό καστανό χρώμα.

- Λεπτομερείς σχηματισμοί που αποτελούνται από εναλλαγές αργίλων, αμμούχων πηλών και πηλών και εντός τους απαντούν αραιές ενστρώσεις μη συνεκτικών κροκαλοπαγών και άμμων. Το χρώμα που χαρακτηρίζει τις αποθέσεις αυτές είναι σκούρο γκρι.

- Εναλλαγές πηλών και αργίλων εντός των οποίων απαντούν αραιές ενστρώσεις από κροκάλες και άμμους και μεταβαίνουν προς τα πάνω σε αποθέσεις αργίλων και μη συνεκτικών κροκαλοπαγών.

Η σύσταση των κροκαλοπαγών που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι πολύμεικτη με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής να έχουν οι ασβεστολιθικής σύστασης κροκάλες, ενώ μικρότερο ποσοστό καταλαμβάνουν οι οφιολιθικής και κερατολιθικής σύστασης κροκάλες.

Τα κροκαλοπαγή των Θηβών (Μέττος, 1992) απαντώνται κοντά στην πόλη των Θηβών και είναι ποτάμιες αποθέσεις μεγάλου πάχους και καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση. Αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή τα οποία εναλλάσσονται με κόκκινου έως καστανού χρώματος αργίλους και αργιλούχους πηλούς, ψαμμίτες και άμμους. Τα κροκαλοπαγή αποτελούνται από οφιολιθικής ή ασβεστολιθικής σύστασης κροκάλες, ανάλογα με την περιοχή που έχουν αποτεθεί. Στο τμήμα κοντά στην πόλη των Θηβών επικρατούν οι οφιολιθικής σύστασης κροκάλες, ενώ νοτιοδυτικά επικρατούν οι ασβεστολιθικής σύστασης (Μέττος, 1992). Η διαφοροποίηση αυτή σε οφιολιθικές ή

ασβεστολιθικές κροκάλες οφείλεται στην πηγή τροφοδοσίας. Στην περιοχή των Θηβών η τροφοδοσία προέρχεται από τους οφιόλιθους του υποβάθρου που απαντώνται βόρεια της πόλης και στο νοτιοδυτικό τμήμα από τους ασβεστόλιθους των ορέων Κιθαιρώνα και Πάστρα.

Στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης τα κροκαλοπαγή των Θηβών συνίσταται κυρίως σε καστανοκόκκινους πηλούς μεγάλου πάχους οι οποίοι εναλλάσσονται με λεπτές στρώσεις αργίλων και κροκαλοψαμμιτών υπό μορφή πάγκων (Μέττος, 1992). Οι κροκάλες είναι ασβεστολιθικές με συνδετικό υλικό αργιλοψαμμιτικό ή ψαμμιτικό και πολλές φορές απαντούν διάσπαρτες μέσα στις αποθέσεις των καστανοκόκκινων πηλών.

Στο εσωτερικό της λεκάνης οι παραπάνω αποθέσεις μεταβαίνουν πλευρικά σε εναλλαγές μη συνεκτικών κροκαλοπαγών (Μέττος, 1992).

Δυτικά των Θηβών εμφανίζεται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο και ποτάμιες αποθέσεις από μη συνεκτικά κροκαλοπαγή τα οποία μεταβαίνουν προς τα πάνω σε εναλλαγές ενστρώσεων μικρού πάχους αποτελούμενων από αμμούχους πηλούς, πηλούχους άμμους και πηλούς καστανού χρώματος (Μέττος, 1992).

Η τεταρτογενής περίοδος περιλαμβάνει τεταρτογενή ιζήματα όπως ποταμοχειμάρριες, ποταμοχερσαίες και χερσαίες αποθέσεις και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Μέττος, 1992):

- Τις ποταμοχειμάρριες αποθέσεις του κατώτερου Πλειστόκαινου οι οποίες καταλαμβάνουν τη λεκάνη Θηβών – Τανάγρας – Μαλακάσας και
- Τις ποταμοχερσαίες και χερσαίες αποθέσεις με μορφή κυρίως αλλουβιακών ριπιδίων και καταλαμβάνουν τις λεκάνες Θηβών – Τανάγρας – Μαλακάσας και Μεσογείων.

Σύμφωνα με το Δούνα (1971) και τον Τσόδουλο (2009), οι Νεογενείς αποθέσεις της περιοχής των Θηβών διακρίνονται σε δύο συστήματα το Κατώτερο και το Ανώτερο. Το Κατώτερο σύστημα, χαρακτηρίζεται από την παρουσία κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, μαργών και αργίλων τα οποία εναλλάσσονται τυχαία μεταξύ τους. Τη βάση του συστήματος αποτελούν κροκαλοπαγή (περιοχή Πλαταιών), αποτελούμενο από κροκάλες

κυρίως ασβεστολιθικής κυρίως σύστασης και το οποίο εξελίσσεται προς τα επάνω σε εναλλαγές στρωμάτων μαργών, αργίλων, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών.

Στο Ανώτερο σύστημα, απαντώνται αποθέσεις χερσαίας προέλευσης, αποτελούμενες από πηλούς και αργίλους ερυθρού και καστανού χρώματος συχνά με ενστρώσεις μαργαϊκών στρωμάτων και ανάμεσά τους παρεμβάλλονται ενστρώσεις ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Οι σχηματισμοί αυτοί εξελίσσονται στα ανώτερα τμήματα σε αποθέσεις κροκαλοπαγών σημαντικού πάχους οι οποίοι θεωρούνται από το Δούνα (1971), αντίστοιχοι με τους σχηματισμούς που αποτελούν το κροκαλοπαγές των Θηβών και αναφέρθηκαν παραπάνω.

2.6 ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ

Με τον όρο χλωρίδα εννοούμε το σύνολο των διαφόρων ειδών φυτών που συναντάμε σε μια περιοχή. Η χλωρίδα της Ελλάδας περιλαμβάνει περίπου 6.000 είδη και υποείδη φυτών, από τα οποία περίπου 1.100 είναι ενδημικά. Είναι ξεχωριστή στην Ευρώπη για τον πλούτο της και την αναλογία ενδημικών ειδών σε σχέση με την έκτασή της. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη ποικιλία βιοτόπων και οικοσυστημάτων, τα οποία μπορούν να φιλοξενήσουν εκτός από αυτόν τον αριθμό χλωρίδας και πολύ σημαντική πανίδα. Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας μεταξύ τριών ηπείρων (Ευρώπη, Ασία, Αφρική), το ιδανικό μεσογειακό κλίμα, το έντονο ανάγλυφο και η πλούσια παλαιογεωγραφική ιστορία του ελληνικού χώρου δημιούργησαν οικότοπους ζωτικής σημασίας στην Ευρώπη και στον κόσμο (elxefsis.com).

Ξεχωριστή θέση στο νομό Βοιωτίας και για την πόλη της Θήβας αποτελεί το δάσος του Μοσχοποδίου εκτάσεως 20.000 στρεμμάτων, χώρος φυσικού κάλλους και μνήμης, με μεγάλη ποικιλία σε χλωρίδα και πανίδα. Το ανάγλυφό του, είναι σχετικά ομαλό εμφανίζοντας σε ορισμένες θέσεις σημαντικές κλίσεις, καθώς η Βόρεια πλευρά του αποτελεί τη λεκάνη απορροής προς την πεδιάδα της Θήβας. Το δάσος είναι προστατευτικό και περιαστικό για την πόλη, καθώς 4000 στρεμμάτων έκταση από την συνολική, είναι δημόσια. Αποτελείται από πυκνό δασικό οδικό δίκτυο, ενώ το 50% της έκτασής του καλύπτεται από τεχνητές συγκροτημένες συστάδες όπως είναι η χαλέπιος πεύκη και τα κυπαρίσσια. Με πληροφορίες και μελέτες του δασαρχείου (Ματάλας,

2011), 733 στρεμ. καλούνται ως προστατευόμενη περιοχή. Προσφέρει αξιοσημείωτο βοτανικό πλούτο τόσο στους κατοίκους της περιοχής όσο και στους επισκέπτες, καθώς και την ευκαιρία για αναψυχή, άθληση και περιβαλλοντική αγωγή. Στο κέντρο του υπάρχουν τα υψώματα Μεγάλη και Μικρή Ψηλοράχη, στα βόρεια υπάρχει ο λόφος Κουμέρκι και στα ανατολικά το ύψωμα Σωρός (547μ.). Εμπλουτίζεται από Μεσογειακούς θάμνους με σκληρά δερματώδη φύλλα, όπως είναι ο σχίνος, το πουρνάρι και το ρείκι, τα οποία περιορίζουν την διαπνοή και συγκρατούν την υγρασία κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τους καλοκαιρινούς μήνες επικρατούν πολλά αρωματικά φυτά, όπως το θυμάρι και οι λαδανιές που ομορφαίνουν το τοπίο αισθητικά και πλημμυρίζοντάς το από έντονες μυρωδιές. Ενώ την άνοιξη το τοπίο είναι εντυπωσιακό από τους φρυγανότοπους και από την εμφάνιση των ετήσιων ποώδη και πολυετή βολβώδη ειδών, όπως είναι η οικογένεια της ορχιδέας (Orchidaceae), της τουλίπας (Liliaceae) και του κρίνου (Iridaceae) κ.ά. Επίσης εμφανίζονται είδη φυτών και μανιταριών με φαρμακευτικές και θεραπευτικές ιδιότητες που συμβάλλουν σε διάφορες ασθένειες.

Η μικροχλωρίδα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή όπως στη περιοχή Σχηματαρίου – Μαλακάσας, χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση κυρίως γυρεόκοκκων δέντρων και θαμνών της οικ. Taxodiaceae και Cupressaceae που υπερτερούν σε σύγκριση με άλλα είδη από 40% - 50% καθώς επίσης και Κωνοφόρων (*Pinus*, *Abies*, *Tsuga*). Μεγάλη ποικιλία γυρεόκοκκων των *Ainus*, *Quercus*, *Salix*, *Araliaceae* είναι οι πιο επικρατέστερες από την κατηγορία των φυλλοβόλων, ενώ οι γυρεόκοκκοι των ποωδών φυτών αντιπροσωπεύονται κυρίως από την οικ. Ericaceae, Caryophyllaceae και Umbelliferae. Το τελικό όμως στάδιο κυριαρχείται σε μεγάλο αριθμό από τους γυρεόκοκκους των υδρόφιλων φυτών σε ποσοστό έως 12% των οικ. Cyperaceae, Nymphaeaceae και Typhaceae, καθώς επίσης και από τα Πτεριδόφυτα και τα Φυτοπλαγκτόν γλυκών υδάτων (*Zygnemataceae*, *Ovoiditessp.*) (Μέττος, 1992).

Με τον όρο πανίδα εννοούμε το σύνολο των διαφόρων ειδών ζωικών οργανισμών (Σπονδυλωτών και Ασπόνδυλων) που συναντάμε σε μια περιοχή. Σύμφωνα με πρόσφατες απογραφές (Fauna Europa, 2004), στην Ελλάδα έχουν καταγραφεί 23.130

είδη ζώων της ξηράς και των γλυκών νερών. Σ' αυτά μπορούμε να προσθέσουμε και άλλα 3.500 είδη της θάλασσας.

