



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ
ΥΓΙΕΙΝΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Διερεύνηση των βαρέων μετάλλων (εν δυνάμει τοξικών
στοιχείων) στο αστικό εδαφικό περιβάλλον της Λάρισας.
Εκτίμηση κινδύνου για την υγεία του ανθρώπου.»**

ΓΚΟΛΤΣΟΥ ΒΙΟΛΕΤΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ
ΛΑΡΙΣΑ, 2025

Διερεύνηση των βαρέων μετάλλων (εν δυνάμει τοξικών στοιχείων) στο αστικό εδαφικό περιβάλλον της Λάρισας. Εκτίμηση κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία.

ΓΚΟΛΤΣΟΥ ΒΙΟΛΕΤΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ

Εξεταστική επιτροπή:

Γκόλια Ευαγγελία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήματος Γεωπονίας
ΑΠΘ (Επιβλέπουσα)

Τσιρόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Χατζηχριστοδούλου Χρήστος, Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών με τίτλο «Εφαρμοσμένη Δημόσια Υγεία και Περιβαλλοντική Υγιεινή» του τμήματος Ιατρικής της Σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023, με επιβλέπουσα την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), Ευαγγελία Γκόλια.

Θα ήθελα να δηλώσω την ευχαρίστησή μου και τη μεγάλη τιμή που είχα να συνεργαστώ άριστα με όλη την εργαστηριακή ομάδα της Εδαφολογίας του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, καθώς ολόκληρη η μελέτη διεξάχθηκε σε αυτό το χώρο.

Επίσης, θέλω να εκδηλώσω την ξεχωριστή εκτίμησή μου στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ευαγγελία Γκόλια για την καθοριστική παρουσία της καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου έρευνας, διότι, με καθοδηγούσε συνεχώς στο χώρο του εργαστηρίου, μου παρείχε ακριβείς επεξηγήσεις κατά την πειραματική διαδικασία και τη σύνταξη της εργασίας. Επιπλέον, μου μεταλαμπάδευσε τις γνώσεις της με ανεξάντλητη όρεξη και η στήριξή της αποτέλεσε σημαντική πηγή δύναμης όσες φορές τη χρειάστηκα.

Συγχρόνως, θέλω να εκφράσω την ευχαρίστησή μου στην Υποψήφια Διδάκτορα του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης Παπαδήμου Σωτηρία, η οποία συνέβαλλε σημαντικά αναφορικά με τη χαρτογράφηση των εδαφικών δειγμάτων και την απεικόνιση της επικινδυνότητας των μετάλλων που εξετάστηκαν για τους ενήλικες, τα παιδιά και τα παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας.

Τέλος, θέλω να εκδηλώσω τη χαρά και την τιμή μου στην Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Μπουρλίβα Άννα, καθώς συνέβαλλε σημαντικά με τις γνώσεις που διαθέτει στη μελέτη, στην ανάπτυξη και στον σχολιασμό της επικινδυνότητας στην ανθρώπινη υγεία.

Περίληψη

Το έδαφος αποτελεί έναν φυσικό πόρο ο οποίος δε μπορεί να αντικατασταθεί και η αξία του είναι ανεκτίμητη καθώς σε αυτή στηρίζεται η ύπαρξη της ζωής. Απαρτίζεται από πολλά μεταλλικά στοιχεία τα οποία κρίνονται αναγκαία για τη ζωή αλλά καθιστά και έναν γεωχημικό πόλο για αρκετούς ρύπους. Το πόσο καλό είναι το έδαφος, καθώς και ο τρόπος που λειτουργεί συνδέονται άμεσα με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) των Ηνωμένων Εθνών. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρούμε έντονη ανάπτυξη της αστικοποίησης, ελλειπείς χειρισμούς αποβλήτων στις αστικές περιοχές καθώς και την αυξανόμενη απόσταση της κοινωνίας από τα μοντέλα βιώσιμης παραγωγής και κατανάλωσης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η επιδείνωση των αστικών εδαφών με τοξικούς ρύπους, δημιουργώντας έτσι εμπόδια για την υλοποίηση των ΣΒΑ. Η επιβάρυνση των εδαφών από μεταλλικά στοιχεία όπως ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το κάδμιο (Cd) και ο μόλυβδος (Pb), θέτουν σε υψηλό κίνδυνο την ομαλή λειτουργία του περιβάλλοντος. Όταν αυτά τα μέταλλα βρεθούν σε μεγάλη περιεκτικότητα στο έδαφος, είναι πιθανό να εμφανίσουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Γνωρίζοντας τα παραπάνω, η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή, έχει ως αρχικό στόχο να εκτιμήσει τη ρύπανση των εδαφών του αστικού ιστού της Λάρισας που προέρχεται από Cu, Zn, Cd και Pb, ενώ το δεύτερο σκέλος της έρευνας, έρχεται να προσδιορίσει την επικινδυνότητα των στοιχείων αυτών στην υγεία του ανθρώπου.

Για τη διεξαγωγή της έρευνας, πραγματοποιήθηκε συλλογή 66 δειγμάτων σε περιοχές πρασίνου, στον αστικό ιστό της πόλης της Λάρισας (πάρκα, πλατείες κ.ά.) για δύο χρονικές περιόδους. Κατά την περίοδο του Μαΐου 2022 συγκεντρώθηκαν 33 εδάφους και άλλα τόσα συλλέχθηκαν την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2022. Σε όλα τα εδαφικά δείγματα που συγκεντρώθηκαν, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της κοκκομετρικής (ή μηχανικής) σύστασης καθώς και των τιμών των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων των τεσσάρων μετάλλων που εξετάστηκαν. Πιο αναλυτικά, για τον προσδιορισμό των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων Cu, Zn, Cd και Pb, πραγματοποιήθηκε διαλυτοποίηση με βασιλικό νερό (Aqua Regia) μέσα σε αυτόκλειστο με πίεση και στη συνέχεια υλοποιήθηκε ο προσδιορισμός των μεταλλικών στοιχείων με τη βοήθεια του φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης με φλόγα. Στο τελικό στάδιο της έρευνας, εκτιμήθηκε ο κίνδυνος στον οποίο εκτίθενται οι κάτοικοι της Λάρισας (ενήλικες και παιδιά), με τον προσδιορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ) για τα δύο σενάρια έκθεσης (κατάποση και δερματική επαφή) σε Cu, Zn, Cd και Pb.

Abstract

Soil is a natural resource that cannot be replaced and is invaluable as it supports the existence of life. It is composed of many minerals that are considered necessary for life but also serves as a geochemical pole for several pollutants. How good the soil is, as well as the way it functions, are directly linked to the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations. In recent decades, we have observed a strong growth of urbanization, inadequate waste management in urban areas as well as the increasing distance of society from sustainable production and consumption models. According to the above, the resulting result is the deterioration of urban soils with toxic pollutants, thus creating obstacles to the implementation of the SDGs. The contamination of soils by metallic elements such as copper (Cu), zinc (Zn), cadmium (Cd) and lead (Pb) poses a high risk to the smooth functioning of the environment. When these metals are found in high concentrations in the soil, they are likely to have serious effects on human health.

Knowing the above, this thesis has as its initial objective to assess the pollution of the soils of the urban fabric of Larissa originating from Cu, Zn, Cd and Pb, while the second part of the research comes to determine the risk of these elements to human health.

To conduct the research, 66 samples were collected in green areas, in the urban fabric of the city of Larissa (parks, squares, etc.) for two periods of time. During the period of May 2022, 33 soil samples were collected and the same number was collected during the period of September 2022. In all soil samples collected, we determined the values of pH, the electrical conductivity, the granulometric (or mechanical) composition as well as the values of the pseudo-total concentrations of the four metals examined. More specifically, for the determination of the pseudo-total concentrations of Cu, Zn, Cd and Pb, we carried out dissolution with aqua regia in a pressurized autoclave and then we determined the metal elements with the help of a flame atomic absorption spectrophotometer. In the final stage of the research, the risk to which the residents of Larissa (adults and children) are exposed was assessed, by determining the hazard coefficient (HQ) for the two exposure scenarios (ingestion and dermal contact) to Cu, Zn, Cd and Pb.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος	III
Περίληψη	IV
Abstract	V
Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2	2
Έδαφος και Ρύπανση	2
2.1. Έδαφος	2
2.1.1. Ορισμός και φυσικά χαρακτηριστικά	2
2.1.2. Χημικά χαρακτηριστικά εδάφους	4
2.1.3. Σχηματισμός και χαρακτηριστικά αστικών εδαφών	5
2.2. Βαρέα μέταλλα – εν δυνάμει τοξικά στοιχεία	7
2.2.1. Ορισμός και τοξικότητα βαρέων μετάλλων	7
2.2.2. Ρύπανση από βαρέα μέταλλα στα αστικά εδάφη	8
2.2.3. Εδαφική βιοδιαθεσιμότητα μεταλλικών στοιχείων	10
2.3. Μέταλλα που εξετάστηκαν	10
2.3.1. Χαλκός (Cu)	10
2.3.2. Ψευδάργυρος (Zn)	11
2.3.3. Κάδμιο (Cd)	12
2.3.4. Μόλυβδος (Pb)	13
Κεφάλαιο 3	15
Νομοθετικό πλαίσιο	15
3.1. Νομοθεσία Ευρώπης	15
3.2. Νομοθεσία Ελλάδας	16
Κεφάλαιο 4	17
Βιώσιμη Ανάπτυξη	17
4.1. Στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης και αστική αειφορία	17
4.2. Στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης και έδαφος	17
Κεφάλαιο 5	19
Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα	19
Κεφάλαιο 6	20
Υλικά και Μέθοδοι	20
6.1. Περιοχή Μελέτης	20
6.2. Πειραματικός Σχεδιασμός	20
6.3. Αναλύσεις	21
6.3.1. Υπολογισμός εδαφικού pH	21
6.3.2. Υπολογισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εδάφους	21
6.3.3. Υπολογισμός ποσοστού ανθρακικού ασβεστίου (CaCO ₃) εδάφους	22
6.3.4. Ανάλυση κοκκομετρικής σύστασης	22
6.3.5. Εκχύλιση διαθέσιμων ιχνοστοιχείων με DTPA	23
6.3.6. Ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων με βασιλικό νερό	24
6.3.7. Στατιστική επεξεργασία	24
6.3.8. Εκτίμηση επικινδυνότητας για τον άνθρωπο	24
Κεφάλαιο 7	28
Αποτελέσματα – Συζήτηση	28
7.1. Φυτικοχημικές ιδιότητες εδαφικών δειγμάτων – Μάιος 2022	28
7.2. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων – Μάιος 2022	30
7.2.1. Χαλκός (Cu)	31
7.2.2. Ψευδάργυρος (Zn)	33
7.2.3. Κάδμιο (Cd)	34
7.2.4. Μόλυβδος (Pb)	35
7.3. Εκτίμηση επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία – Μάιος 2022	36
7.3.1. Χαλκός (Cu)	36