Όσον αφορά στην πανίδα της περιοχής, υπάρχει η εμφάνιση αρκετών ερπετών όπως είναι φίδια και σαύρες στις ορεινές περιοχές. Στους θαμνώνες επικρατούν πολλά κοινά πουλιά όπως είναι ψαρόνια, τσαλαπετεινοί, περιστέρια, κοράκια, κίσσες. Όσο αναφορά τα θηλαστικά εμφανίζονται κυρίως νυχτερίδες, σκαντζόχοιροι και τυφλοπόντικες (Greeceheaven.com). Στη λεκάνη Θηβών - Τανάγρας – Μαλακάσας, σύμφωνα με το Mitsopoulo (1961), εμφανίζονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά είδη της πανίδας:

- *Hipparion mediterraneum gervais*
- *Rhinocerotidarum gen. indet*
- *Gazella depertida gervais*
- *Gazella sp.*
- *Antilopidarum gen. indet.*

3.ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Από την πόλη της Θήβας συλλέχθηκαν δεκαεπτά (17) αντιπροσωπευτικά επιφανειακά δείγματα εδάφους από αστικά πάρκα τον Σεπτέμβριο του 2019. Στα δείγματα αυτά πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές και γεωχημικές αναλύσεις, όπως προσδιορισμός βαρέων μετάλλων, προσδιορισμός οργανικής ύλης και pH.

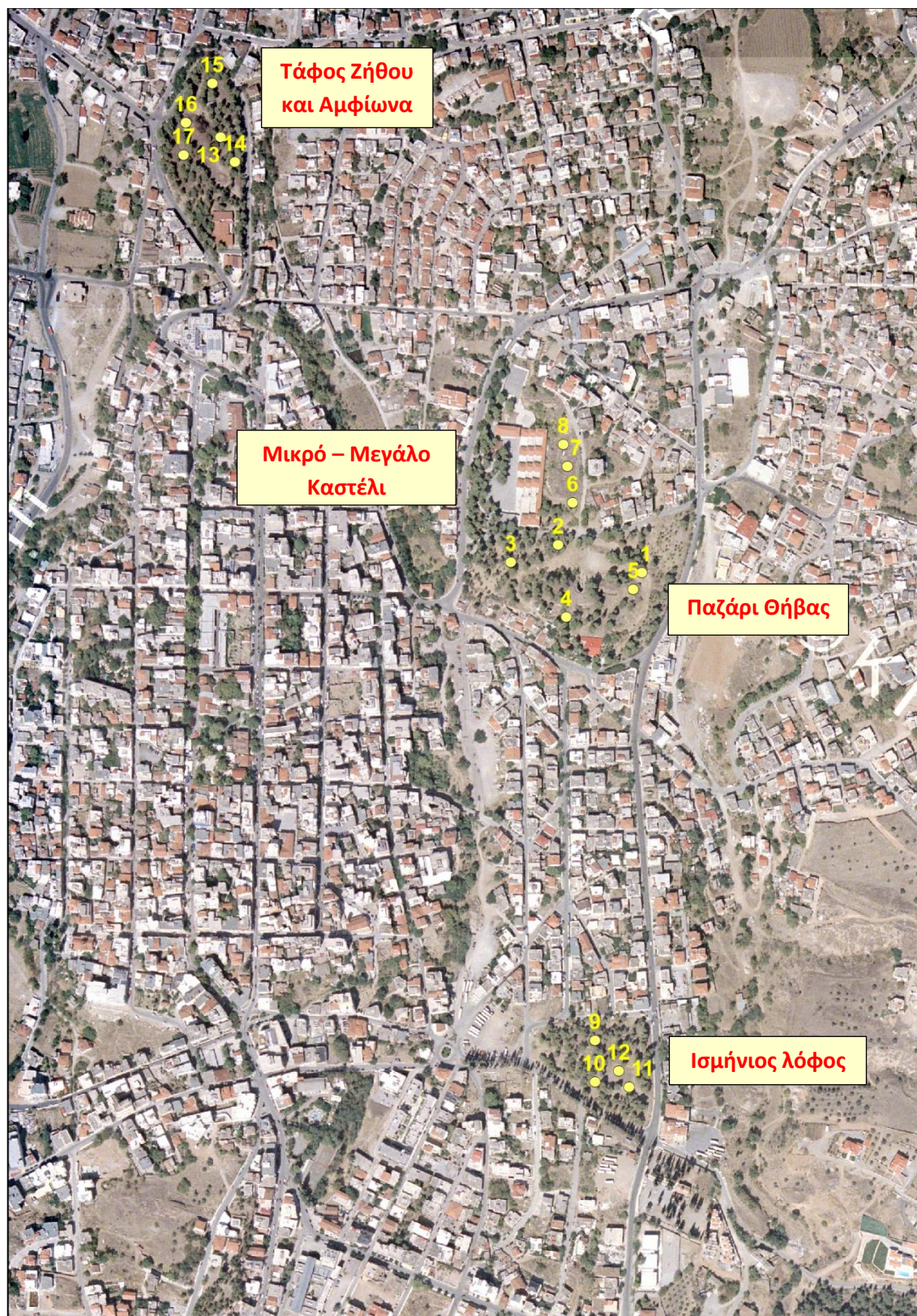
3.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για να προσδιοριστεί η ρύπανση από βαρέα μέταλλα σε αστικά επιφανειακά εδάφη της Θήβας επιλέχθηκαν για δειγματοληψία τέσσερα πάρκα στο κέντρο της πόλης, το Μεγάλο – Μικρό Καστέλι, το Παζάρι της Θήβας, ο Ισμήνιος λόφος και ο Τάφος Ζήθου και Αμφίωνα.

Ως προς τη βλάστηση τα πάρκα αυτά καλύπτονται σε σημαντικό βαθμό από πεύκη.

Συλλέχθηκαν δεκαεπτά (17) αντιπροσωπευτικά σύνθετα επιφανειακά δείγματα εδάφους από βάθος εδάφους 0 έως 10 cm, οι θέσεις δειγματοληψίας των οποίων απεικονίζονται στην Εικόνα 3.1. Σε κάθε θέση δειγματοληψίας οριοθετήθηκε μια επιφάνεια εμβαδού $1 \times 1 \text{ m}^2$ (Εικόνα 3.2) και το δείγμα προέκυψε από τη συλλογή και ανάμιξη τεσσάρων υποδειγμάτων από τις τέσσερις γωνίες και ενός υποδείγματος από το κέντρο της περιοχής αυτής (Εικόνα 3.2) μετά την απομάκρυνση φυτών και φύλλων.

Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες οι οποίες σφραγίστηκαν έτσι ώστε τα δείγματα να μεταφερθούν αναλλοίωτα στο εργαστήριο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στο Καρπενήσι.



Εικόνα 3.1: Θέσεις δειγματοληψίας



Εικόνα 3.2: Επιφάνεια δειγματοληψίας

3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Τα εδαφικά δείγματα τοποθετήθηκαν πάνω σε διηθητικό χαρτί σε καλά αεριζόμενο χώρο για ημέρες σπάζοντας τα συσσωματώματα του εδάφους με το χέρι, έτσι ώστε να γίνει η αποξήρανση τους αλλάζοντας καθημερινά το χαρτί. Μετά την διαδικασία αυτή, ακολούθησε κοσκίνισμα σε κόσκινο με άνοιγμα οπών 2mm, για να ληφθεί η λεπτή γη και στη συνέχεια λειοτρίβηση σε πορσελάνινο γουδί τμήματος του κοσκινισμένου εδάφους.

3.3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους χρησιμοποιήθηκε η σταθμική μέθοδος. Ζυγίστηκε μια ποσότητα εδαφικού δείγματος (περίπου 20gr) η οποία τοποθετήθηκε σε φούρνο θερμοκρασίας 105°C για χρονικό διάστημα πάνω από 12 h μέχρι να αποκτήσει σταθερό βάρος και να εκλείψει η υγρασία και μετά την ξήρανση ξαναζυγίστηκε. Η υγρασία του εδάφους υπολογίστηκε από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Υγρασίαεδάφους \%} = \frac{B_1 - B_2}{B_2} \cdot 100$$

όπου:

B1 είναι το βάρος του εδάφους πριν από την ξήρανση.

B2 είναι το βάρος του εδάφους μετά από την ξήρανση (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

3.3.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η μηχανική σύσταση των επιφανειακών εδαφών των αστικών πάρκων της Θήβας προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του υδρομέτρου (Βουγουκος, 1927, 1951, 1962).

Ζυγίστηκαν 52,5 g αεροξηραμένου εδαφικού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 600 ml. Προστέθηκαν 40 ml εξαμεταφωσφορικού νατρίου και 150 ml απιονισμένο νερό και το δείγμα παρέμεινε σε ηρεμία για 24 ώρες. Για την παρασκευή του εξαμεταφωσφορικού νατρίου ζυγίστηκαν 10 g (NaPO₃)_x και ανήχθησαν σε 1 lt απιονισμένο H₂O. Στη συνέχεια το περιεχόμενο του ποτηριού ζέσεως μεταφέρθηκε στο κύπελο του ανακινητή, ανακινήθηκε για 10 min και μεταφέρθηκε σε κυλίνδρους Βουγουκος, όπου προστέθηκε νερό μέχρι την κάτω χαραγή του κυλίνδρου με το πυκνόμετρο μέσα στο αιώρημα. Με τη βοήθεια ράβδου ανακίνησης ανακινήθηκε πολύ καλά και μετά την έξοδο της ράβδου τοποθετήθηκε στον κύλινδρο πυκνόμετρο και θερμόμετρο. Στα 40 sec μετά το τέλος της ανακίνησης έγινε η πρώτη ανάγνωση του πυκνομέτρου και καταγράφηκε η θερμοκρασία του αιωρήματος. Μετά την πάροδο 2 ωρών και χωρίς να μεσολαβήσει ανάδευση λήφθηκε δεύτερη μέτρηση πυκνότητας και θερμοκρασίας. Στη συνέχεια οι τιμές της πυκνότητας διορθώθηκαν με βάση τη θερμοκρασία με τη βοήθεια ειδικών πινάκων (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

Η εκατοστιαία περιεκτικότητα του εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο υπολογίστηκε από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Άργιλος \%} = \frac{B}{r} \cdot 100, \quad \text{Ιλύς \%} = \frac{A-B}{r} \cdot 100, \quad \text{Άμμος \%} = \frac{1-A}{r} \cdot 100$$

όπου:

A: Η πρώτη διορθωμένη ανάγνωση του πυκνομέτρου στα 40 sec.

B: Η δεύτερη διορθωμένη ανάγνωση του πυκνομέτρου στις 2 h.

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

3.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH

Για τη μέτρηση του pH του ιζήματος χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρομετρική μέθοδος η οποία βασίζεται στη μέθοδο της αγωγιμότητας με την χρήση των πεχάμετρων και είναι ικανοποιητικά αξιόπιστη (Τάντος, 2002).

Ζυγίστηκαν 20 g ξηραμένου και κοσκινισμένου εδάφους και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Προστέθηκε απιονισμένο νερό σε αναλογία εδάφους : νερού 1:1 και το αιώρημα αναδεύτηκε με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου περιοδικά για διάστημα 30 min. Στη συνέχεια αφέθηκε σε ηρεμία για άλλα 30 min για να επιτευχθεί μερική καθίζηση. Μετά την καθίζηση εισήχθησαν στο αιώρημα τα ηλεκτρόδια υάλου – καλομέλανα και με τη βοήθεια του πεχάμετρου μετρήθηκε το pH των εδαφικών δειγμάτων αφού το πεχάμετρο προηγουμένως ρυθμίστηκε με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων γνωστού pH 4,0 και 7,0 (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

3.3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ

Για τη μέτρηση της οργανικής ουσίας του εδάφους εφαρμόστηκε η μέθοδος της υγρής οξείδωσης (Walkley and Black, 1934). Με τη μέθοδο αυτή ένα οξειδωτικό μέσο όπως είναι το $K_2Cr_2O_7$ οξειδώνει τον C της οργανικής ουσίας του εδάφους με αποτέλεσμα το οξειδωτικό αυτό υλικό ταυτόχρονα να ανάγεται. Η ποσότητα του $K_2Cr_2O_7$ που δεν ανάγεται μπορεί να προσδιοριστεί με διάφορους τρόπους είτε ογκομετρικά με άλλο αναγωγικό διάλυμα όπως είναι ο $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$, είτε χρωματομετρικά. Σημειώνεται ότι η παρουσία στο έδαφος οξειδωτικών ή αναγωγικών ουσιών μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα.

Ζυγίστηκαν 0,3 g κονιοποιημένου εδαφικού δείγματος και μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη Erlenmeyer των 500 ml. Προστέθηκαν στην κωνική φιάλη 10 ml $K_2Cr_2O_7$ και το

Δείγμα αναδεύτηκε ήπια για να διαβραχεί το έδαφος. Προστέθηκαν 20 ml πυκνού H_2SO_4 και αναδεύτηκε εκ νέου με ήπια περιστροφική κίνηση για 1 λεπτό. Κατόπιν το δείγμα αφέθηκε για 30 λεπτά σε ηρεμία και στη συνέχεια προστέθηκαν 200 ml νερό, 20 ml H_3PO_4 και 1 – 2 ml δείκτη διφαινυλαμίνης 0,5%. Στο σημείο αυτό άλλαξε το χρώμα του δείγματος από καφέ – πορτοκαλί σε μπλε – μαύρο. Τέλος, ακολούθησε τιτλοδότηση του δείγματος με $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$, 0,5 N για τον προσδιορισμό της ποσότητας του $K_2Cr_2O_7$ που δεν ανάχθηκε, έως ότου το τελικό χρώμα να γίνει από μπλε πράσινο.

Παράλληλα σε κάθε σειρά δειγμάτων πραγματοποιήθηκε και ένας λευκός προσδιορισμός για τον έλεγχο της κανονικότητας των διαλυμάτων (Παντέρα και Γαλανπούλου, 2015).

3.3.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Για τον προσδιορισμό των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά εδάφη της Θήβας η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στις ακόλουθες 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_3 65% w/v, H_2O_2 30% w/v και HCl.

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου Thermo iCE 3000 Series.

Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα γνωστής περιεκτικότητας για κάθε μέταλλο και για τον εσωτερικό έλεγχο ποιότητας δείγμα εσωτερικού ελέγχου (QCS) για το οποίο ακολουθήθηκε η πορεία της μεθόδου όπως ακριβώς και για τα άγνωστα δείγματα.

Αναλυτικότερα η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ακόλουθη:

Σε κωνική φιάλη των 50ml ζυγίστηκε 1,0 g αεροξηραμένου και κονιοποιημένου δείγματος εδάφους. Σε κάθε κωνική φιάλη προστέθηκαν 5 ml πυκνού HNO_3 και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αμμόλουτρο έτσι ώστε να καλύπτεται όσο το δυνατόν περισσότερο το περιεχόμενο μίγμα από την άμμο και αφέθηκαν σε ηρεμία για ένα

βράδυ. Στη συνέχεια τα δείγματα παρέμειναν σε θερμοκρασία $95\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως ότου σταμάτησαν να εκλύονται καφέ ατμοί στο εσωτερικό της φιάλης. Αφέθηκαν να κρυσώσουν, προστέθηκαν 5 ml πυκνού HNO_3 και θερμάνθηκαν για άλλες δύο ώρες στην ίδια θερμοκρασία. Αφού κρυσώσαν προστέθηκαν 3 ml πυκνού H_2O_2 και αφέθηκαν σε ηρεμία για ένα βράδυ. Στη συνέχεια τα δείγματα ξαναθερμάνθηκαν για μια ώρα στην ίδια θερμοκρασία και επαναλήφθηκαν τα δύο τελευταία βήματα έως ότου το δείγμα γίνει πολύ λεπτόκοκκο και το χρώμα του αρκετά ανοιχτό, ένδειξη αποδόμησης της οργανικής ουσίας. Αφού απέκτησαν θερμοκρασία περιβάλλοντος τα δείγματα διηθήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml με διηθητικό χαρτί 4.5 n° 40.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και μία άδεια κωνική φιάλη για την παρασκευή του «λευκού μάρτυρα» της μεθόδου.

Ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων έγινε ως εξής:

Η συγκέντρωση του διαλύματος που δόθηκε από την ατομική απορρόφηση πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή αραίωσης ο οποίος 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 (1,00 g δείγματος αντιστοιχεί σε 50 ml τελικού εκχυλίσματος) για να εκφράσει την περιεκτικότητα του εδάφους στο αντίστοιχο μέταλλο. Στην περίπτωση που γίνεται η συλλογή του εκχυλίσματος σε φιάλη των 25 ml, τότε πολλαπλασιάζεται με 25.

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

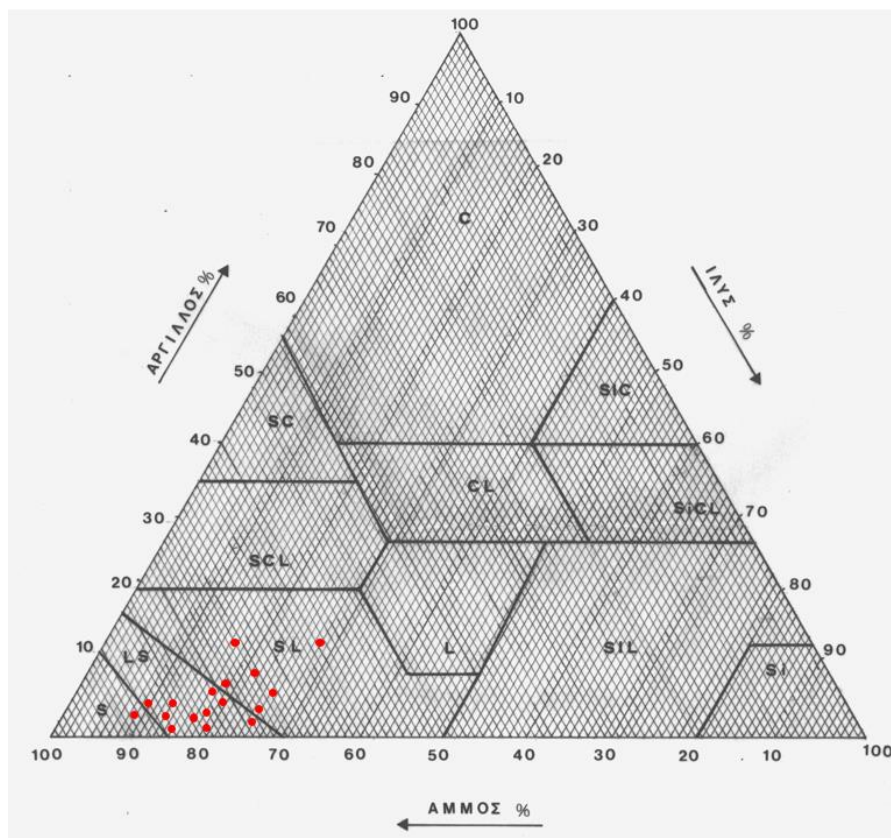
Στα επιφανειακά εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας υπολογίστηκε το % ποσοστό της άμμου, της ιλύος και της αργίλου και οι τιμές τους τοποθετήθηκαν στο τριγωνικό, διάγραμμα μηχανικής σύστασης κατά το αμερικάνικο σύστημα από όπου προέκυψε η κατηγορία της μηχανικής τους σύστασης.

Τα εδάφη της περιοχής μελέτης εμφανίζουν ομοιογένεια ως προς τα εδαφολογικά τους χαρακτηριστικά και απαρτίζονται από τρεις διαφορετικούς τύπους εδάφους.

Δέκα από αυτά ανήκουν στην κατηγορία «Πηλοαμμώδες», έξι στην κατηγορία «Αμμοπηλώδες» και ένα στην κατηγορία «Αμμώδες». Σύμφωνα με αποτελέσματα των μετρήσεων τα εδάφη της Θήβας χαρακτηρίζονται κυρίως ελαφράς μηχανικής σύστασης αφού επικράτησε σε αυτά σε μεγαλύτερο βαθμό το κλάσμα της άμμου (58,93-86,55%) και ακολουθεί αυτό της ιλύος (10,48-29,52%), ενώ το αργιλικό κλάσμα συμμετέχει σε μικρότερο βαθμό (2,02-12,50%) (Εικόνα 4.1 , Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Μηχανική σύσταση επιφανειακών εδαφών αστικών πάρκων της Θήβας.

Δείγμα	Άμμος%	Ίλύς%	Άργιλος %	Κατηγορία μηχανικής σύστασης
1	77,98	19,05	2,97	Πηλοαμμώδες
2	78,93	18,10	2,97	Πηλοαμμώδες
3	71,31	24,76	3,92	Αμμοπηλώδες
4	83,70	14,29	2,02	Πηλοαμμώδες
5	81,79	14,29	3,92	Πηλοαμμώδες
6	72,27	23,81	3,92	Πηλοαμμώδες
7	72,27	20,95	6,78	Αμμοπηλώδες
8	76,08	20,95	2,97	Πηλοαμμώδες
9	85,60	10,48	3,92	Πηλοαμμώδες
10	74,17	19,05	6,78	Πηλοαμμώδες
11	68,46	22,86	8,69	Αμμοπηλώδες
12	82,74	15,24	2,02	Πηλοαμμώδες
13	68,46	19,05	12,50	Αμμοπηλώδες
14	58,93	29,52	11,54	Αμμοπηλώδες
15	86,55	10,48	2,97	Αμμώδες
16	75,12	18,10	6,78	Πηλοαμμώδες
17	67,50	26,67	5,83	Αμμοπηλώδες



Εικόνα 4.1: Τριγωνικό Διάγραμμα Μηχανικής Σύστασης των εδαφών κατά το Αμερικανικό Σύστημα (πηγή: Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

C=Αργιλώδες, SCL=Αμμοαργιλοπηλώδες, LS=Πηλοαμμώδες, L=Πηλώδες, Si=Ιλυώδες, SiC=Ιλσοαργιλώδες, SC=Αμμοαργιλώδες, SL=Αμμοπηλώδες, S=Αμμώδες, SiL=Ιλσοπηλώδες, SiCL=Ιλσοαργιλοπηλώδες, CL=Αργιλοπηλώδες.

4.1.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΘΗΒΑΣ

Σύμφωνα με ορυκτολογικές αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε προγενέστερες μελέτες στα εδάφη της Θήβας καθώς και σε πετρώματα και εδάφη της ευρύτερης περιοχής (Kelepertzis et al., 2013; Kelepertzis and Stathoroulou, 2013; Antibachi et al., 2012) τα εδάφη της περιοχής είναι εμπλουτισμένα σε ορυκτά που σε μεγάλο βαθμό έχουν προκύψει από την εξαλλοίωση των υπερβασικών πετρωμάτων τα οποία κατέχουν σημαντική έκταση. Αναλυτικότερα, η κύρια ορυκτολογική σύσταση των μητρικών υπερβασικών πετρωμάτων συνίσταται σε ολιβίνη (φορστερίτη), σερπεντίνη και ορθοπυρόξενο (ενστατίτη), ενώ συμμετέχουν επίσης σε μικρότερο βαθμό αμφίβολοι (ακτινόλιθος), τάλκης και σμεκτίτης (Kelepertzis et al., 2013). Στα εδάφη επικρατεί ο σμεκτίτης, σερπεντίνης, μαγνητίτης και αιματίτης, ενστατίτης καθώς και ορυκτά που δεν

προέρχονται από την αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων, όπως χαλαζίας και άστριοι, όπως αλβίτης, ανορθίτης κ.ά. τα οποία προέρχονται από την σχιστοκερατολιθική διάπλαση (Kelepertzis et al., 2013; Antibachi et al., 2012). Επίσης στα εδάφη εμπεριέχονται ανθρακικά ορυκτά, όπως ασβεστίτης, δολομίτης κ.ά. τα οποία έχουν προέλθει από την αποσάθρωση των ανθρακικών πετρωμάτων. Τα αργιλικά ορυκτά που παρατηρούνται είναι ο χλωρίτης, ο ιλλίτης και/ή ο μοντμοριλλονίτης (Antibachi et al., 2012).