7.3.2. Ψευδάργυρος (Zn)	38
7.3.3. Κάδμιο (Cd)	39
7.3.4. Μόλυβδος (Pb)	40
7.3.5. Συνολική εκτίμηση επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία – Μάιος 2022	42
7.4. Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων – Σεπτέμβριος 2022	44
7.4.1. Χαλκός (Cu)	45
7.4.2. Ψευδάργυρος (Zn)	46
7.4.3. Κάδμιο (Cd)	47
7.4.4. Μόλυβδος (Pb)	47
7.5. Εκτίμηση επικινδυνότητας στην ανθρώπινη υγεία – Σεπτέμβριος 2022	48
7.5.1. Χαλκός (Cu)	48
7.5.2. Ψευδάργυρος (Zn)	49
7.5.3. Κάδμιο (Cd)	51
7.5.4. Μόλυβδος (Pb)	52
7.5.5. Συνολική εκτίμηση επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία – Σεπτέμβριος 2022	54
7.6. Σύγκριση επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία – Μάιος και Σεπτέμβριος 2022	56
7.7. Θεματικοί χάρτες – Σεπτέμβριος 2022 και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	57
7.7.1. Έκθεση μέσω κατάποσης	58
7.7.2. Έκθεση μέσω δερματικής επαφής	59
Κεφάλαιο 8	61
Πρόταση για μελλοντική μελέτη	61
Κεφάλαιο 9	62
Βιβλιογραφία	62
9.1. Ελληνική Βιβλιογραφία	62
9.2. Ξένη Βιβλιογραφία	64
9.3. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	65

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Στην ατζέντα για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη δίνεται βαρύνουσα σημασία σε δύο στόχους που αφορούν το έδαφος, στον στόχο 11: «Βιώσιμες πόλεις και κοινότητες» καθώς και στο στόχο 15: «Ζωή στη στεριά». Για την υλοποίηση των στόχων, είναι απαραίτητη η καλή κατάσταση των εδαφικών πόρων, η αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφών καθώς και ο περιορισμός και ο έλεγχος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που προκαλούν τη ρύπανση και την υποβάθμιση του εδάφους. Ταυτόχρονα, άλλοι στόχοι που εξαρτώνται έμμεσα από την καλή ποιότητα του εδάφους στις αστικές περιοχές ή/και συνδέονται με αυτή είναι οι ακόλουθοι: «Καλή υγεία και ευημερία», «Βιομηχανία, καινοτομία και υποδομές» και «Καθαρό νερό και αποχέτευση».

Επομένως, η Βιώσιμη Ανάπτυξη πρέπει να λαμβάνει υπόψη της την εν δυνάμει ρύπανση του εδάφους, την καταγραφή και παρακολούθηση αυτής καθώς και να προτείνει τρόπους και πρακτικές περιορισμού της. Σε αυτή την κατεύθυνση, η παρούσα έρευνα θα κάνει αποτίμηση της ρύπανσης των εν δυνάμει τοξικών στοιχείων (ΕΤΣ). Αυτό θα γίνει λαμβάνοντας εστιασμένα δείγματα στο αστικό περιβάλλον της Λάρισας. Τα αποτελέσματα αυτά, θα αναλυθούν κατάλληλα στο χώρο και στο χρόνο έτσι ώστε να προκύψουν έγκυρα συμπεράσματα αναφορικά με την πορεία της ρύπανσης στην πόλη. Με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων θα γίνει προσπάθεια επιμερισμού των πηγών πρόκλησης της ρύπανσης (π.χ. βιομηχανία, κυκλοφοριακό, θέρμανση κ.λπ.).

Επιπλέον, με βάση τις μετρούμενες συγκεντρώσεις θα ελεγχθούν τα εν δυνάμει αυτά τοξικά στοιχεία με τη χρήση κατάλληλων δεικτών, προκειμένου να εκτιμηθεί η επικινδυνότητά τους ως προς την ανθρώπινη φύση και το περιβάλλον.

Κεφάλαιο 2

Έδαφος και Ρύπανση

2.1. Έδαφος

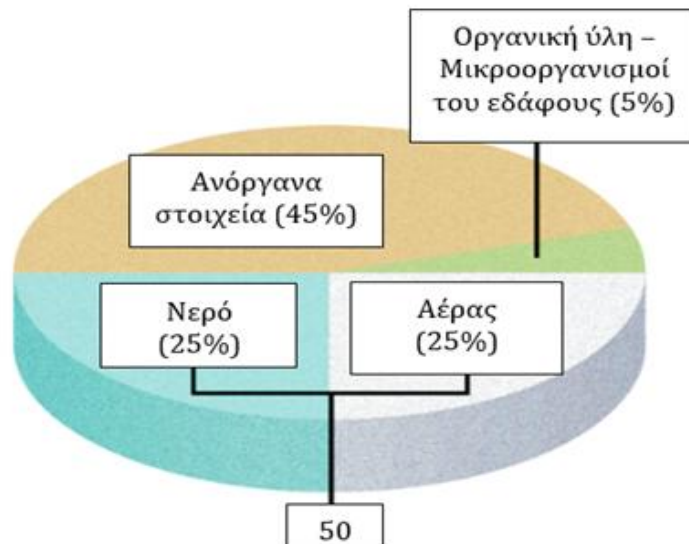
2.1.1. Ορισμός και φυσικά χαρακτηριστικά

Με βάση τον εδαφολογικό ορισμό, έδαφος θεωρείται το φυσικό επίστρωμα που βρίσκεται στο πάνω μέρος της στεριάς και έχει τροποποιηθεί από τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές (Παναγιωτόπουλος, 2008). Το έδαφος, θεωρείται μη ανανεώσιμος πόρος, διότι υποβαθμίζεται γρήγορα σε αντίθεση με τον ρυθμό που σχηματίζεται και ανανεώνεται. Για τη δημιουργία του εδάφους, πραγματοποιούνται φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Η σταδιακή αποσύνθεση της δομής του εδάφους, η αλλοίωση της οργανικής ουσίας, καθώς και η διάθεση ποικίλων φερτών στοιχείων τόσο φυσικής όσο ανθρώπινης έλευσης, παραμένουν ως οι βασικές διεργασίες οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες για τη δημιουργία του εδάφους (Χρυσοστομίδης, 2016).

Στο έδαφος συνυπάρχουν οι τρεις μορφές της ύλης, δηλαδή η στερεή, η υγρή και η αέρια (ανόργανα συστατικά και οργανική ουσία, εδαφικό διάλυμα και εδαφικός αέρας αντίστοιχα). Ανόργανα στερεά κομμάτια, σε ποικίλες διαστάσεις με κυριότερες την άμμο (20-2000 μm), την ιλύ (2-20 μm) και την άργιλο ($<2 \mu\text{m}$), είναι αυτά τα οποία συντελούν τη στερεά φάση του εδάφους. Εν αντιθέσει με την άμμο και την ιλύ, η άργιλος διακρίνεται για την αυξημένη πλαστικότητα, συγκολλητικότητα καθώς και για τη μεγάλη ικανότητα προσρόφησης κατιόντων και συγκράτησης του νερού. Εξαιτίας του φυλλοειδούς σχήματός της αλλά και του μικροσκοπικού μεγέθους της, θεωρείται ως το μοναδικό στοιχείο της στερεής φάσης το οποίο είναι φυσικοχημικώς ενεργό στο έδαφος. Το ποσοστό που καταλαμβάνουν αυτές οι τρεις φάσεις, καθορίζει τη μηχανική σύσταση του εδάφους (Παναγιωτόπουλος, 2008). Στο έδαφος, στη στερεή του μορφή, υφίσταται ένα ποσοστό οργανικής ύλης το οποίο αποτελείται τόσο από έμβιους όσο και από άβιους μικροοργανισμούς, φυτικούς και όχι μόνο, στα διάφορα στάδια της διάσπασης.

Η υγρή φάση του εδάφους, καθιστά κύριο ρόλο στην αποσάθρωση των πρωτογενών πετρωμάτων. Το νερό τόσο ως χημικός διαλύτης όσο και ως μέσο κίνησης των αποσαθρωμένων συστατικών. Επίσης, το «εδαφικό νερό», είναι αρμόδιο για την μετακίνηση των θρεπτικών συστατικών στις ρίζες των βλαστών καθώς και για τη βιολογική λειτουργία του εδάφους (χημική αποσύνθεση του πρωτογενούς υλικού, αποσάθρωση της οργανικής ύλης κ.ά.). Το νερό του εδάφους, θεωρείται ανανεώσιμος φυσικός πόρος το οποίο συνδράμει στον υδρολογικό κύκλο με τη λειτουργία της απορρόφησης των ρυπαντών και των τοξικών συστατικών από τα κατώτερα εδαφικά επίπεδα και τους ορίζοντες των υπογείων υδάτων.

Η αέρια φάση του εδάφους, διαθέτει παραπλήσια σύνθεση με αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα, τροποποιείται όμως ως προς την ποσότητα των επιμέρους στοιχείων. Αναλυτικότερα, διαθέτει περισσότερους υδρατμούς και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), ενώ περιέχει μικρότερη ποσότητα οξυγόνου (O_2) και επιπλέον εμπεριέχει διάφορες ενώσεις από θείο (S), άνθρακα (C) και άζωτο (N) (Παναγιωτόπουλος, 2008).

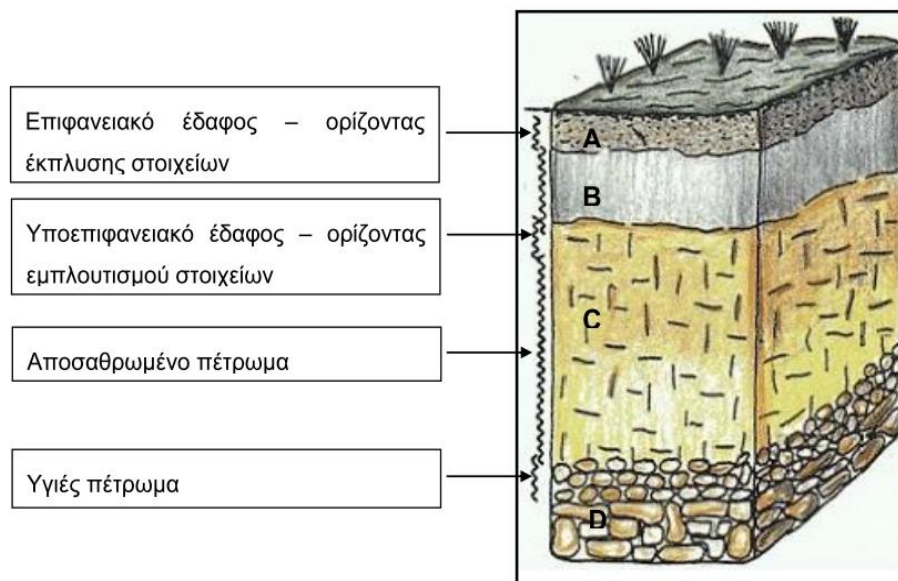


Εικόνα 1: Τα τέσσερα βασικότερα στοιχεία ενός εδάφους

Το έδαφος χαρακτηρίζεται ως «ετερογενές», διότι τα χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται σε οριζόντια κατεύθυνση κάθε βασικού άξονα, ενώ ο όρος «ανισότροπο», δηλώνει ότι τα χαρακτηριστικά αυτά είναι διαφορετικά ως προς τους άξονες x, y, z (Παναγιωτόπουλος, 2008). Εν κατακλείδι, το έδαφος χαρακτηρίζεται ως «δυναμικό», αφού διακρίνεται για τη συνεχή του μεταβλητότητα, η οποία υφίσταται εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των κλιματολογικών αλλά και τοπογραφικών δεδομένων, του χρόνου καθώς και της δράσης των οργανισμών μέσα στο μητρικό υλικό (Ματζίρης, 2011).

Το έδαφος διακρίνεται από κάποιες στρώσεις, που αποκαλούνται ορίζοντες (soil horizons). Αυτοί οι ορίζοντες διαφοροποιούνται ως προς το χρώμα, τη μηχανική και τη δομική σύσταση, το pH και άλλα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Το εδαφικό προφίλ (soil profile), συντελείται από το συνονθύλευμα αυτών των οριζόντων. Τα εδαφικά στρώματα προκύπτουν από την κάθετη μετακίνηση του υλικού, είτε ως διάλυμα είτε ως αιώρημα, στα βαθύτερα στρώματα και αναφέρονται με τα γράμματα A, B, C και D (Σχήμα 2) (Παναγιωτόπουλος κ.ά., 2008):

- Ορίζοντας {A}: στρώμα της επιφάνειας το οποίο αποτελείται από ανόργανα στοιχεία και εν μέρει αποδομημένη και με αντοχή οργανική ύλη και εξαιτίας της παρουσιάζεται σε σκουρότερο χρώμα συγκριτικά με τα βαθύτερα στρώματα.
- Ορίζοντας {B}: μεσαίο στρώμα το οποίο γίνεται αποδέκτης των στοιχείων που απορρέουν από τον ορίζοντα {A}. Οι ορίζοντες που συντελούν το βασικό μέρος του εδάφους είναι οι {A} και {B}, των οποίων η ύπαρξη προέκυψε λόγω της αλληλεπίδρασης της ατμόσφαιρας και της βιόσφαιρας.
- Ορίζοντας {C}: χαλαρό στρώμα που υποβοηθά τους ορίζοντες {A} και {B}. πολλές φορές, κρατά τα δομικά στοιχεία του μητρικού εδάφους και γεωλογικών αποθέσεων.
- Ορίζοντας {D}: συντελείται πρωτίστως από μητρικό έδαφος με μικρά στοιχεία αποσύνθεσης.



Εικόνα 2: Τυπική εδαφική κατανομή και διάταξη των εδαφικών οριζόντων (Χρυσοστομίδης, 2016)

Τονίζεται, πως τα στρώματα εδάφους που αναλύθηκαν παραπάνω είναι μία ιδανική μορφή, η οποία παρατηρείται σε κάποιους τύπους εδαφών με μη κεκλιμένη επιφάνεια. Το προφίλ του εδάφους, ενδέχεται να διαφοροποιείται σύμφωνα με τον τύπο του, ενώ μπορεί να υπάρχουν και άλλα εμφανή στρώματα (υπο-ορίζοντες) τα οποία να δέχονται μεταβολές από μέρος σε μέρος (Μισοπολινός κ.ά., 2015).

2.1.2. Χημικά χαρακτηριστικά εδάφους

Τα χημικά εδαφικά χαρακτηριστικά, παραπέμπουν στη χημική εδαφική σύνθεση, δηλαδή στις χημικές αντιδράσεις οι οποίες πραγματοποιούνται και παίζουν καθοριστικό ρόλο στη γονιμότητά του. Κάποια από αυτά τα χημικά χαρακτηριστικά θεωρούνται η ορυκτολογική σύσταση, η ανταλλαγή ιόντων, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η αντίδραση (pH) του εδάφους.

Ως ορυκτολογική σύσταση, καλείται η σύνθεση των πετρωμάτων ή του μητρικού υλικού με βάση το οποίο δημιουργείται το έδαφος. Σύμφωνα με το μητρικό υλικό το οποίο υπάρχει, επηρεάζεται και ο τύπος του εδάφους που θα δημιουργηθεί, καθώς και η ικανότητά του να μεταφέρει θρεπτικά συστατικά στα φυτά.

Ως ικανότητα ανταλλαγής ιόντων στο έδαφος, ορίζεται η συνολική χωρητικότητα του εδάφους για την κατακράτηση των ανταλλάξιμων ιόντων, καθώς καθορίζει την δυνατότητα του εδάφους να απορροφά όλα τα θρεπτικά και απαραίτητα στοιχεία και να δρα ως ρυθμιστικά μέσο έναντι της μείωσης της τιμής του pH στο έδαφος (οξίνιση).

Ως ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του διαλύματος του εδάφους, καλείται το συννοθύλευμα των κατιόντων και ανιόντων που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό. Αυτό το εδαφικό χαρακτηριστικό συνδέεται με την αλατότητα, διότι τα άλατα δρουν υπέρ του ηλεκτρισμού. Καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα των αλάτων με την ικανότητα να

διαλύονται στο έδαφος, αυξάνεται και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος (Ζαμπέκας, 2003).

Αντίδραση εδάφους (soil reaction), ορίζεται ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος των κατιόντων του υδρογόνου $[H^+]$ και εκφράζεται σε μονάδες pH:

$$pH = -\log[H^+]$$

Στην ουσία, το pH καθορίζει πόσο βασικό ή όξινο είναι το διάλυμα του εδάφους βάσει των συγκεντρώσεων $[H^+]$ και $[OH^-]$ που εμπεριέχονται σε αυτό. Η τιμή του pH ορίζει το ρυθμό που μπορούν να διαλυθούν τα ιχνοστοιχεία, την ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών καθώς και τη βιολογική εδαφική ικανότητα. Μία από τις κυριότερες φυσικοχημικές παραμέτρους, θεωρείται και η αντίδραση του εδάφους, αφού ορίζει την μετακίνηση, τη ταχύτητα διάσπασης ή αποσύνθεσης και τη βιοδιαθεσιμότητα των ρυπαντών.

Πίνακας 2.1.2.: Κατηγορίες αντίδρασης του εδάφους και τα αντίστοιχα όρια των τιμών pH (Παναγιωτόπουλος, 2008)

Αντίδραση εδάφους	Όρια τιμών pH
Πολύ ισχυρώς όξινη	3.0-4.0
Ισχυρώς όξινη	4.0-5.0
Μετρίως όξινη	5.0-6.0
Ελαφρώς όξινη	6.0-7.0
Ελαφρώς αλκαλική	7.0-8.0
Μετρίως αλκαλική	8.0-9.0
Ισχυρώς αλκαλική	9.0-10.0
Πολύ ισχυρώς αλκαλική	10.0-11.0

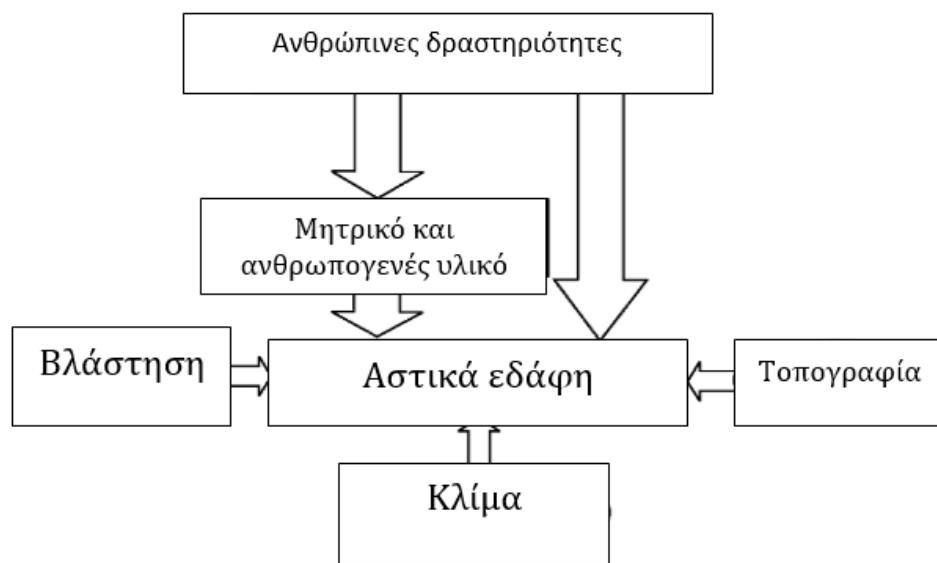
2.1.3. Σχηματισμός και χαρακτηριστικά αστικών εδαφών

Με βάση τον Rouyat et al. (2020), ο αστικός εδαφικός ορισμός, προστέθηκε στον επιστημονικό χώρο το 1963 και ανέλυε το προφίλ των κλωνισμένων αστικών εδαφών. Ύστερα από το 2000, διάφοροι ερευνητές υιοθετούν τη φράση «ανθρωπογενή εδάφη», τοποθετώντας έτσι τα αστικά εδάφη σε ένα γενικότερο φάσμα εδαφών που επιδέχονται ανθρώπινη παρεμβολή.

Ο Baumgatl (1998), επισήμανε ότι το αστικό έδαφος διαφέρει από το φυσικό το οποίο διαμορφώνεται σταδιακά με το πέρασ των χρόνων, και αποτελεί ένα νεοσύστατο εδαφικό σύστημα το οποίο παράγεται λόγω της εμφανούς αστικοποίησης του

πληθυσμού. Οι Morel et al. (2005) αναφορικά με τα αστικά εδάφη, τονίζουν ότι εδάφη με ανθρώπινη παρεμβολή ενδείκνυνται τα κάτωθι:

- Τα εδάφη που η σύνθεσή τους αποτελείται από στοιχεία που ανήκουν σε περιαστικές, γεωργικές ή/και δασικές εκτάσεις. Το στρώμα της επιφάνειάς τους, έχει βάθος που ξεπερνά τα 50 cm και έχει δεχτεί αλλαγές στη δομή του από εκτενή ανθρωπογενή δραστηριότητα.
- Οι αστικοί δημόσιοι χώροι, αν και είναι πανομοιότυποι με τη γη στις αγροτικές περιοχές, η σύνθεσή τους είναι διαφορετική και κατάλληλη εναλλακτικές ανθρώπινες χρήσεις και διαχείριση.
- Τα εδάφη τα οποία δημιουργούνται από ποικίλες κατασκευαστικές ενέργειες στους αστικούς ιστούς, είναι τις περισσότερες φορές καλυμμένα.