4.1.3 pH

Το pH που προσδιορίστηκε στα 17 δείγματα επιφανειακού εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 7,49 και 7,96 (Πίνακας 4.2). Τα εδάφη με τιμές pH μεταξύ 7,1 και 7,5 χαρακτηρίζονται ελαφρώς αλκαλικά και με τιμές μεταξύ 7,6 και 8,2 μέσα αλκαλικά. Έτσι οι τιμές του pH που προσδιορίστηκαν στα εδάφη της Θήβας υποδηλώνουν περιβάλλον ελαφρά αλκαλικό έως μέσο αλκαλικό με την πλειοψηφία των εδαφικών δειγμάτων να ανήκουν στην τελευταία κατηγορία. Οι τιμές αυτές δικαιολογούνται από την παρουσία ανθρακικών και υπερβασικών πετρωμάτων στην ευρύτερη περιοχή, τα οποία τροφοδοτούν το έδαφος μέσω της αποσάθρωσης με βάσεις.

Το pH επηρεάζει την κινητικότητα και ρυθμίζει τη διαλυτότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και τη δυνατότητα πρόσληψής τους από τα φυτά (Antibachi et al., 2012). Τα αλκαλικά εδάφη δεν ευνοούν τη μετακίνηση των μετάλλων, αλλά η διαλυτότητα τους αυξάνει όσο ελαττώνεται το pH. Ιχνοστοιχεία όπως Fe, Mn, Zn, Cu και Co καθώς και το Al παρουσιάζουν μεγάλη διαλυτότητα σε χαμηλά pH σε σημείο που καθίστανται τοξικά για τα φυτά. Σε υψηλά pH η παρουσία τους ελαττώνεται και παρατηρείται έλλειψη σε αυτά (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

4.1.4 ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Η οργανική ουσία αποτελεί σημαντική πηγή θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά και επηρεάζει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες καθώς και την παραγωγικότητα του εδάφους (Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).

Η περιεκτικότητα των επιφανειακών εδαφών των αστικών πάρκων της Θήβας σε οργανικό άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 1,33 και 5,55% με μέση τιμή 3,58% (Πίνακας 4.2) και τα δείγματα παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών. Σύμφωνα με την ακόλουθη ταξινόμηση (Κατρίτσης, 2016) τα δείγματα εδάφους εμφανίζουν υψηλή έως πλούσια περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα με εξαίρεση τα δείγματα 11 και 15 που έχουν μέση περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα.

- 0,5% Low
- 0,5 –1% Medium low
- 1 –2% Medium
- 2 –4% High
- 4 –8% Rich
- 8 –15% Muck
- >15% Peat

Πίνακας 4.2: Περιεχόμενος οργανικός άνθρακας και pH επιφανειακών εδαφών αστικών πάρκων της Θήβας.

Δείγμα	Corg%	pH
1	4,33	7,56
2	2,14	7,70
3	3,76	7,65
4	4,39	7,62
5	4,74	7,53
6	4,33	7,66
7	2,14	7,96
8	2,83	7,79
9	2,60	7,56
10	5,55	7,53
11	1,68	7,72
12	4,68	7,49
13	2,83	7,67
14	5,43	7,59
15	1,33	7,84
16	3,41	7,57
17	4,62	7,56

4.1.5 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Στα επιφανειακά εδάφη των πάρκων της Θήβας προσδιορίστηκαν έξι βαρέα μέταλλα τα οποία είναι τα πιο συχνά απαντούμενα σε αστικές περιοχές, οι ολικές συγκεντρώσεις των οποίων δίνονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας σε mg/kg.

Δείγμα	Mn	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1	492	348	23,4	1456	39,4	66
2	577	460	14,4	1858	24,6	51
3	593	356	15,4	1964	22,4	52
4	438	322	17,2	1410	54	69
5	522	241	19,6	1441	39,8	70
6	596	244	8,9	1817	14,2	69
7	587	280	7,0	1989	6,1	37,2
8	280	114	6,1	828	19,1	49,4
9	560	326	28,7	1777	32,6	47,2
10	506	252	31,6	1372	67	83
11	652	274	35,4	1786	63	62
12	662	245	34,2	1738	51	84
13	678	292	15,6	1790	17,0	66
14	642	260	17,8	1672	33,9	74
15	74	53	4,0	211	6,0	27,1
16	696	274	15,0	1961	17,2	53
17	583	206	19,9	1624	37,7	78

Μαγγάνιο (Mn)

Η ολική συγκέντρωση του μαγγανίου στα εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας κυμαίνεται μεταξύ 74 και 696 mg/kg με μέση τιμή 537,53 mg/kg. Οι τιμές αυτές είναι ελαφρά υψηλότερες από τη μέση τιμή του Mn στον φλοιό της γης (438.59 mg/kg, Rudnick and Gao, 2003) και στα επιφανειακά εδάφη (488 mg/kg, Kabata and Pendias, 2011) υποδεικνύοντας ελαφρά επιβάρυνση των εδαφών σε αυτό. Η επιβάρυνση αυτή

συνδέεται με το γεωλογικό υπόβαθρο και την αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής. Σύμφωνα με τους Kelapertzis et al. (2001), Skordas and Kelapertzis (2005) και Antibachi et al. (2012), από την αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων απελευθερώνονται στο έδαφος μεγάλες ποσότητες Ni, Cr, Co, Fe, και Mn.

Υψηλότερες συγκεντρώσεις μαγγανίου εμφανίζουν τα δείγματα 11, 12, 13, 14 και 16 στον Ισμήνιο λόφο και στον τάφο Ζήθου και Αμφίωνα.

Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι χαμηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί σε αντίστοιχες μελέτες στην περιοχή της Θήβας, όπως στο Μουρίκι (1010 mg/kg, Antibachi et al., 2012) και στη Θήβα (993 mg/kg, Kelapertzis and Stathoroulou, 2013). Συγκρινόμενες με αντίστοιχες τιμές σε άλλες πόλεις της Ελλάδας είναι υψηλότερες από αυτές στα Μέγαρα (4,2-17,0 mg/kg, Θεός, 2010), στη Θεσσαλονίκη (8,40 mg/kg, Ματζίρης, 2011) και στο Θριάσιο (339,8 mg/kg, Massas et al., 2013) και χαμηλότερες από αυτές που έχουν προσδιοριστεί σε αστικά πάρκα της Αθήνας (603 mg/kg, Parazotos et al., 2016).

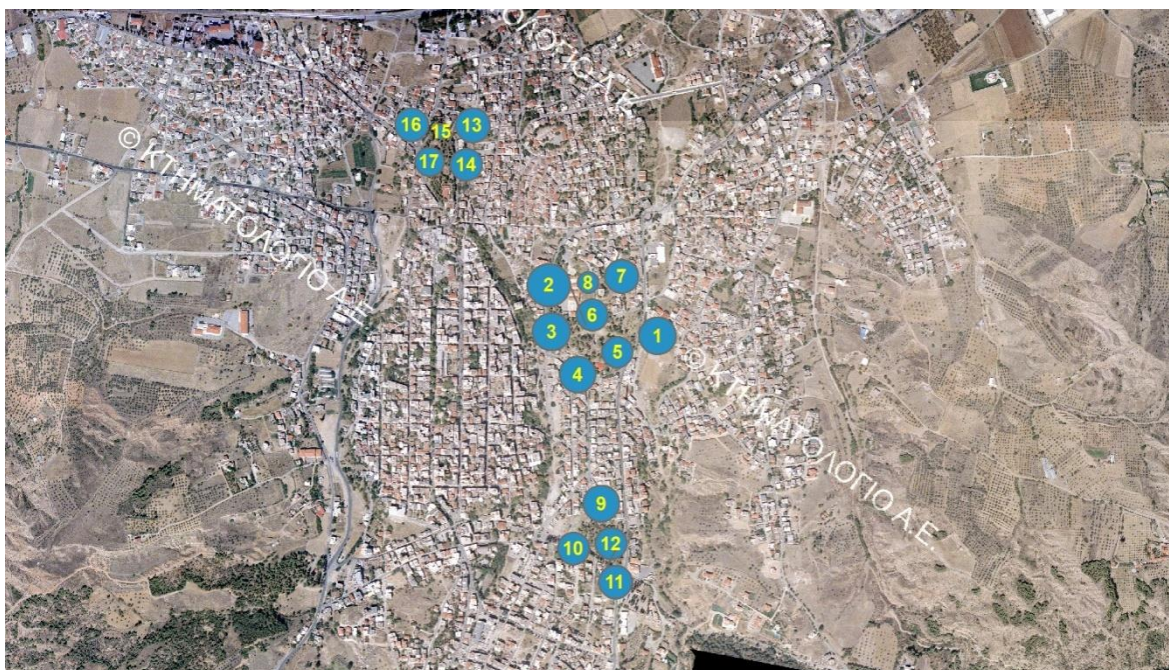
Χρώμιο (Cr)

Η ολική συγκέντρωση του χρωμίου στα εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας κυμαίνεται μεταξύ 53 και 460 mg/kg με μέση τιμή 267,47 mg/kg. Παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις του χρωμίου σε σχέση με τη μέση τιμή του Cr στον φλοιό της γης (92 mg/kg, Rudnick and Gao, 2003) και στα επιφανειακά εδάφη όλου του κόσμου (59,5 mg/kg, Kabata-Pendias, 2011) είναι αυξημένες, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εξαλλοίωση των οφιολιθικών πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής τα οποία είναι πλούσια σε χρώμιο. Επιπλέον, οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες από τις τιμές που προσδιορίστηκαν για το νικέλιο. Τα υπερβασικά πετρώματα τα οποία βρίσκονται βόρεια της πόλης της Θήβας είναι χαρακτηριστικά σερπεντινικά πετρώματα πλούσια σε νικέλιο και χρώμιο. Σύμφωνα με τους Kelapertzis et al., 2013, τα εδάφη που προέρχονται από αυτά είναι εμπλουτισμένα σε νικέλιο και λιγότερο σε χρώμιο, αποτέλεσμα που ταυτίζεται με αυτό της παρούσας εργασίας.

Οι τιμές του Cr συγκρινόμενες με τιμές σε εδάφη της ευρύτερης περιοχής προηγούμενων μελετών είναι αντίστοιχες με αυτές στο Μουρίκι, Θήβα (277 mg/kg, Antibachi et al., 2012) και στην πόλη της Θήβας (284 mg/kg, Kelepertzis and Stathoroulou, 2013).

Σε σχέση με άλλες αντίστοιχες περιοχές της Ελλάδας και του εξωτερικού είναι μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις που έχουν ανιχνευτεί στο Θριάσιο πεδίο (28,0-62,5 mg/kg, Χατζούδης, 1996, 80 mg/kg, Massas et al., 2013), στην πόλη Tyumen, Ρωσία (106,9 mg/kg, Konstantinova et al., 2019) και στη Γλασκώβη, Ηνωμένο Βασίλειο (108 mg/kg, Fordyce et al., 2005).

Υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωμίου όπως προκύπτει και από το γεωχημικό χάρτη κατανομής του χρωμίου (Εικόνα 4.2) εμφανίζονται στο Μικρό – Μεγάλο Καστέλι στον κέντρο της πόλης. Ο γεωχημικός χάρτης προέκυψε από επεξεργασία των δεδομένων στο ArcMap.



Εικόνα 4.2: Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Cr (mg/kg) στα αστικά πάρκα της Θήβας.

Χαλκός (Cu)

Η ολική συγκέντρωση του χαλκού στα εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας κυμαίνεται μεταξύ 4,0 και 35,4 mg/kg με μέση τιμή 18,48 mg/kg. Συγκρινόμενη με τη μέση τιμή του

Cu στον φλοιό της γης (50 mg/kg, Alloway, 1990) και στα επιφανειακά εδάφη (38,9 mg/kg, Kabata-Pendias, 2011) τα δείγματα εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές Cu από αυτά και συνεπώς δεν είναι επιβαρυμένα ως προς τον χαλκό.