Σχήμα 2.3: Σχηματισμός και εξέλιξη αστικών εδαφών (Morel et al. 2005)

Στις αστικές περιοχές, χαρακτηρίζεται ως «σφραγισμένο» εξαιτίας των δομικών έργων ανθρωπογενούς προέλευσης. Το συγκεκριμένο φαινόμενο της εδαφικής επικάλυψης, ενδέχεται να αγγίζει το 80% στις μεγάλες αστικές περιοχές ενώ στα προάστια μπορεί να αγγίζει και το 50%. Αυτό δυσχεραίνει τη μελέτη των εδαφών των αστικών περιοχών, αφού συνήθως εμποδίζονται από σωλήνες, καλώδια, θεμέλια κ.ά. Οι ελεύθερες επιφάνειες στις αστικές περιοχές, αποτελούνται συνήθως από: i) είτε δημόσιου είτε ιδιωτικούς κήπους, δασάκια και πάρκα, ii) γήπεδα αθλητισμού και πάρκα για παιδιά, iii) νεκροταφεία, iv) αδιαμόρφωτους και εγκαταλελειμμένους χώρους ή μη οικοδομήσιμες εκτάσεις, v) εκτάσεις που καλύπτονται από ράγες σιδηροδρόμων, vi) παρτέρια με βλάστηση για διαχωρισμό δρόμων και vii) αρχαιολογικούς χώρους (Ματζίρης, 2011; Guillard et al., 2018).

Μερικά εκ των κυριότερων χαρακτηριστικών από τα οποία διαχωρίζονται τα αστικά από τα φυσικά εδάφη καταγράφονται παρακάτω (Craul, 1985; Ματζίρης, 2011; Yang et al., 2015):

1. Η μεταβολή τόσο σε έκταση όσο και σε βάθος,
2. Η εδαφική συμπίεση και αλλοίωση,

3. Η μεταβολή του εδαφικού pH με ανοδική ροπή, καταλήγοντας τα περισσότερα εδάφη να είναι ελαφρώς μέχρι ισχυρώς αλκαλικά,
4. Η ύπαρξη, στο προφίλ του εδάφους, κατασκευαστικών στοιχείων καθώς και τοξικών ρύπων λόγω έργων ανθρωπογενούς προέλευσης,
5. Η διαφορετική περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων η οποία επιδρά διαφορετικά στην πρόοδο και αναπαραγωγή στους εδαφικούς οργανισμούς.

Εξετάζοντας τα άνωθεν, διακρίνουμε πως τα εδάφη των αστικών περιοχών δε διαθέτουν τη κλασική κάθετη στρωματοποίηση η οποία συνηθίζεται στα φυσικά εδάφη. Είναι επιπλέον αλήθεια, πως από τις φυσικές τους λειτουργίες πολλές είναι αυτές που έχουν διακοπεί, μειωθεί ή αναπροσαρμοστεί εξαιτίας των μεγάλων πιέσεων στις οποίες υπόκεινται τα εδάφη (Κατρίτσης, 2016). Καταλήγοντας, εξαιτίας των ανωτέρω χαρακτηριστικών, οι μέθοδοι αξιολόγησης και μελέτης των εδαφών στις αστικές περιοχές, διαφέρουν τις πιο πολλές φορές από αυτές που συνηθίζονται για τη μελέτη φυσικών ή αγροτικών εκτάσεων.

2.2. Βαρέα μέταλλα – Εν δυνάμει τοξικά στοιχεία

2.2.1. Ορισμός και τοξικότητα βαρέων μετάλλων

Ως βαρέα μέταλλα, χαρακτηρίζονται τα μεταλλικά στοιχεία που έχουν ατομική πυκνότητα πιο μεγάλη από 5 g/cm³ (πέντε φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού) (Γκόλια, 2003; Ασλανίδης, 2022; Ali & Khan, 2018). Υπάρχουν στοιχεία (βαρέα μέταλλα) τα οποία είναι τοξικά για τους οργανισμούς όπως το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg) κ.ά. Μερικά από τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται αναγκαία για την καλή λειτουργία των οργανισμών σε μικρές ποσότητες ή ίχνη και καλούνται ιχνοστοιχεία (λόγου χάρη Cu, Zn κ.ά.). όταν η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων αυτών ξεπεράσει μια οριακή τιμή τότε κι αυτά ενδέχεται να είναι επιβλαβή για τους οργανισμούς.

Γενικά, τα βαρέα μέταλλα έχουν άμεση ή έμμεση συσχέτιση με την περιβαλλοντική ρύπανση, αλλά και με δυσάρεστες επιπτώσεις τόσο στα φυτά και τα ζώα, όσο και στον άνθρωπο.

Δύο από τις μεγαλύτερες χημικές καταστροφές που είχαν άμεσο και σοβαρό αντίκτυπο στο περιβάλλον κατά τον 20^ο αιώνα, οι οποίες ταυτίστηκαν με τη διάχυση υπέρογκων ποσοτήτων βαρέων μετάλλων και επέφεραν το θάνατο σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού, είναι, η διάχυση ενώσεων υδραργύρου στο περιβάλλον από απόβλητα μιας βιομηχανίας στη Minamata (Minamata disease – Ιαπωνία, Μάιος 1955) και η καταστροφή ορυχείου στη περιοχή της Donana (Donana mining catastrophe – Ισπανία, Απρίλιος 1998) (Ali & Khan, 2018).

Τα ιχνοστοιχεία που χαρακτηρίζουν τα βαρέα μέταλλα, παρουσιάζουν έντονο βιολογικό και βιοχημικό ενδιαφέρον, αφού έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν τις βιολογικές διεργασίες καθώς και στοιχεία πρωτεϊνών τα οποία είναι απαραίτητα για τη δομή τους (Παπαθεοδώρου, 2022), ενώ η απουσία βαρέων μετάλλων από τους φυτικούς ιστούς μπορεί τακτικά να οδηγήσει σε τροφопενίες (Γκόλια, 2003).

Βαρέα μέταλλα που βρίσκονται σε αυξημένες συγκεντρώσεις είναι πολύ τοξικά. Πολλοί ερευνητές του επιστημονικού κλάδου προτιμούν τους όρους «εν δυνάμει τοξικά στοιχεία» και «εν δυνάμει επιβλαβή στοιχεία» (ΕΤΣ και ΕΕΣ αντίστοιχα), διότι επισημαίνουν τις δυσάρεστες συνέπειες που έχουν τα μεταλλικά στοιχεία όταν οι

οργανισμοί βρίσκονται εκτεθειμένοι σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις πέρα των επιθυμητών ορίων. Τα βαρέα μέταλλα κατατάσσονται σε τρεις ομάδες αναλόγως με το επίπεδο τοξικότητάς τους ως προς το περιβάλλον (Πίνακας 2.3.1.).

Πίνακας 2.3.1.: Κατάταξη μετάλλων και μεταλλοειδών ανάλογα με την τοξικολογική περιβαλλοντική τους δράση (Γκόλια, 2003)

1 ^η Ομάδα (λιγότερο επικίνδυνα)		2 ^η Ομάδα (επικίνδυνα)		3 ^η Ομάδα (πολύ επικίνδυνα)	
Αργίλιο	Al	Αρσενικό	As	Μόλυβδος	Pb
Κοβάλτιο	Co	Βηρύλλιο	Be	Κάδμιο	Cd
Χαλκός	Cu	Χρώμιο	Cr	Υδράργυρος	Hg
Μαγγάνιο	Mn	Νικέλιο	Ni	Θάλλιο	Tl
Μολυβδαίνιο	Mo	Πολώνιο	Po		
Σελήνιο	Se				
Τιτάνιο	Ti				
Βανάδιο	V				
Κασσίτερος	Sn				
Ψευδάργυρος	Zn				

Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων που διοχετεύεται ετησίως στο περιβάλλον, πιστεύεται ότι είναι μεγαλύτερη από τις οργανικές και ραδιενεργές πηγές συνολικά (Μισοπολινός & Οιχαλιώτης, 2015). Επιπλέον, επισημαίνεται πως οι αυξημένες συγκεντρώσεις οι οποίες ανιχνεύονται στα εδάφη, δεν υφίστανται αναγκαία ρύπανση ή επικινδυνότητα για την υγεία του ανθρώπου, διότι δεν αποτελούν όλα τα μεταλλικά στοιχεία σε οποιαδήποτε συγκέντρωση κίνδυνο για τα οικοσυστήματα. (Κατρίτσης, 2016). Το επίπεδο τοξικότητας των εν δυνάμει τοξικών στοιχείων, συντελείται από διάφορους παράγοντες, μερικοί από τους οποίους αναφέρονται παρακάτω (Κούγκολος, 2021):

- Η χημική μορφή των μεταλλικών στοιχείων (οργανική, ανόργανη και σωματιδιακή).
- Η εμφάνιση άλλων μεταλλικών στοιχείων ή ουσιών, στο περιβάλλον στο οποίο υπάρχουν, έχοντας ανταγωνιστική ή συνεργιστική δράση.
- Φυτικοχημικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η αντίδραση του εδάφους, η θερμοκρασία και η αλατότητα στο μέσο που είναι, η φωτεινότητα κ.ά.
- Η φάση που είναι ο οργανισμός (ηλικία, φυσική δραστηριότητα, ρουτίνα σίτισης, φύλο κ.ά.).

2.2.2. Ρύπανση από βαρέα μέταλλα στα αστικά εδάφη

Αφενός, το έδαφος θεωρείται μία πηγή μεταλλικών στοιχείων που είναι ζωτικής σημασίας για την ύπαρξη ζωής και πολλοί το περιγράφουν με «δυναμικό μέσο υποστήριξης της ζωής», αφετέρου υφίσταται και ως γεωχημικός παραλήπτης ρύπων (Παπαφιλίππáκη, 2004; Golia et al., 2020).

Η εδαφική ρύπανση που οφείλεται στα εδαφικά στοιχεία, θεωρείται στις μέρες μας πολύ μεγάλη περιβαλλοντική απειλή με κύριες επιπτώσεις τη συνεχώς αυξανόμενη

γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη καθώς και την ανυπολόγιστη άνοδο του πληθυσμού διεθνώς (C. Li et al., 2019). Η απόκτηση γνώσης σχετικά με τα βαρέα μέταλλα θεωρείται απαραίτητη, διότι αφορά ρύπους ή ουσίες που ρυπαίνουν και δε διασπώνται με φυσικές εδαφικές διεργασίες, αντιθέτως, μαζεύονται και συνήθως βιοσυσσωρεύονται, που έχει ως συνέπεια να εισχωρούν στην τροφική πυραμίδα, φτάνοντας στον άνθρωπο που είναι ο τελικός παραλήπτης. Από την ώρα που τα βαρέα μέταλλα εισβάλλουν σε αυτό τον κύκλο (έδαφος – χλωρίδα – πανίδα - άνθρωπος), είναι πολύ πιθανό να συγκεντρωθούν στους ιστούς των ανθρώπων σε υψηλές συγκεντρώσεις, δημιουργώντας δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Μισοπολινός & Οιχαλιώτης, 2015).