Οι συγκεντρώσεις του Cu στα αστικά πάρκα της Θήβας είναι χαμηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί σε αντίστοιχες περιοχές στην Ελλάδα και στον κόσμο, όπως στο Μουρίκι, Θήβα (32 mg/kg, Antibachi et al., 2012), στο Θριάσιο πεδίο (21,6-57,7 mg/kg, Χατζούδης, 1996, 43,2mg/g, Massas et al., 2013), στην πόλη Tyumen, Ρωσία (38,5 mg/kg, Konstantinova et al., 2019), στο Όσλο, Νορβηγία (24 mg/kg, Tijhuis et al., 2002), στην πόλη Turin, Ιταλία (68 mg/kg, Ajmone - Marsan et al., 2008) και στη Σεβίλλη, Ισπανία (37 mg/kg, Ajmone-Marsan et al., 2008) και υψηλότερες από αυτές στα Μέγαρα (0,8-3,9 mg/kg, Θέος, 2010) και στην πόλη Linfen στην Κίνα (14,99 mg/kg, Yang et al., 2020).

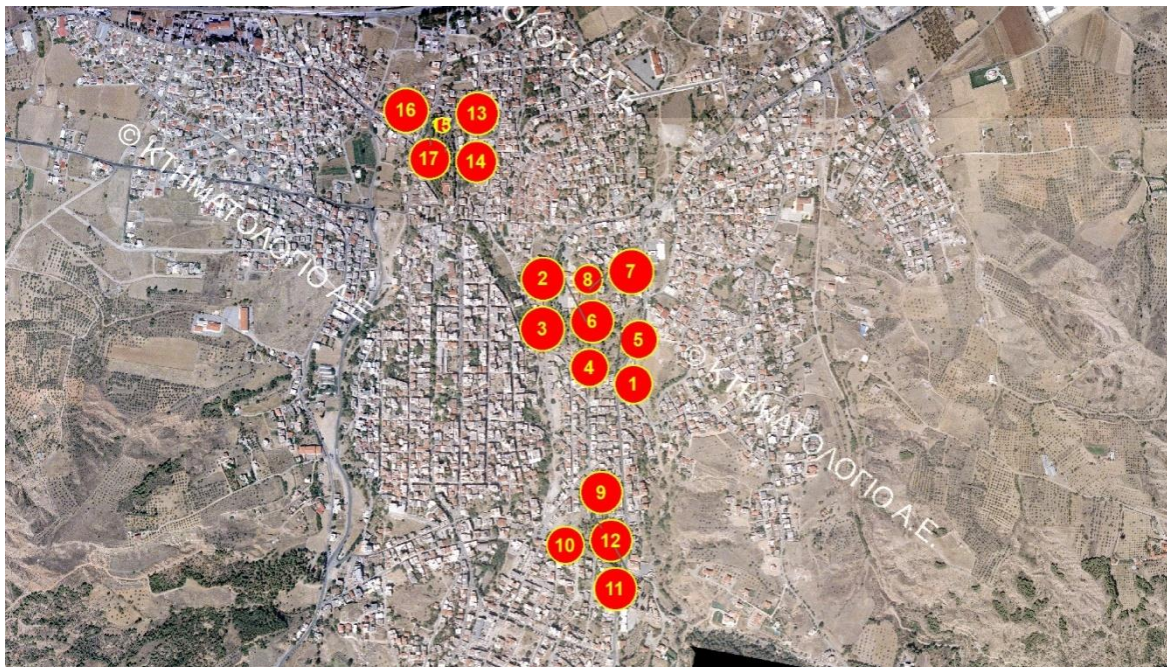
Νικέλιο (Ni)

Στα επιφανειακά εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις νικελίου που κυμαίνονται μεταξύ 211 και 1989 mg/kg με μέση τιμή 1570,24 mg/kg.

Συγκρινόμενη με τη μέση τιμή του Ni στον φλοιό της γης (75 mg/kg, Alloway, 1995) και στα επιφανειακά εδάφη (29 mg/kg, Kabata-Pendias, 2011) προκύπτει ότι η περιοχή είναι επιβαρυμένη σε νικέλιο. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι αντίστοιχες με αυτές που έχουν μετρηθεί στο Μουρίκι, Θήβα (1591 mg/kg, Antibachi et al., 2012) και μικρότερες από αυτές που προσδιορίστηκαν σε προγενέστερη μελέτη στη Θήβα (2022 mg/kg, Kelepertzis and Stathorouliou, 2013). Οι υψηλά σχετικά συγκεντρώσεις του νικελίου οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στα μητρικά υπερβασικά πετρώματα (οφιόλιθοι) της ευρύτερης περιοχής μέσω της αποσάθρωσης των οποίων έχουν εμπλουτιστεί τα εδάφη σε αυτό.

Οι συγκεντρώσεις του Ni συγκρινόμενες με άλλες αντίστοιχες πόλεις στην Ελλάδα και το εξωτερικό είναι πολύ υψηλότερες από αυτές που έχουν προσδιοριστεί στα Μέγαρα (190,0-286,0 mg/kg, Θέος, 2010), στο Θριάσιο πεδίο (36,1-95,5 mg/kg, Χατζούδης, 1996, 81,6 mg/kg, Massas et al., 2013), στην πόλη Linfen στην Κίνα (36,24mg/kg, Yang et al., 2020), στην πόλη Tyumen, Ρωσία (46,5 mg/kg, Konstantinova et al., 2019), στο Όσλο, Νορβηγία (24 mg/kg, Tijhuis et al., 2002) και στην πόλη Turin, Ιταλία (211 mg/kg, Ajmone-Marsan et al., 2008).

Υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου παρουσιάζονται σε όλα τα πάρκα της Θήβας όπως προκύπτει και από το γεωχημικό χάρτη κατανομής του Ni (Εικόνα 4.3). Ο γεωχημικός χάρτης προέκυψε από επεξεργασία των δεδομένων στο ArcMap.



Εικόνα 4.3: Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Ni (mg/kg) στα αστικά πάρκα της Θήβας.

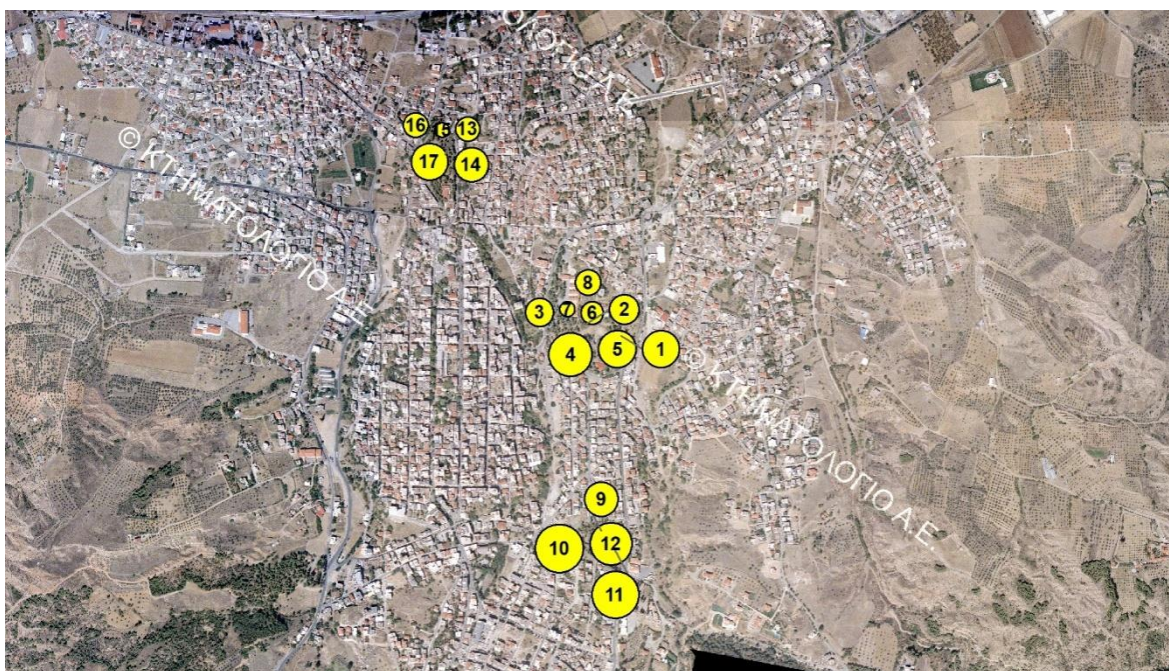
Μόλυβδος (Pb)

Η συγκέντρωση του μολύβδου στα εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας κυμαίνεται μεταξύ 6 και 67 mg/kg με μέση τιμή 32,06 mg/kg. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση τιμή του Pb στον φλοιό της γης είναι 17 mg/kg, (Rudnick and Gao, 2003) και στα επιφανειακά εδάφη σε όλο τον κόσμο 27 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011) προκύπτει ότι υπάρχει μια μικρή επιβάρυνση των εδαφών της Θήβας ως προς τον μόλυβδο που πιθανά οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων.

Οι συγκεντρώσεις Pb που προσδιορίστηκαν στα αστικά εδάφη της Θήβας είναι υψηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στην ευρύτερη περιοχή, όπως στο Μουρίκι, Θήβα (24 mg/kg, Antibachi et al., 2012) και σε άλλες πόλεις της Ελλάδας και του εξωτερικού, όπως στα Μέγαρα (11,0-38,0 mg/kg, Θεός, 2010), στην πόλη Linfen στην Κίνα (28,12 mg/kg, Yang et al., 2020), στην πόλη Tyumen, Ρωσία (28,3 mg/kg, Konstantinova et al., 2019) και χαμηλότερες από αυτές στο Θριάσιο πεδίο (129,1 mg/kg,

Massas et al., 2013), στη Σεβίλλη, Ισπανία (65 mg/kg, Ajmone-Marsan et al., 2008) και στη Γλασκώβη, Ηνωμένο Βασίλειο (127 mg/kg, Fordyce et al., 2005).

Υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου απαντώνται στον Ισμήνιο λόφο, στο νότιο τμήμα της πόλης όπως προκύπτει και από το γεωχημικό χάρτη κατανομής του μολύβδου, ο οποίος προέκυψε από επεξεργασία των δεδομένων στο ArcMap.



Εικόνα 4.4: Γεωχημικός χάρτης επιφανειακής κατανομής του Pb (mg/kg) στα αστικά πάρκα της Θήβας.

Ψευδάργυρος (Zn)

Η συγκέντρωση του ψευδαργύρου στα εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας κυμαίνεται μεταξύ 27,1 και 84 mg/kg με μέση τιμή 61,05 mg/kg. Συγκρινόμενη με τη μέση τιμή του Zn στον φλοιό της γης (67 mg/kg, Rudnick and Gao, 2003) και στα επιφανειακά εδάφη (70 mg/Kg, Kabata-Pendias, 2011) προκύπτει ότι η περιοχή δεν είναι επιβαρυμένη ως προς τον ψευδάργυρο.

Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι αντίστοιχες με αυτές που έχουν μετρηθεί στο Μουρίκι, Θήβα (67 mg/kg, Antibachi et al., 2012), χαμηλότερες από αυτές στο Θριάσιο πεδίο (51,3-118,9 mg/kg, Χατζούδης, 1996, 177,2 mg/kg, Massas et al., 2013), στην πόλη Linfen στην Κίνα (91,41 mg/kg, Yang et al., 2020), στην πόλη Tyumen, Ρωσία (77,7 mg/kg, Konstantinova et al., 2019), στο Όσλο, Νορβηγία (130 mg/kg, Tjihuis et al., 2002) και στη

Σεβίλλη, Ισπανία (108 mg/kg, Ajmone-Marsan et al., 2008) και υψηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στα Μέγαρα (1,7-15,0 mg/kg, Θέος, 2010).

4.1.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

4.1.6.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (Igeo)

Στα επιφανειακά εδάφη της πόλης της Θήβας υπολογίστηκαν οι δείκτες γεωσυσσώρευσης (Igeo) για όλα τα βαρέα μέταλλα, για κάθε δείγμα, και τα εδάφη κατατάχθηκαν αντίστοιχα στις επτά τάξεις του δείκτη. Σαν τιμές του γεωχημικού υποβάθρου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των βαρέων μετάλλων στο στερεό φλοιό της (average shales) όπως αυτές δίνονται από τους Turekian and Wedepohl (1961). Οι τιμές Igeo αναφέρονται στον Πίνακα 4.4. Επισημαίνεται ότι για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων έχει χρησιμοποιηθεί το ολικό κλάσμα του εδάφους.

Πίνακας 4.4: Τιμές δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo στα επιφανειακά εδάφη της Θήβας

Δείγμα	Igeo Mn	Igeo Cr	Igeo Cu	Igeo Ni	Igeo Pb	Igeo Zn
1	-1,37	1,37	-1,53	3,84	0,39	-1,11
2	-1,14	1,77	-2,23	4,19	-0,29	-1,48
3	-1,10	1,40	-2,13	4,27	-0,42	-1,45
4	-1,54	1,25	-1,97	3,79	0,85	-1,05
5	-1,29	0,84	-1,78	3,82	0,41	-1,03
6	-1,10	0,85	-2,92	4,15	-1,08	-1,05
7	-1,12	1,05	-3,27	4,29	-2,30	-1,94
8	-2,19	-0,24	-3,47	3,02	-0,65	-1,53
9	-1,19	1,27	-1,23	4,12	0,12	-1,59
10	-1,33	0,90	-1,09	3,75	1,16	-0,78
11	-0,97	1,02	-0,93	4,13	1,07	-1,20
12	-0,95	0,86	-0,98	4,09	0,77	-0,76
13	-0,91	1,11	-2,11	4,13	-0,82	-1,11
14	-0,99	0,95	-1,92	4,03	0,18	-0,95
15	-4,11	-1,35	-4,08	1,05	-2,32	-2,39
16	-0,87	1,02	-2,17	4,26	-0,80	-1,43
17	-1,13	0,61	-1,76	3,99	0,33	-0,87

Σύμφωνα με τους παραπάνω δείκτες Igeo, τα επιφανειακά αστικά εδάφη της Θήβας δεν παρουσιάζουν ρύπανση ως προς τα στοιχεία **Mn**, **Cu** και **Zn** γιατί όλα τα δείγματα έχουν

αρνητικούς δείκτες και ανήκουν στην Igeo - τάξη ίση με 0. Επομένως χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυμένα εδάφη ως προς τα στοιχεία αυτά.

Για τον Pb προκύπτουν τα εξής:

- Οκτώ από τα δεκαεπτά δείγματα (2, 3, 6, 7, 8, 13, 15 και 16) εμφανίζουν αρνητικές τιμές Igeo και επομένως ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 0 και η αντίστοιχη περιοχή χαρακτηρίζεται ως μη επιβαρυμένη περιοχή.
- Επτά από τα δεκαεπτά δείγματα (1, 4, 5, 9, 12, 14 και 17) ανήκουν στην Igeo - τάξη ίση με 1 και επομένως τα αντίστοιχα εδάφη θεωρούνται μη επιβαρυμένα έως ελαφρώς επιβαρυμένα ως προς τον μόλυβδο.
- Δύο από τα δείγματα (10 και 11) ανήκουν στην Igeo - τάξη ίση με 2 και συνεπώς τα εδάφη στις θέσεις αυτές χαρακτηρίζονται ως ελαφρώς επιβαρυμένα ως προς τον μόλυβδο.

Τα εδάφη της Θήβας παρουσιάζουν μια επιβάρυνση ως προς το Cr. Αναλυτικότερα:

- Δύο από τα δεκαεπτά δείγματα (8 και 15) παρουσιάζουν αρνητική τιμή δείκτη Igeo, ανήκουν στην Igeo – τάξη ίση με 0 και επομένως τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυμένα ως προς το χρώμιο.
- Έξι από τα δεκαεπτά δείγματα (5, 6, 10, 12, 14 και 17) ανήκουν στην Igeo – τάξη ίση με 1 και επομένως τα αντίστοιχα εδάφη χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυμένα έως ελαφρά επιβαρυμένα ως προς το χρώμιο.
- Εννέα από τα δεκαεπτά δείγματα (1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 13 και 16) ανήκουν στην Igeo – τάξη ίση με 2, συνεπώς η αντίστοιχη περιοχή θεωρείται ελαφρώς επιβαρυμένη ως προς το χρώμιο.

Τα επιφανειακά εδάφη της Θήβας εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές δείκτη Igeo για το Ni σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία. Αναλυτικότερα:

- Ένα δείγμα από τα δεκαεπτά (15) εμφανίζει τάξη Igeo ίση με 2 και η αντίστοιχη περιοχή χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς επιβαρυμένη περιοχή.
- Έξι δείγματα από τα δεκαεπτά (1, 4, 5, 8, 10 και 17) ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 4 και τα αντίστοιχα εδάφη χαρακτηρίζονται ως έντονα επιβαρυμένα.

- Δέκα από τα δεκαεπτά δείγματα (2, 3, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14 και 16) κατατάσσονται στην Igeo τάξη ίση με 5 και οι περιοχές αυτές θεωρούνται έντονα επιβαρυνμένες έως ρυπασμένες περιοχές.

4.1.6.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ (PI: Pollution Index)

Ο Δείκτης Ρύπανσης (PI) ο οποίος προσδιορίστηκε στα επιφανειακά εδάφη της Θήβας για όλα τα βαρέα μέταλλα έλαβε τις ακόλουθες τιμές:

- Για το Mn προσδιορίστηκε ίσος με 0,63, για τον Cu ίσος με 0,41 και για τον Zn ίσος με 0,64 υποδεικνύοντας ότι τα εδάφη δεν είναι ρυπασμένα από το μαγγάνιο, τον χαλκό και τον ψευδάργυρο.
- Για το Cr προσδιορίστηκε ίσος με 2,97 και για τον Pb ίσος με 1,60 και υποδηλώνει χαμηλό επίπεδο ρύπανσης ως προς τα δύο αυτά στοιχεία.
- Για το Ni ο δείκτης υπολογίστηκε ίσος με 23,09 και τα εδάφη χαρακτηρίζονται πολύ ισχυρά ρυπασμένα ως προς το νικέλιο.

4.1.6.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PLI (Pollution Load Index)

Στα επιφανειακά εδάφη της Θήβας υπολογίστηκε ο δείκτης φορτίου ρύπανσης PLI ίσος με 1,62, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη συνολική εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης του εδάφους και με βάση αυτόν τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως μέτρια ρυπασμένα.

4.1.6.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (MEC)

Τέλος προσδιορίστηκε ο δείκτης MEC ίσος με 0,06, ο οποίος αφού είναι μικρότερος από 1 υποδηλώνει την λιθογενή προέλευση των βαρέων μετάλλων. Έτσι ενισχύεται η άποψη ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των βαρέων μετάλλων που ανιχνεύτηκαν στην περιοχή μελέτης οφείλουν την παρουσία τους στις εξαλλοιωτικές διεργασίες των μητρικών οφιολιθικών πετρωμάτων.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αστικά εδάφη αποτελούν ευαίσθητα οικοσυστήματα τα οποία έχουν επηρεαστεί από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και χρήζουν ειδικής μελέτης και διαχείρισης. Η πόλη της Θήβας παρουσιάζει ενδιαφέρον ως προς το βαθμό ρύπανσης των εδαφών της τόσο εξαιτίας της γειτνίασής της με τη βιομηχανική ζώνη της Περιφερειακής Ενότητας Βοιωτίας, όσο και εξαιτίας του πλούσιου γεωλογικού υποβάθρου της.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής της Θήβας έχει συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στη διαμόρφωση των εδαφολογικών και γεωχημικών χαρακτηριστικών των εδαφών της περιοχής.

Τα επιφανειακά εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας παρουσιάζουν ομοιογένεια ως προς τα εδαφολογικά τους χαρακτηριστικά και χαρακτηρίζονται ελαφριάς μηχανικής σύστασης. Εμφανίζουν υψηλή έως πλούσια περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα και είναι ελαφρά αλκαλικά έως μέσα αλκαλικά εξαιτίας των ανθρακικών και υπερβασικών πετρωμάτων της ευρύτερης περιοχής τα οποία τροφοδοτούν τα εδάφη με βάσεις μέσω της αποσάθρωσης.

Τα εδάφη των αστικών πάρκων της Θήβας μετά τη σύγκρισή τους με αντίστοιχες τιμές εδαφών στην Ελλάδα και παγκοσμίως καθώς και με τη μέση συγκέντρωσή τους στα εδάφη και στο στερεό φλοιό της γης δεν είναι ρυπασμένα ως προς το Mn, τον Cu και τον Zn γιατί οι τιμές τους δεν ξεπερνούν τις φυσικές συγκεντρώσεις σε αυτά και η παρουσία τους στο έδαφος σχετίζεται με το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Παρουσιάζουν μια μικρή επιβάρυνση ως προς τον Pb, η οποία αποδίδεται πιθανά στην καύση ορυκτών καυσίμων τόσο μέσα στην πόλη της Θήβας όσο και στις γειτνιάζουσες βιομηχανίες – βιοτεχνίες. Οι συγκεντρώσεις του Cr και του Ni εμφανίζονται αντίστοιχα αυξημένες και πολύ αυξημένες σε σχέση με τη μέση τιμή τους στον φλοιό της γης και στα επιφανειακά εδάφη παγκοσμίως. Τόσο το Ni όσο και το Cr έχουν κυρίως γεωγενή προέλευση και η παρουσία τους οφείλεται στα οφιολιθικά - σερπεντινικά πετρώματα της ευρύτερης περιοχής.

Στα παραπάνω συμπεράσματα συνηγορούν και οι υπολογισμοί διαφόρων απλών και σύνθετων δεικτών ρύπανσης (δείκτης γεωσυσσώρευσης Igeo, δείκτης ρύπανσης PI, δείκτης φορτίου ρύπανσης PLI) με βάση τους οποίους τα εδάφη χαρακτηρίζονται μέτρια ρυπασμένα και αναλυτικότερα:

- μη επιβαρυμένα ως προς το Mn, τον Cu και τον Zn,
- μη επιβαρυμένα έως ελαφρώς επιβαρυμένα ως προς τον Pb και το Cr και
- ελαφρά επιβαρυμένα έως έντονα επιβαρυμένα ως προς το Ni.

Με βάση το δείκτη MEC (ρύπανση πολλαπλών στοιχείων) με τον οποίο προσδιορίζεται η φυσική ή ανθρωπογενής προέλευση των βαρέων μετάλλων προέκυψε η γεωγενής προέλευση των βαρέων μετάλλων.

Συμπερασματικά, τα αστικά εδάφη της Θήβας παρουσιάζουν ιδιαιτερότητα ως προς τα γεωχημικά τους χαρακτηριστικά γιατί ο σχηματισμός τους έχει επηρεαστεί από τα μητρικά πετρώματα τα οποία έχουν πλούσια ορυκτολογική σύσταση και υψηλά ποσοστά βαρέων μετάλλων σε σχέση με το μέσο όρο των στοιχείων στα εδάφη παγκοσμίως. Τα υψηλά αυτά ποσοστά των στοιχείων, και κυρίως του νικελίου και δευτερευόντως του χρωμίου, προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από την διάβρωση και αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής, όπως είναι οι περιδοτίτες, δουνίτες, πυροξενίτες κ.ά. Τα επιφανειακά αστικά εδάφη της πόλης της Θήβας δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη ρύπανση ως προς τα βαρέα μέταλλα που αναλύθηκαν από ανθρωπογενείς πηγές.