Στα αστικά εδάφη, τα μεταλλικά στοιχεία οφείλονται σε φυσικές, γεωχημικές και ανθρωπογενείς πηγές. Μελέτες αποδεικνύουν, πως δραστηριότητες που ρυπαίνουν περισσότερο τα εδάφη, προέρχονται από ανθρώπινη παρεμβολή.

Τα βαρέα μέταλλα, αποτελούν μέρος συστατικών που βρίσκονται στα ορυκτά και τα πετρώματα. Πάνω από το 95% του γήινου φλοιού, απαρτίζεται από ηφαιστειογενή (εκρηξιγενή) πετρώματα, τα οποία περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, λόγω χάρη Cu, Cd, Ni και Co, ωστόσο το άλλο τμήμα αποτελείται από ιζηματογενείς πέτρες, οι οποίες εμπεριέχουν υψηλή περιεκτικότητα Pb, Zn, Mn, Cu και Cd (C. Li et al., 2019). Η διάβρωση και η αποσύνθεση των ορυκτών, που προκύπτουν από μετεωρολογικές συνθήκες (κατακρημνίσεις, άνεμοι και ηλιακή ακτινοβολία) καθώς και από ηφαιστειακές εκρήξεις, αποτελούν τις βασικότερες φυσικές πηγές εισόδου των βαρέων μετάλλων στα εδάφη, ενώ παράλληλα οι διαδικασίες αυτές αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στη διασπορά και κινητικότητα αυτών των ρυπαντών, που καθίσταται δυνατό και σε αποστάσεις οι οποίες είναι μεγάλες (Παπαφιλιππάκη, 2004; Παπαδήμου, 2020; Χαριζάνη, 2022). Μία επιπλέον πηγή μεταλλικών στοιχείων, αποτελεί η βιοχημική ανακύκλωση εξαιτίας της θανάτωσης των φυτών, η οποία οφείλεται στη βιοσυσσώρευσή τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένας ορίζοντας επιφανειακού εδάφους, με μεγάλη συγκέντρωση μεταλλικών στοιχείων, που απαρτίζεται από άνθη, καρπούς και φύλλα στα οποία συγκεντρώθηκε μεγάλη περιεκτικότητα τοξικών μεταλλικών στοιχείων (Αντωνοπούλου, 2020; Χαριζάνη, 2022).

Η ρύπανση των αστικών περιοχών από βαρέα μέταλλα, προκύπτει κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούν τα μηχανοκίνητα οχήματα, που δε δημιουργούν μόνο ρύπους στην ατμόσφαιρα, αλλά και σωματίδια τα οποία φτάνουν στην εδαφική επιφάνεια (αλλοιωμένα λάστιχα αυτοκινήτων και τακάκια φρένων, κομμάτια φθαρμένης ασφάλτου, κατακάθια λαδιών) (Φλίγκος, 2017) καθώς και από την θερμότητα ορυκτών καυσίμων ως θερμαντικό μέσο κατοικιών και κτηρίων (Κατρίτσης, 2016). Στις πηγές ρύπανσης από ανθρωπογενή προέλευση, συγκαταλέγονται η ανεξέλεγκτη μεταφορά απορριμμάτων αστικής και βιομηχανικής προέλευσης καθώς και η διαχείριση της λάσπης από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων στις γεωργικές εκτάσεις. Η προέλευση της ρύπανσης καθώς επίσης και τα μεταλλικά στοιχεία τα οποία ανιχνεύονται στις αστικές περιοχές, διαφοροποιούνται ανά περίπτωση, λόγω χάρη Pb και Cd. Τα δύο αυτά βαρέα μέταλλα, επιβαρύνουν τα εδάφη κοντά στα οδικά δίκτυα με αιωρούμενα σωματίδια (σκόνες) λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων (Wei & Yang, 2010), ενώ στα πάρκα και στις περιοχές πρασίνου παρατηρείται επιβάρυνση από Cu και Zn.

Η διάθεση και κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων στις πόλεις, επηρεάζονται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του τόπου και του καιρού. Για παράδειγμα, η πυκνή κατοίκηση σε ψηλά κτήρια που είναι χαρακτηριστικό των πόλεων, δυσκολεύει την κυκλοφορία του ανέμου, με αποτέλεσμα τα αιωρούμενα σωματίδια να εγκλωβίζονται στην εδαφική επιφάνεια. Επιπλέον, η διασπορά της σκόνης μέσω του ανέμου,

συνεπάγεται με την άμεση και ανομοιόμορφη υδάτινη και εδαφική ρύπανση. Ομοίως, με την οριζόντια και κάθετη μεταφορά του νερού από τις βροχοπτώσεις, πραγματοποιείται η μετακίνηση τοξικών ουσιών οι οποίες εν τέλει ρυπαίνουν τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια ύδατα και κατά συνέπεια τα αστικά εδάφη (Κατρίτσης, 2016).

2.2.3. Εδαφική βιοδιαθεσιμότητα μεταλλικών στοιχείων

Το ποσοστό του μετάλλου το οποίο είναι σε διάθεση και μπορεί να απορροφηθεί από έναν οργανισμό στο περιβάλλον το οποίο βρίσκεται, ορίζεται ως βιοδιαθεσιμότητα ή βιολογική διαθεσιμότητα. Ωστόσο, η έννοια της βιοδιαθεσιμότητας εμπεριέχει δύο παράγοντες, έναν φυσικό και έναν βιολογικό που σχετίζονται με την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων αφενός, και αφετέρου με την απορρόφηση και την ικανότητα μεταβολής από τους οργανισμούς στο περιβάλλον (Κατρίτσης, 2016).

Αναφορικά με τους Rodrigues et al. (2010), η εδαφική περιεκτικότητα των στοιχείων, κατατάσσεται στα εξής τρία κλάσματα: το αδρανές, το χημικά ενεργό και το διαθέσιμο κλάσμα. Το πρώτο εκ των τριών, είναι έντονα προσκολλημένο στο κρυσταλλικό πλέγμα του μητρικού εδάφους, με αποτέλεσμα να βρίσκεται σε διαθεσιμότητα. Το δεύτερο κλάσμα, εμπεριέχει προσροφημένα ιόντα στο επάνω μέρος των πετρωμάτων, οργανομεταλλικές ενώσεις και άμορφα οξείδια μεταλλικών στοιχείων και μπορεί να προσληφθεί από το φυτικό ριζικό σύστημα, ενώ το τελευταίο κλάσμα, περιλαμβάνει όλα τα ιχνοστοιχεία τα οποία βρίσκονται σε άμεση διαθεσιμότητα με παραλήπτη τους οργανισμούς.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η βιοδιαθεσιμότητα αλλά και να υλοποιηθεί η καταμέτρηση της κινητικότητας των μετάλλων στα εδαφικά στρώματα και κατά συνέπεια στα υπόγεια νερά, πραγματοποιείται ο προσδιορισμός των παραπάνω κλασμάτων (Κατρίτσης, 2016). Για να προσδιοριστεί το ολικό κλάσμα εργαστηριακά, υλοποιείται εκχύλιση του δείγματος εδάφους με μείγμα δυνατών οξέων ($\text{NH}_3 - \text{HCl} - \text{HClO}_4 - \text{HF}$). Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι η απελευθέρωση και η ανταλλαγή αδρανούς κλάσματος είναι ιδιαίτερα δύσκολη, ο προσδιορισμός της εδαφικής ρύπανσης λόγω μεταλλικών στοιχείων, ενδέχεται να συμπεριλάβει τις ολικές ή ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να προσδιοριστούν ευκολότερες μεθόδους, λόγω χάρη διαλυτοποίηση με βασιλικό νερό (Κατσίκης, 2017).

2.3. Μέταλλα που εξετάστηκαν

2.3.1. Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός, κατατάσσεται στην Ομάδα 11 (I_B) του Περιοδικού Πίνακα και έχει χαρακτηριστικό κοκκινωπό χρώμα. Είναι μέταλλο, με ατομικό αριθμό (Z) 29, σχετική ατομική μάζα (A_r) 63,55 g/mol, σημείο ζέσης 2567 °C, σημείο τήξης 1083 °C και πυκνότητα 8,9g/cm³ (Καραγιαννίδης, 2009). Διακρίνεται ως μαλακός, όλκιμος και ελατός ενώ τον χαρακτηρίζει η μεγάλη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σε εκτάσεις οι οποίες δεν είναι ρυπασμένες, η συγκέντρωση του χαλκού είναι μεταξύ 20-30 mg/kg, ενώ η τιμή της μέσης συγκέντρωσης αυτού στο γήινο στέρεο φλοιό μπορεί να φτάσει έως και 50 mg/kg (Αντωνοπούλου, 2020).

Ο χαλκός θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα ιχνοστοιχεία για τους φυτικούς οργανισμούς, αφού συμμετέχει σε πολλές διεργασίες, λόγω χάρη στο σχηματισμό της χλωροφύλλης, στο μεταβολισμό των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων, στη προστασία από το οξειδωτικό στρες κ.ά.. Παρόλα αυτά, η περιεκτικότητα του μετάλλου στα

κύτταρα των φυτών, πρέπει να παραμένει σε μικρό ποσοστό, διότι οι τεράστιες συγκεντρώσεις μπορούν να δημιουργήσουν μεταβολές στο γενετικό υλικό και να επηρεάσουν σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών (Rehman et al., 2019).

Αναφορικά με τον οργανισμό του ανθρώπου, δε καταγράφονται συχνά άμεσες δυσμενείς επιπτώσεις του χαλκού στην υγεία. Η συνεχής και παρατεταμένη έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις του μετάλλου, είναι πιθανό να προκαλέσει βλάβες στο νευρολογικό και νοητικό σύστημα, αίσθηση κόπωσης, δυσλειτουργία του ήπατος και των νεφρών καθώς και διακυμάνσεις του γαστρεντερικού συστήματος (Karim, 2018; Αντωνοπούλου, 2020). Η εισχώρηση του χαλκού στον οργανισμό του ανθρώπου, πραγματοποιείται μέσω του αναπνευστικού συστήματος κατά τη διάρκεια εισπνοής σωματιδίων που αιωρούνται ή πίνοντας νερό (Karim, 2018). Αφενός, συγκεντρώσεις χαλκού που ξεπερνούν τα 5 mg/L, προσφέρουν άσχημη οσμή και γεύση στο νερό που πίνουμε, αφετέρου, τιμές συγκεντρώσεων έως 2 mg/L δεν είναι ικανές να επηρεάσουν την υγεία του ανθρώπου (Ασλανίδης, 2022).

Ο χαλκός, συναντάται σε κάθε είδος εδάφους ως ιόν σε διάφορες μορφές (Ζώττα, 2018), ενώ η συγκέντρωσή του στους επιφανειακούς ορίζοντες προκύπτει από την εκτεταμένη δραστηριότητα των ανθρώπων (Γκόλια, 2003). Εξαιτίας της εξαιρετικής ου αγωγιμότητας, ο χαλκός επιδέχεται εκμετάλλευσης από τις βιομηχανίες προκειμένου να παράξουν ηλεκτρονικά κυκλώματα, καλώδια και σωλήνες ύδρευσης (Παπαδήμου, 2020). ο χαλκός βρίσκεται επιπλέον σε κινητήρες αυτοκινήτων, απόβλητα ορυχείων, ιπτάμενη τέφρα και λιπάσματα (Μισοπολινός & Οικαλιώτης, 2015). Στα εδάφη των αστικών περιοχών, η περιεκτικότητα του χαλκού ενδέχεται να είναι υψηλή λόγω συνεχούς μετακίνησης των οχημάτων καθώς και εξαιτίας των λιπαντικών που χρησιμοποιούνται σε αυτά (Ασλανίδης, 2022; G. Li et al., 2018).

2.3.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος, κατατάσσεται στην Ομάδα 12 (IIB) του Περιοδικού Πίνακα και έχει χαρακτηριστικό αργυρόλευκο χρώμα. Είναι μέταλλο, με ατομικό αριθμό (Z) 30, σχετική ατομική μάζα (Ar) 65,39 g/mol, σημείο 907 °C, σημείο τήξης 420 °C και πυκνότητα 7,1g/cm³ (Καραγιαννίδης, 2009). Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του μετάλλου στο έδαφος είναι 70 mg/kg (Αντωνοπούλου, 2020), ενώ είναι το 24^ο στοιχείο από αποθέματος στο στέρεο γήινο φλοιό και έχει μέση συγκέντρωση 67 mg/kg (Τσούκα, 2021; Καραγιαννίδης, 2009).

Παρόλο που είναι ένα μικροθρεπτικό στοιχείο των ζωντανών οργανισμών, σε μεγάλες ποσότητες το μέταλλο αυτό μπορεί να επιδράσει με αρνητικό τρόπο στις κατεργασίες των φυτών και να επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις στους εδαφικούς οργανισμούς και κατά συνέπεια στον άνθρωπο ο οποίος αποτελεί ναυαρχίδα της τροφικής αλυσίδας. Αναλυτικότερα, ο ψευδάργυρος αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα των λειτουργικών διεργασιών ενός φυτού, ενώ σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο έδαφος, ενδέχεται να αναστείλει την αύξηση, την ανάπτυξη καθώς και τις μεταβολικές διεργασίες του φυτικού οργανισμού. Ο ψευδάργυρος χαρακτηρίζεται τοξικός ως προς τον φυτικό ιστό, όταν η περιεκτικότητά του στο εδαφικό δείγμα υπερβεί την κλίμακα των 150 – 300 mg/kg (Παπαθεοδώρου, 2022).

Η εισχώρηση του ψευδαργύρου στον ανθρώπινο οργανισμό, έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί διά της αναπνευστικής ή γαστρεντερικής οδού καθώς και μέσω του δέρματος (Τσούκα, 2021). Παρόλα αυτά, οι χρόνιες δηλητηριάσεις από ψευδάργυρο,

σπάνια παρατηρούνται στους ανθρώπους και στα ζώα (Μισοπολινός & Οιχαλιώτης, 2015; Φλίγκος, 2017).

Ο ψευδάργυρος, κατατάσσεται στους «κλασικούς αστικούς ρύπους» που προέρχονται από ανθρώπινη παρεμβολή (Argyraiki et al., 2018). Οι δραστηριότητες από βιομηχανίες, όπως ο γαλβανισμός σιδήρου και χάλυβα, η καύση ορυκτών καυσίμων, η χρησιμοποίηση εδαφοβελτιωτικών αλλά και φυτοπροστατευτικών προϊόντων τα οποία περιλαμβάνουν ψευδάργυρο, η εξόρυξη μεταλλευμάτων, η κατασκευή ελαστικών καθώς και η χρησιμοποίηση λάσπης από βιομηχανικές ή αστικές εγκαταστάσεις λυμάτων στις γεωργικές καλλιέργειες, η παραγωγή κραμάτων όπως ο ορύχαλκος, καθώς και η αποτέφρωση αποβλήτων, συντελούν τις βασικές εδαφικές πηγές ρύπανσης από ψευδάργυρο (Μισοπολινός & Οιχαλιώτης, 2015; Παπαδήμου, 2020; Τσούκα, 2021; Χαριζάνη, 2022).

Τα χαρακτηριστικά και οι εδαφικές ιδιότητες (αντίδραση εδάφους, υγρασία, συσσώρευση οργανικής ύλης), μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη συγκέντρωση του ψευδαργύρου στο έδαφος (Χαριζάνη, 2022). Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου στα φυσικά εδάφη, ταλαντεύονται μεταξύ 10 και 300 ppm. Καθώς το εδαφικό pH αυξάνεται, υπάρχει και αύξηση της βιοδιαθεσιμότητας του μεταλλικού στοιχείου, ενώ όταν υπάρχει άνοδος της υγρασίας έχει ανοδική τάση και το ποσοστό συμπλοκοποίησης του ψευδαργύρου με τα οργανικά στοιχεία του εδάφους (Ζώττα, 2018).

2.3.3. Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο, κατατάσσεται στην Ομάδα 12 (II_B) του Περιοδικού Πίνακα και έχει χαρακτηριστικό ασημί – λευκό χρώμα. Είναι μέταλλο, με ατομικό αριθμό (Z) 48, σχετική ατομική μάζα (A_r) 112,41 g/mol, σημείο ζέσης 767 °C, σημείο τήξης 321,07 °C και πυκνότητα 8,65 g/cm³.

Το κάδμιο είναι ένα δηλητήριο που συσσωρεύεται τόσο στον ανθρώπινο όσο και στον ζωικό οργανισμό, γι αυτό έχει γίνει εκτενής μελέτη σχετικά με το βαθμό που εμπεριέχεται στα φυτά και στις φυτικές τροφές (Γκόλια, 2003). Όπως και ο ψευδάργυρος, έτσι και το κάδμιο, δημιουργεί δυσθερή κατιόντα και συναντάται στη φύση σε διαφορετικές ενώσεις, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον μεταξύ αυτών εμφανίζει το θειούχο κάδμιο το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή του κίτρινου χρώματος (Παπαδήμου, 2020). Η χρήση του καδμίου ποικίλει στις βιομηχανίες, αφού χρησιμοποιείται προκειμένου να ρυθμιστεί η ταχύτητα των πυρηνικών αντιδράσεων, στην επικάλυψη του σιδήρου ά άλλων μετάλλων, στη σταθεροποίηση των πλαστικών, στη δημιουργία γεωργικών φαρμάκων και λιπασμάτων, καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρονικών συσσωρευτών. Η χρήση του συγκεκριμένου μετάλλου στη βιομηχανική παραγωγή έχει ελαττωθεί σε διεθνές επίπεδο, διότι προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον (Bradl et al., 2005).

Όπως όλα τα βαρέα μέταλλα, έτσι και το κάδμιο, μετακινείται και ανιχνεύεται στις αστικές περιοχές κυρίως μέσω του αέρα από περιβάλλοντα που είναι σε κοντινή απόσταση από βιομηχανίες παραγωγής χάλυβα και καύσης στερεών αποβλήτων (κυρίως πλαστικών), ορυχεία, χυτήρια, βιομηχανίες επεξεργασίας μετάλλων, περιοχές διάλυσης μπαταριών νικελίου – καδμίου, καταστροφικές πηγές φωτιάς (πυρκαγιά) και άλλες πηγές (Κουκουλάκης κ.ά., 2018). Το κάδμιο, συσσωρεύεται στο έδαφος και στις θαλάσσιες αποθήκες νερού μέσω των κατακρημνίσεων και από αυτές μεταφέρεται σε ολόκληρη την τροφική αλυσίδα (Bradl et al., 2005). Επίσης, τα παρόν μεταλλικό

στοιχείο, έχει την ιδιαιτερότητα να μην κινείται με ευκολία στο έδαφος με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται στα επιφανειακά στρώματα (Κουκουλάκης κ.ά., 2018).

Το κάδμιο, μπορεί να επηρεάσει τον ανθρώπινο οργανισμό, καθώς αλλάζει τον μεταβολισμό του κολλαγόνου, του ασβεστίου και της βιταμίνης D, προκαλώντας έτσι οστεοπόρωση, εξαιτίας της μεγάλης απομάκρυνσης του ασβεστίου μέσω των ούρων (Παπαδήμου, 2020).

2.3.4. Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος, κατατάσσεται στην Ομάδα 14 (IV_A) του Περιοδικού Πίνακα και έχει χαρακτηριστικό κυανόλευκο χρώμα. Είναι μέταλλο, με ατομικό αριθμό (Z) 82, σχετική ατομική μάζα (Ar) 207,2 g/mol, σημείο ζέσης 1740 °C, σημείο τήξης 327,5 °C και πυκνότητα 11,3 g/cm³. Η μέση τιμή του μετάλλου σε εδάφη που δεν είναι ρυασμένα είναι χαμηλότερη από 20 mg/kg (Γκόλια, 2003), παρόλα αυτά όμως έχουν καταγραφεί και πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις εξαιτίας των εκτεταμένων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Ο μόλυβδος, είναι μαλακό και ελατό μέταλλο, έχει κρυσταλλική δομή η οποία είναι μέγιστης πυκνότητας, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται και από μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα (Τσιάκαλη, 2016). Ο μόλυβδος, παρουσιάζει εκτεταμένο χρόνο που εγκαθίσταται στη φύση συγκριτικά με διαφορετικούς ρύπους που βρίσκονται σε αυτή, ενώ παράλληλα έχει την αυξημένη τάση να συσσωρεύεται στο έδαφος διότι εμφανίζει διαλυτότητα σε χαμηλά επίπεδα και δε μπορεί να αποικοδομηθεί με μικροβιακή δραστηριότητα (Γκόλια, 2003). Η εδαφική κατανομή του μετάλλου, διαμορφώνεται ανάλογα από τον τύπο του πετρώματος της γης, το ανάγλυφο του τόπου, το pH, την οξειδοαναγωγική ικανότητα εδάφους καθώς και τη δυνατότητα να ανταλλάσσει κατιόντα, οξείδια αργιλίου και σιδήρου (Κουκουλάκης κ.ά., 2018), ανόργανα και οργανικά εδαφικά στοιχεία (Bradl et al., 2005), καθώς και τη θερμοκρασία όπως και τη βιολογική ενεργότητα των μικροοργανισμών (Παπαδήμου, 2020).