Η ιδιαιτερότητα των εδαφών των αστικών πάρκων της Θήβας, οι υψηλές συγκεντρώσεις τους κυρίως σε νικέλιο και δευτερευόντως σε χρώμιο και η τοξικότητα αυτών των βαρέων μετάλλων αποτελούν κάποιους παράγοντες που σε ένα βαθμό ενδέχεται να επηρεάζουν τη ζωή των κατοίκων της περιοχής και χρήζουν περαιτέρω μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adriano, DC (2001). Ιχνοστοιχεία σε επίγεια περιβάλλοντα: Βιογεωχημεία, βιοδιαθεσιμότητα και κίνδυνοι μετάλλων. 2^η Έκδοση, Springer, Νέα Υόρκη, 867.
- 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^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, 26-28 Νοεμβρίου 2014, Πάτρα.
- Αναγνωστόπουλος Α., Day J.P., (1992). «Ρύπανση περιβάλλοντος και επίδραση στην υγεία μας. Μέρος δεύτερο: Η ρύπανση από μόλυβδο», Πρακτικά 3ου Συνεδρίου Χηρείας Κύπρου και Ελλάδας, σελ.76-182.
- Βουλγαροπούλου Μ., (2015). Ανάπτυξη μεθόδου μείωσης των βιοδιαθέσιμων βαρέων μετάλλων σε ρυπασμένα εδάφη με τη χρησιμοποίηση πρόσθετων εδαφοβελτιωτικών. Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη, σελ. 105.
- Γαλανάκη Ελπίδα–Καλλιόπη., (2019). Βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων σε λαχανοκομικά είδη. Πτυχιακή Διατριβή, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, σελ. 121.
- Γαλανοπούλου Σ., (2005). Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη θαλάσσιων επιφανειακών ιζημάτων περιοχής λιμένος Κερασινίου. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Αθήνα, σελ. 200.
- Γεντεκάκης, Ι., (2010). Ατμοσφαιρική ρύπανση: Επιπτώσεις έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες, 2^η έκδοση.ed. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ.731.
- Δάβου Ε., (2014), Υδρογεολογική-Περιβαλλοντική έρευνα λεκάνης Βαγίων Βοιωτίας. Μεταπτυχιακή Μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.160.
- Θεοδωρακάκης Μ., (2013). NationalGeographic: Εγκυκλοπαίδεια του περιβάλλοντος για νέους. Τόμος 5.
- Θέος Ν., (2010). Περιβαλλοντικές Επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.164.
- Καλλιανού, Χ., (2007). Ρύπανση και αποκατάσταση εδαφών. Γεωπονικό πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα, σελ.114.
- 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.
- ΚΕ.Π.Α.ΜΕ., (1997), “Χωροταξικό Σχέδιο Νομού Βοιωτίας, Α΄ Φάση”, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Βοιωτίας, Κέντρο Χωροταξικών – Πολεοδομικών & Αρχιτεκτονικών Μελετών, Τεχνική Έκθεση(Επίσκεψη 03/04/2019).
- Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά-Κωνσταντινίδου, Κ., (1998). Χημεία Περιβάλλοντος.
- Κουτούπη Σ., (2016). Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και μεταφοράς εξασθενούς χρωμίου στη βιομηχανική περιοχή των Οινόφυτων. Διπλωματική εργασία, Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ.85.
- Κουτσουρέλης Τ., (2013). Υδρογεωλογικές συνθήκες ανά τμήματος της λεκάνης Θηβών-Διερεύνηση παραγόντων υφαλμύρινσης των υπόγειων υδάτων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.156.

- Μασούρα, Γ. (2008). Μεταπτυχιακή εργασία «Ρυπαντική υδροχημεία της λεκάνης του ποταμού Ασωπού Νομού Βοιωτίας», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ματάλας Π., (2011). Αστικό Παρατηρητήριο στην περιοχή Θηβών. Πτυχιακή Εργασία. Τμήματος Πολιτικών Δομικών Έργων του ΤΕΙ Πειραιά, σελ.87.
- Ματζίρης Ε., (2011). Χαρακτηριστικά των εδαφών της Θεσσαλονίκης και εκτίμηση τους ως μέσου ανάπτυξης του αστικού πράσινου. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), σελ.169.
- Μεγαδούκα Δ., (2011). Προσδιορισμός και στατιστική επεξεργασία βιοδιαθέσιμων βαρέων μετάλλων σε επιβαρυμένα εδάφη της περιοχής Βάρη – Κορωπίου. Σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχα άλλης περιοχής της Αττικής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.128.
- Μεγαδούκα Δ., (2016). Ανάλυση περιβαλλοντικού κινδύνου από βαρέα μέταλλα γεωγενούς και ανθρωπογενούς προέλευσης σε δύο αντιπροσωπευτικές περιοχές του Ελλαδικού χώρου . Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.218.
- Μέττος Α., (1992). Γεωλογική και Παλαιογραφική μελέτη των Ηπειρωτικών νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών Βα/κης Αττικής και Να/κης Βοιωτίας. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), σελ.270.
- Μουντράκης Δ.Μ., (1985). Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη. 1η έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μπόβης, Κ.Π., (1990). Θρέψη του Φυτού. Μέρος Α΄, Β΄. Εκδόσεις Γ.Π.Α., Αθήνα, σελ.129, 166-168.
- Νταρακάς Ε., (2010). Σημειώσεις: Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.
- Νταρακάς Ε., (2010). Σημειώσεις: Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Διεργασίες Επεξεργασίας Νερού, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.
- Πανούση Ε., (2018). Διερεύνηση βιολογικών μεθόδων απομάκρυνσης ολικού και εξασθενούς χρωμίου από τα υπόγεια ύδατα. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ.318.
- Παντελόγλου, Θ., (2008), “Το Χρονικό μιας Τραγωδίας – Η Περιοχή του Ασωπού”, Ι.Τ.Α.Π., Ινστιτούτο Τοπικής Αειφόρου Ανάπτυξης & Πολιτισμού (Επίσκεψη 08/04/2019).
- Παντέρα Α.- Γαλανπούλου Σ., (2015). Διδακτικές Σημειώσεις Δασική Εδαφολογία Καρπενήσι.
- Παπαδημητρίου Κ., (2013). Αλληλεπίδραση της προσθήκης Καδμίου και Ψευδαργύρου, στη συγκέντρωση αυτών σε φυτά, *OcimumBasilicum* “Genovese”. Μεταπτυχιακή Διατριβή. ΓΠΑ. Αθήνα.
- Πολυζόπουλος Ν., (1976). Εδαφολογία. Αφοί Σάκκουλα, Θεσσαλονίκη – Αθήνα.
- Πολυμενάς Μ., (2012). Επιπτώσεις της αλατότητας σε δενδρώδεις καλλιέργειες και τρόποι αντιμετώπισης. Πτυχιακή εργασία.ΤΕΙ Καλαμάτας, σελ.57.
- Παπάζογλου, Ε., (2004). Άρδευση του ενεργειακού φυτού *ArundoDonax*l. Με νερά επιβαρυμένα με βαρέα μέταλλα και δυνατότητες χρήσης του για την απορρύπανση του περιβάλλοντος. Διδακτορική Διατριβή.
- Σοφιάνσκα Ε., (2013). Γεωχημική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε εδάφη, ύδατα και φυτά στο δυτικό τμήμα της λεκάνης της Δράμας, από την παρουσία και

- εκμετάλλευση κοιτασμάτων Μαγγανίου στην ευρύτερη περιοχή. Πειραματική αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 434.
- Τάντος Β., (2002). Σημειώσεις Δασικής Εδαφολογίας Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
- Τάντος Β. & Παπαιωάννου Α., (2006). Δασική Εδαφολογία . 1η Έκδοση. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Τσιτσιάς Κ., (1981). Εδαφολογία Λάρισα.
- Τσόδουλος Ι., (2009). Ενεργός τεκτονική της ΝΑ Στερεάς Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Γεωλογίας, σελ.346.
- Τσώλη- Καταγά Π., (1991). Άργιλοι. Ιδιότητες και εφαρμογές. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Υψηλάντη Ο., (2012). Βαρέα μέταλλα σε υγρά απόβλητα. Η περίπτωση του υδραργύρου, του καδμίου και του μολύβδου. Πτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου σελ.146.
- Φλίγκος Γ., (2017). Γεωχημική διασπορά μολύβδου και ψευδαργύρου σε επιφανειακά αστικά εδάφη των Αθηνών. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.16.
- 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.
- Ahdy, H. H. H. and 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.
- Ajmone-Marsan, F., Biasioli, M., Kralj, T., Grcman, H., Davidson, C.M., Hursthouse, A.S., Madrid, L., Rodrigues, S., (2008). Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environ. Pollut.* 152, 73–81.
- Alloway, B.J., (1990). Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- Alloway, B. J., (1990). Heavy metals in soils. Springer; New Ed edition.
- Alloway B., (1995). Ground water, In: B. Salbu, E. Steinnes (eds.). Trace elements in natural waters, CRC Press, Boca Raton (1995), pp.151-176.
- Alloway B., (1995). Heavy metals in soils, Second Edition, Springer-Verlag, USA 371p.
- Alloway, B.J. and Ayres D.C., (1997). Chemical Principles of Environmental Pollution. University of Reading, UK and Queen Mary and Westfield College, University of London, UK.
- 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.
- Baker D.E. (1971). A new approach to soil testing. *Soil sci* 112:381-391.
- Baker D.E. (1974). Copper: soil, water, plant relationships. *Fed. Proc.* 33:1188-1193.
- Baker EA. (1974). The influence of environment on leaf wax development in Brassica oleracea var. gemmifera. *New Phytologist* 73: 955–966.
- Bartlett R.J., and Kimble J.M., (1976). Behavior of chromium in Soils, I. Trivalent forms, II. Hexavalent forms, *Journal of Environ. Qual.*, Vol.5, pp 379-386.
- Bartlett R.J., and Kimble J.M., (1979). Behavior of chromium in Soils. II 1. Oxidation. *Journal of Envir. Qual.* 8, pp 3-35.
- Bell, J.N.B, with Treshow, M., (2002). Air pollution and plant life. Second Edition.