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης του μετάλλου από ατμοσφαιρική απόθεση, προέρχονται από βιομηχανίες επιμετάλλωσης, εκπομπές οχημάτων, εκπομπή σωματιδίων στοιχειακού μολύβδου καθώς και διάφορες διαδικασίες μεθυλίωσής του (Γκόλια, 2003).

Το παρόν μεταλλικό στοιχείο, δε θεωρείται αναγκαίο για τους ζώντες οργανισμούς, ενώ χαρακτηρίζεται ως τοξικό για τα φυτά και τα ζώα (Γκόλια, 2003; Caito & Aschner, 2017). Στην άγρια φύση, στα ζώα και στα φυτά, το μέταλλο αυτό έχει την ιδιότητα να σταματάει προσωρινά διάφορες ενζυμικές λειτουργίες (Παπαδήμου, 2020). Ο μόλυβδος, εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό σε όλες τις ηλικιακές φάσεις και συσσωρεύεται σε αυτό, ενώ αποβάλλεται με εξαιρετικά αργό ρυθμό. Το να προσβληθεί κάποιος από τον μόλυβδο, είναι τεράστιο δημόσιο και περιβαλλοντικό πρόβλημα, αφού δηλητηριάζει πολύ εύκολα τα παιδιά και τους εφήβους, ενώ τα συμπτώματα είναι κυρίως αλλοιώσεις στο αίμα, κακή λειτουργία νευρικού αλλά και αναπαραγωγικού συστήματος (Παπαδήμου, 2020). Το πιο διαδεδομένο μέσο επαφής των παιδιών με το συγκεκριμένο μέταλλο, είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που εισπνέουν και προέρχονται από μοτογιές στον οικείο χώρο (Παπαδήμου, 2020). Τα παιδιά με ηλικία μικρότερη των 6 ετών έχει αποδειχτεί ότι επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη δηλητηρίαση με μόλυβδο, ενώ ακόμη πιο δυσάρεστο είναι ότι δεν έχει εντοπιστεί μέχρι σήμερα οποιοδήποτε επίπεδο ασφάλειας (Bradl et al., 2005), καθώς έχουν την τάση να προσλαμβάνουν από το γαστρεντερικό σύστημα τρεις φορές τη ποσότητα του

μολύβδου συγκριτικά με τους ενήλικες (Caito & Aschner, 2017). Επιπλέον, η ύπαρξη και η ανάπτυξη του εμβρύου επηρεάζονται άμεσα (Bradl et al., 2005), αφού κατά τη περίοδο της κύησης μπορεί να προκληθούν διαφορετικά συμπτώματα στον εγκέφαλο του εμβρύου από την έκθεση στο μόλυβδο συγκριτικά με την έκθεση σε αυτόν την περίοδο της παιδικής ηλικίας (Caito & Aschner, 2017).

Κεφάλαιο 3

Νομοθετικό Πλαίσιο

Με βάση την επιτροπή της Ευρώπης, ελάχιστα κράτη-μέλη έχουν άρτια συντονισμένο νομικό σύστημα το οποίο φροντίζει για την επαναφορά, προστασία αλλά και βιώσιμη εδαφική ανάπτυξη. Το 2019, ο Περιβαλλοντικός Ευρωπαϊκός Οργανισμός, επισήμανε πως, η «απουσία ενός ολοκληρωμένου νομικού συστήματος, θα δημιουργήσει πρόβλημα στην υλοποίηση του Ευρωπαϊκού οράματος για μία βιώσιμη ανάπτυξη και κατά συνέπεια στην περιβαλλοντική προστασία».

Στις μέρες μας, η έλλειψη ειδικής ενωσιακής νομοθεσίας, θεωρείται από τους περισσότερους ως το αίτιο της υποβάθμισης των εδαφών. Οι συνέπειες αυτής της ανησυχητικής υποβάθμισης ξεπερνούν τα όρια της χώρας μας, που έχει ως συνέπεια την παραγκώνιση της εδαφικής υγείας σε ένα κράτος μέλος και αυτό είναι δυνατό να προκαλέσει και σε άλλο κράτος-μέλος δυσμενείς διαταραχές στο περιβάλλον.

3.1. Νομοθεσία Ευρώπης

Η προστασία του εδάφους, συσχετίζεται και με την προστασία διαφορετικών πόρων του περιβάλλοντος, λόγου χάρη το νερό και τον ατμοσφαιρικό αέρα, και καταγράφεται στις παρακάτω οδηγίες-πλαίσια (Δόντα, 2010):

- **Οδηγία 2000/60/EK** προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα και να προληφθεί η ρύπανση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών εξαιτίας της έκλυσης επικίνδυνων στοιχείων ή μεγάλης συγκέντρωσης θρεπτικών από το έδαφος. Συνδέει ταυτόχρονα στόχους που αφορούν την ποιότητα, την ποσότητα και την οικολογία, με απώτερο στόχο τον πλήρη έλεγχο των υδάτινων πόρων και ενσωματώνει καινούριες μεθόδους αντιμετώπισης για την αποφυγή πλημμυρών και ξηρασιών.
- **Οδηγία 91/676/ΕΟΚ** προκειμένου να προστατευτούν να νερά από νιτρορύπανση γεωργικών δραστηριοτήτων, η οποία παρουσιάζει μεθόδους ελέγχου και αποκατάστασης ρυπασμένων εδαφών από προέλευση αζωτούχων ενώσεων. Εκτάσεις που κρίνονται ρυπασμένες εξαιτίας αλόγιστης λίπανσης, καταλήγουν χωρίς αμφιβολία στη ρύπανση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών, όπου θα βοηθήσει στην προστασία του εδάφους η εφαρμογή ορίων αναφορικά με τους Κανόνες Ορθής Γεωργικής Πρακτικής.
- **Οδηγία 2008/50/EK** προκειμένου να διατηρηθεί και να ανακάμψει η ποιότητα του Ευρωπαϊκού ατμοσφαιρικού αέρα και τις οδηγίες-πλαίσια: **1999/30/EK** για τα όρια των τιμών των SO₂, NO_x, PM και Pb του αέρα και **2004/107/EK** για τα όρια των τιμών των As, Cd, Hg, Ni και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στον αέρα. Οι ρύποι που καταγράφονται στην ατμόσφαιρα, φτάνουν στο έδαφος από τις κατακρημνίσεις, δυσχεραίνουν ακόμη περισσότερο γεωργικές εκτάσεις και εδάφη σε αστικούς ιστούς με βαρέα μέταλλα και διάφορους δυνητικούς ρύπους.
- **Οδηγία 86/278/ΕΟΚ** προκειμένου να προστατευτεί το περιβάλλον και ιδιαίτερα το έδαφος κατά τη χρήση της ιλύς καθαρισμού λυμάτων γεωργικής προέλευσης και παρόμοιες οδηγίες-πλαίσια οι οποίες μπορούν να καταλήξουν να προλαμβάνουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις του εδάφους όπως οι οδηγίες: **1999/31/EK** αναφορικά με την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, και, **91/271/ΕΟΚ** αναφορικά με την επεξεργασία των λυμάτων των πόλεων. Η σωστή διαχείριση των αποβλήτων και η

συρρίκνωση της διοχέτευσης ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα κρίνονται καθοριστικά προκειμένου να προληφθεί η ρύπανση του εδάφους.

- **Οδηγία 2004/35/EK** αναφορικά με την περιβαλλοντική ευθύνη σχετικά με την πρόληψη και την αποκατάσταση της ζημιάς του περιβάλλοντος, που λέει ότι αυτός που προκάλεσε την υποβάθμιση του εδάφους, υποχρεούται να πάρει τα ιδανικά μέτρα αποκατάστασης.
- **Οδηγία 2011/92/ΕΕ** αναφορικά με την αξιολόγηση των συνεπειών συγκεκριμένων σχεδίων, τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών περιβαλλοντικών έργων, η οποία κρίνει τις άμεσες και έμμεσες συνέπειες του έργου στο έδαφος.

3.2. Νομοθεσία Ελλάδας

Από ορισμένα ελληνικά νομοθετήματα, κρίνεται εμφανώς σημαντική η ανάγκη που έχει προκύψει, προκειμένου να προστατέψουμε και να λάβουμε μέτρα για το έδαφος και την αποκατάσταση της εδαφικής ρύπανσης. Παρόλα αυτά, η νομοθεσία της χώρας μας, χαρακτηρίζεται ανεπαρκής, αφού δεν θέτονται οι απαιτούμενες παράμετροι και τα κριτήρια τα οποία συνεπάγονται με αυτές, προκειμένου να εκτιμηθεί η εδαφική ρύπανση. Έως τώρα, δεν υφίσταται προσδιορισμός των οριακών τιμών, εξαιρούνται οι οριακές τιμές των βαρέων μετάλλων όταν διατεθεί η ιλύς στο έδαφος. Επίσης, λείπουν πρότυπα αξιολόγησης της επικινδυνότητας, πρακτικές και μέτρα προκειμένου να γίνει παρακολούθηση της ρύπανσης του εδάφους (Intergeo, 2012).

Οι νομοθετικές ρυθμίσεις οι οποίες έχουν λάβει χώρα σε εθνική κλίμακα και σχετίζονται με τη προστασία του εδάφους αναφέρονται παρακάτω (Ζώττα, 2018):

- **Νόμος 1650/1986** αναφορικά με την Περιβαλλοντική Προστασία.
- **ΚΥΑ 26857/553/88**: «Μέτρα και περιορισμοί προκειμένου να προστατευτούν τα υπόγεια ύδατα ως απορροές μερικών τοξικών ουσιών».
- **ΚΥΑ 80568/4225/1991**: «Πρακτικές, προϋποθέσεις και περιορισμοί για τη χρήση της λάσπης στη γεωργία, η οποία είναι αποτέλεσμα επεξεργασίας των αστικών και οικιακών λυμάτων».
- **ΚΥΑ 114218/1997**: «Κατάρτιση πλαισίου προαπαιτούμενων και γενικών προγραμμάτων της διαχείρισης στερεών αποβλήτων».
- **ΚΥΑ 50910/2727/2003**: «Μέτρα και προϋποθέσεις για την αντιμετώπιση των Στερεών Αποβλήτων – Εθνικός και περιφερειακός προγραμματισμός διαχείρισης».
- **ΚΥΑ 13588/725/2006**: Μέτρα, προϋποθέσεις και όρια για τη διαχείριση αποβλήτων που συμμορφώνεται με τις διατάξεις της οδηγίας **91/689/ΕΟΚ** «για τα απόβλητα τα οποία είναι επικίνδυνα» του Συμβουλίου της 12^{ης} του Δεκεμβρίου 1991. Αντικατάστασή της υπ' αριθμ. **19396/1546/1997** κοινή υπουργική απόφαση «Μέτρα και προϋποθέσεις για την διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων» (604 Β).
- **ΚΥΑ 2494/1159/2006**: Έγκριση Γενικών Τεχνικών Προδιαγραφών για τη διαχείριση τοξικών αποβλήτων σχετικά με το άρθρο 5 (παρ. Β) της υπ' αριθμ. **13588/725** κοινή υπουργική απόφαση «Μέτρα, προϋποθέσεις και όρια τοξικών αποβλήτων κ.λπ.» (383 Β) που συμμορφώνεται με τις διατάξεις του άρθρου 7 (παρ. 1) της οδηγίας **91/156/ΕΚ** του Συμβουλίου της 18^{ης} του Μαρτίου 1991.