- Blaylock, M.J., Huang, J.W., (2000). Phytoextraction of metals. In: Raskin, I., Ensley, B.D., (Eds). *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. John Wiley and Sons, New York. 53-70.
- Bormann, F., & Likens, G. (1979). Catastrophic Disturbance and the Steady State in Northern Hardwood Forests: A new look at the role of disturbance in the development of forest ecosystems suggests important implications for land-use policies. *American Scientist*, 67(6), 660-669.
- 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.
- Cempel M., and Nickel G., (2006). Nickel: A Review of its sources and environmental toxicology. *Polish Journal of Environmental Pollution* 123:229-238.
- Chen M., Ma Q.L., Harris W.G., (1999). Baseline concentrations in Florida Surface Soils. *Journal of Environmental Quality* 28:1173-118.
- Clijsters H. & Van Assche F., (1985). Inhibition of photosynthesis by heavy metals. Vol.145, pp.31-40.
- Collins, E.B. (1981). Heat resistant psychrotrophic microorganisms. *J. Dairy Sci.* 64,157.
- Chrostowski, P. & Durda, J. & Edelman, K. (1991). The use of natural processes for the control of chromium migration. *Remediation Journal*. 1. 341 - 351.
- Crouse, R. (1980). Geochemistry and human health in the 1980s. In: *Applied Geochemistry in the 1980s*, Thornton, I. and Howarth, R.J. (eds), (1986), 337-344.
- Ernst W. H. O. (1974). Schwer metal vegetation der Erde. In *geobotanica selecta*, Voi 5 pp. 1-194. Fischer, Stuttgart.
- Fordyce, F.M., Brown, S.E., Ander, E.L., Rawlins, B.G., O'Donnell, K.E., Lister, T.R., Breward, N., Johnson, C.C., (2005). GSUE: urban geochemical mapping in Great Britain. *Geochem. Explor. Environ. Anal.* 5, 325-336.
- Foy C.D. Chaney R.L. White M.C., (1978). Physiology of metal toxicity in plants. *Annu Rev. Plant physiol. Molec. Biol.* 29:511-566.
- Freedman B. and Hutchinson T., (1981). Sources of Metal and Elemental Contamination of Terrestrial Environments Vol.2, pp.35-94.
- Garrels, R.M. and C.L. Christ. (1965). *Solutions, Minerals and Equilibria*. Harper and Row, NY. Tyler G. Heavy metal pollution and soil enzymatic activity. *Plant Soil*, 1974, 41:303-311.
- Gebrekidan A., Weldegebriel Y., Hadera A., Bart Van der Bruggen (2013). Toxicological assessment of heavy metals accumulated in vegetables and fruits grown in Ginfelriver near Sheba Tannery, Tigray, Northern Ethiopia. Vol. 95, pp.171-178.
- Hammon H.M., Schiessler G., Nussbaum A., Blum J.W. Feed intake patterns, growth performance, and metabolic traits in calves fed unlimited amounts of colostrum and automate, starting in the neonatal period. *J. Dairy Sci.*, 85 (2002), pp. 3352-3362.
- Henry, J.R., (2000). An overview of the phytoremediation of lead and mercury. Prepared for US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation office Washington, D.C.
- Hogan M.J., McRae J, Schambelan M., Biglieri E.G., (1976). Location of aldosterone-producing adenomas with ¹³¹I-19-iodocholesterol. *N Eng I J Med* 294:410-414.

- Holdgate M. W. (1979). A perspective of environmental pollution. Cambridge University Press, Cambridge.
- Holdgate, M. W. (1979): A perspective of environmental pollution. Cambridge: Cambridge University Press. x + 278 pp.
- Hughes M. K., Lepp N. w. and Phipps D. A. (1980). Aerial heavy metal pollution in terrestrial ecosystems. *Adv. Ecol. Res* 11 : 218-327.
- Iyaka Y., (2011). Nickel in soils: A review of its distribution and impacts. *Scientific Research and Essays* 6 (33): 6774-6777.
- Johnson, J.M., Jones, L.E.: Behavior of nucleoli and contracting nucleolar vacuoles in tobacco cells growing in microculture. *Amer. J. Bot.* 54, 189–198 (1967).
- Jokine ,R. & Tähtinen, H. (1987). Copper content of coarse mineral and peats oil sand the growth of oat sin a potex periment. *Annales Agriculturae Fenniae* 26:227-237.
- Jokinen, R. & Tähtinen, H. (1987). Copper content of coarse mineral and peat soils and the growth of oatsinapot experiment. *Annales Agriculturae Fenniae* 26:227-237.
- Kabata-Pendias A. (2001). Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton. Trace Elements in Soils.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. (2007). Trace Elements from soil to Human. Springer, Berlin 550p.
- Kabata-Pendias A., (2011). Truce Elements in Soils and Plants, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida 505P.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1992). 'Trace elements in soils and Plants.' 2nd edn. CRC Press, Boca Raton.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., (2001). Trace Metals in soils and plants, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2nd edition 413p.
- Kahle H., (1993). Response of roots of trees to heavy metals. *Environmental and experimental Botany* 33:99-119.
- Karipi S., Hatzipanagiotou K., Tsikouras B., Grammatikopoulos T., (2007). Petrogenetic significance of spinel-group minerals from the ultramafic rocks of the Iti and Kallidromon ophiolites (Central Greece). *Lithos*, 99 (1-2), pp.136-149.
- Kelepertzis E. and Stathopoulou E., (2013). Availability of geogenic heavy metals in soils of Thiva town(central Greece). *Environ Monit Assess*, 185, 9603–9618.
- Kelepertzis, A., Alexakis, D., and Kita, I. (2001). Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos, Greece. *Environ. Geochem. Health.* 23, 117–135.
- Kelepertzis, E., Galanos, E., & Mitsis, I. (2013). Origin, mineralspeciation and geochemical baseline mapping of Ni and Crin agricultural top soils of Thiva valley (central Greece).*Journal of Geochemical Exploration*, 125, 56–68.
- 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.
- Konstantinova E., Minkina T., Sushkova S., Konstantinova A., Rajput V., Sherstnev A., (2019). Urban soil geochemistry of an intensively developing Siberian city: A case study of Tyumen, Russia. *Journal of Environmental Management* 239, 366-375.
- Kowalska, J., Mazurek, R., Gałsiorsek, M., Setlak, M., Zaleski, T., & Waroszewski, J. (2016). Soil pollution indices conditioned by medieval metallurgical activity: A case study from Krakow (Poland). *Environmental Pollution*, 218, 1023–1036.

- Krauskopf K.B., (1972) Γεωχημεία μικροθρεπτικών συστατικών. Στο Mortvedt JJ, Giordano PM και Lindsay WL (επιμ.). Μικροθρεπτικά συστατικά στη γεωργία. SoilSciSocAmer, Μάντισον, Ουισκόνσιν.
- Kuo S. and Baker A. S. (1980). Sorption of copper, zinc, cadmium by some acid soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44 : 964-974.
- Li J., Xie J., Sun Y., (2006). Risk assessment for safety of soils and vegetables around a lead/Zinc mine. Environmental Geochemistry and Health 28:37-44.
- 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.
- McBride M. B. (1978). Soil Sci. 126 : 200-210.
- McBride M., (1994). Environmental Chemistry of Soils, Oxford University Press, New York. U.S.A.
- McGrath, S. P. (1995). Chromium and nickel. In: Heavy Metals in Soils, pp. 152–178 (Alloway, B. J., Ed.). Blackie Academic and Professional, London.
- McGrath, S.P., Zhao, F.J., Lombi, E., (2001). Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. Plant Soil 232, 207-214.
- Mitsopoulos, M., (1961). Die Hipparion fauna von Tanagra bei Theben. A.G.P.H., 12 p., pag.301-314.
- Morel J.L., Schwartz C, Florentin L., Kimpe C Urban Soils, In Enc. of soils in the Env. (2005) pp. 202-208.
- Müller, G. (1979). Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins — Veränderung seit 1971. *Umschau*, 24 , 778-783
- Nriagu J. and Pacyna J., (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature 333:134-139.
- Nriagu J., (1990). Global metal Pollution: poisoning the biosphere? Environment 32(7):(6-11):28-33.
- Orcutt, D.M., Nilsen, E.T., (2000). The physiology of plants under stress - Soil and biotic factors. John Wiley & Sons, New York.
- Papazotos P., Chalkiadaki O., Chatzistamatiou E.A., Georgopoulos G., Gkiouleka I., Katsikis I, Zygouri E., Kelepertzis E. and Argyraki A. Heavy metals in urban park soils from Athens, Greece. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, τόμος L, (2016). Πρακτικά 14^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, Μάιος 2016.
- Passow H., Rothstein A. and Clarkson T. W. (1961). The general pharmacology of heavy metals. Pharmac. Rev. 13 : 185-224.
- Politês Y. N& Edmonds (1886): Local Greek Myths, The Folk-Lore Journal, 4:1, 250-252.
- Pichtel, J., Kuroiwa, K., Sawyerr, H.T., (2000). Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites. Environ. Pollut. 110, 171-178.
- Qadir, M., Schubert, S., Steffens, D., (2004a). Phytotoxic substances in soils. Encyclopedia of Soils in the Environment, Elsevier, 216-222.
- Raskin, I., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, S., Salt, D.E., (1994). Bio concentration of heavy metals by plants. Cur. Opin. Bio technol. 5, 285-290.
- 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.

- Richard, F.C., and Bourg A.C.M. (1991). "Aqueous geochemistry of chromium. A review", *Journal of water Resources*, 25, 7, pp 807-816.
- Rudnick, R., & Gao, S. (2013). *Composition of the Continental Crust*. Treatise on geochemistry, 2nd Edition, Elsevier Science.
- Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.A., Ottesen, R.-T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandstrom, H., Siewers, U., Steenfelt, A., Tarvainen, T., (2005). *Geochemical Atlas of Europe, Part 1, Background Information, Methodology and Maps*. Geological Survey of Finland, Espoo, pp 526.
- Salomons W., Förstner U. *Metals in the Hydrocycle*. Springer Verlag Berlin/New York (1984).
- Samara, C., Voutsas, D., (2005). Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment. *Chemosphere* 59, 1197-1206.
- Sas-Nowosielska, A., Kucharski, R., Malkowski, E., Pogrzeba, M. Kuperberg, J.M., Kryński, K., (2004). Phytoextraction crop disposal - an unsolved problem. *Environ Pollut.* 128, 373-379.
- Scoullou, M. and Constantianos V., (1996). Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Zinc, Copper and Their Compounds. *Mediterranean Action Plan Med Pol*, UNEP, Athens, p.297.
- Selinus, O.s & Alloway, Brian & Centeno, Jose & Finkelman, Robert & Fuge, Ronald & Lindh, Ulf. (2005). *Essentials of Medical Geology*.
- Skordas, K., and Kelepertsis, A. (2005). Soil contamination by toxic metals in the cultivated region of Agia, Thessaly, Greece. Identification of sources of contamination. *Environ. Geol.* 48, 615–624.
- 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.
- Thornton, I and Webb, Js (1979). Aspects of Geochemistry and Health in the United Kingdom. In: *Pni. Trans R Soc London*, B288, 151-168.
- Thornton, I et al. (1980). In: *Trace Substances in Environmental Health XLV*, Hemphill, DD (ed), Univ Missouri, Columbia.
- Thornton I. (1986). Soil and plant factors that influence element availability and uptake: implications for geochemical prospecting. In: *Mineral exploration: Biological systems and organic matter*, Rubey Vol.5, pp 47-49. Carlisle D., Berry W.L., Kaplan I.R. and Watterson J.R. eds.
- Tijhuis, L., Brattli, B., Sæther, O., (2002). A geochemical survey of topsoil in the city of Oslo, Norway. *Environ. Geochem. Health* 24, 67–94.
- 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.
- Tyler G. Heavy metal pollution and soil enzymatic activity. *Plant Soil*, (1974), 41: 303-311.
- Tyler Miller G., (1999). *Living in the environment II: environmental systems problems*, Brooks/Cole Publ. Comp., 800 p.
- Van Assche F. (1983). *Fysiologische Studie van de zink-toxiciteit op de fotosynthese*. Ph.D. Thesis University of Antwerp.

- Van Assche F., Ceulemans R. & Clijsters H., (1980). Zinc mediated effects on leaf CO₂ diffusion conductances and net photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* L. Vol.145, pp.171-180.
- 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.
- Voutsas, D., Samara, C., Kouimtzis, T., Ochsenkühn, K., (2002). Element composition of airborne particulate matter in the multi-impacted urban area of Thessaloniki, Greece. Atmos. Environ. 36, 4453-4462.
- Walkley A. and Black I.A., 1934. An examination of Degtiareff methods for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. Soil. Sci. 37: 29-38.
- Wei B, Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. Microchem Journal (2010), 94:99–107.
- 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.
- <http://www.orycta.gr> (πρόσβαση 05/07/2019)
- <http://www.google.com/maps.com> (πρόσβαση 16/06/2019).
- <http://www.elxefs.com> (πρόσβαση 02/12/2019).
- <http://www.Greeceheaven.com> (πρόσβαση 19/12/2019).
- [http://www.Fauna Europa.eu](http://www.Fauna.Europa.eu), 2004 (πρόσβαση 28/12/2019).
- http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/cadmium_en.htm (πρόσβαση 05/08/2019).