Κεφάλαιο 4

Βιώσιμη Ανάπτυξη

4.1. Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης και Αστική Αειφορία

Η συνεχώς ανοδική συσσώρευση ατόμων και ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα κέντρα των πόλεων, προκάλεσε την ύπαρξη καινούριων μοντέλων προκειμένου να αναπτυχθεί η βιωσιμότητα. Αδιαμφισβήτητα, για την πληθώρα των περιβαλλοντικών προβλημάτων, ευθύνεται άμεσα και έμμεσα ο αστικός τρόπος ζωής και η ολοένα και αυξανόμενη αστικοποίηση η οποία γίνεται εμφανώς αντιληπτή τα τελευταία χρόνια (Μπαξεβανίδου, 2022). «Παρόλο που πολλά από τα οικονομικά και περιβαλλοντικά μας ζητήματα, έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο, έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπιστούν σε τοπικό και εθνικό επίπεδο» (Viederman, 1993). Η παραπάνω δήλωση, προκάλεσε την αυξημένη ανάγκη για δράση τόσο στον τοπικό όσο και στον ευρύτερο πολιτισμό.

Η σημαντικότητα της γρήγορης κινητοποίησης σε κλίμακα «τοπικότητας», επισημαίνεται και στην «τοπική ατζέντα 21», που ορίστηκαν 4 βασικοί στόχοι προκειμένου να γίνει βιώσιμη η ανάπτυξη των πόλεων (Μπαξεβανίδου, 2022):

1. Η οικονομική ευημερία και η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε μικρές και μεγάλες πόλεις.
2. Η υποστήριξη ισότιμων ευκαιριών, της ομαλής ενσωμάτωσης και ενίσχυσης των μη αναβαθμισμένων αστικών περιοχών.
3. Η προστασία και η αναβάθμιση της περιβαλλοντικής αστικής ποιότητας.
4. Η στήριξη της τοπικής διοίκησης και η συνεισφορά στην καλή διακυβέρνηση των αστικών ιστών.

Η «αστική ατζέντα για την Ε.Ε.», κατανοεί την ύπαρξη των αστικών κέντρων τα οποία είναι αναγκαία για τη βιώσιμη ανάπτυξη σε παγκόσμιο επίπεδο (Χαριζάνη, 2022). Οι τρεις κολόνες της αστικής ατζέντας θεωρούνται «καλύτερη χρηματοδότηση, καλύτεροι κανονισμοί και καλύτερη γνώση» (Urban Agenda, 2022). Η ΕΕ έχει επενδύσει σε ζητήματα αστικής βιωσιμότητας (Ασλανίδης, 2022). Επίσης, στην ΕΕ έχει παρουσιαστεί ο στόχος, να μην διευρυνθούν οι πόλεις αλλά να πυκνοκατοικηθούν, ώστε να μην αποψιλωθούν τα περίπου 30.000 τ.χλμ. γόνιμων εδαφών. Παρόλα αυτά, η ιδέα της πυκνοκατοίκησης, έρχεται σε αντίθεση με την αστική αειφορία, με αποτέλεσμα να δημιουργείται «15-20 λεπτές γειτονιές». Θα δημιουργηθούν δηλαδή, μικρότερες γειτονιές οι οποίες συντελούν αστικά κέντρα όπου οι πολίτες δε θα έχουν ανάγκη τα μέσα μαζικής μεταφοράς ή τα οχήματα για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες τους. Η ιδέα αυτή έχει εφαρμοστεί σε κλίμακα μικρού μεγέθους, για παράδειγμα στο Παρίσι.

Στις μέρες μας, οι ΣΒΑ σε ευρωπαϊκό επίπεδο, θεωρούνται βασική συνισταμένη της νέας Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, που ανήκουν επίσης προγράμματα αποκατάστασης από την πανδημία COVID-19, οδεύοντας σε μία «πράσινη και βιώσιμη ανάπτυξη» για όλα τα κράτη-μέλη (ΥΠΕΝ n.d.).

4.2. Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης και Έδαφος

Η Επιτροπή της Ευρώπης, συμμερίζοντας τη σημαντικότητα των εδαφών στη μείωση της υποβάθμισης των οικοσυστημάτων, επισήμανε πως η εδαφική αλλοίωση εντείνεται όλο και περισσότερο στα κράτη-μέλη. Αυτό θα αποτελούσε αδιαμφισβήτητα

απειλή για το ΣΒΑ 15.3 του ΟΗΕ («μέχρι το 2030, εξάλειψη της απερήμωσης, αποκατάσταση υποβαθμισμένων εκτάσεων μαζί με τα εδάφη που είναι ευάλωτα ως προς την ερημοποίηση, τη ξηρασία αλλά και τις πλημμύρες, δημιουργία ενός κόσμου χωρίς υποβάθμιση των γαιών κι του εδάφους»).

Προκειμένου να εξαλειφθεί αυτή η απειλή, στα όρια της Πράσινης Συμφωνίας της Ευρώπης, το «μοντέλο βιοποικιλότητας με προοπτική το 2030 της ΕΕ» γνωστοποίησε την έγκριση της «Θεματικής στρατηγικής της ΕΕ με στόχο την εδαφική προστασία», προκειμένου να αποκατασταθεί η υποβαθμισμένη γη, καθώς και την πραγματοποίηση των ενωσιακών και διεθνών υποχρεώσεων. Το καινούριο «μοντέλο αναφορικά με το έδαφος με προοπτική το 2030 της ΕΕ», ψηφίστηκε το 2021 και εκφράζει την «πλήρη αποκατάσταση όλων των υποβαθμισμένων εδαφών έως το 2050» και την υπογράμμιση της προστασίας, της επαναφοράς των εδαφών καθώς και της βιώσιμης χρήσης αυτών.

Κεφάλαιο 5

Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρήθηκε ότι η ανάγκη για τεκμηριωμένες και έγκυρες πληροφορίες που αφορούν την κοινωνία, το περιβάλλον και τη γη, έπρεπε να εκσυγχρονιστούν αφού, οι παραδοσιακοί τρόποι συλλογής, εγγραφής, ενημέρωσης και ανάλυσης των πληροφοριών δεν έπιαναν τόπο πλέον (Καρτάλη & Φείδα, 2015). Συγχρόνως, η ταχύτητα εξελισσόμενη διεύρυνση της Πληροφορικής, εμφάνισε καινούριες οπτικές στην εγκυρότητα και στην διασταύρωση της πληροφορίας, χρησιμοποιώντας ως εργαλείο τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Πλέον, οι πληροφορίες ενημερώνονται διαρκώς σε βάσεις δεδομένων, όπου εφαρμόζεται μέσω ακέραιων πληροφοριακών συστημάτων, αποτελεσματική διαχείριση. Η αυτοματοποίηση αυτή, έχει γνωστοποιηθεί στο ευρύ σύνολο (δημόσιο και ιδιωτικό κλάδο), ενώ ολοκληρώνεται με τη χρησιμοποίηση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ) (Παπαδήμου, 2020).

Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα, θεωρούνται ως εργαλείο που μπορούμε να εντάξουμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε καταλόγους, χάρτες και διαγράμματα. Προσφέρει δηλαδή, μία πλήρη τεχνολογία που την καθιστά απαραίτητα τόσο για την ανάλυση όσο και για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με τον άνθρωπο, τη γη και το περιβάλλον (Παπαδήμου, 2020).

Σύμφωνα με την Παπαδήμου (2020), το ΓΠΣ ορίζεται ως «μία καλά οργανωμένη συγκέντρωση εξοπλισμού, λογισμικού, γεωγραφικών δεδομένων και εξειδικευμένου προσωπικού, σχεδιασμένη για να συγκεντρώνει, επιβεβαιώνει, επεξεργάζεται, αποθηκεύει, ενημερώνει και αλλάζει, διαχειρίζεται και ανταλλάσει, ανακτά και παρουσιάζει, αναλύει και συνδυάζει όλους τους τύπους των γεωγραφικών πληροφοριών».

Κεφάλαιο 6

Υλικά και Μέθοδοι

6.1. Περιοχή Μελέτης

Η παρούσα μελέτη έλαβε χώρα στη Λάρισα και πιο αναλυτικά σε περιοχές πρασίνου πλησίον του κέντρου της πόλης. Η Λάρισα, χτίστηκε μεταξύ των δύο οχθών του Πηνειού ποταμού, ενώ ανήκει στη μέση του ανατολικού μέρους του θεσσαλικού κάμπου. Το ύψος της πόλης, εκτιμάται στα 80 m από τη στάθμη της θάλασσας. Επίσης, περικλείεται από τα βουνά Κίτσαβος και Μαυροβούνι, κάτω Όλυμπος και Όλυμπος, Μελούνα και Τίτανος, στα ανατολικά, βορειοανατολικά και βορειοδυτικά αντίστοιχα.

6.2. Πειραματικός Σχεδιασμός

Για την διεκπεραίωση του πειραματικού τμήματος της διπλωματικής εργασίας, λήφθηκαν συγκεκριμένα επιφανειακά δείγματα εδάφους, βάθους 0-20 cm. Το κάθε ένα απεικονιζόμενο σημείο δειγματοληψίας στον χάρτη, είναι σύνθετο και αποτελείται από 4 υπό-δείγματα από περιοχή ακτίνας 1 m.

Προτού να γίνει η συλλογή των δειγμάτων, υπήρξε τουλάχιστον ένα διάστημα δέκα ημερών χωρίς να παρατηρηθούν βροχοπτώσεις. Επίσης, η μέση θερμοκρασία κυμάνθηκε 15-18 βαθμούς Κελσίου για τα χειμερινά δείγματα εδάφους και 32-37 βαθμούς Κελσίου για την καλοκαιρινή δειγματοληψία.

Τα σημεία δειγματοληψίας, βρίσκονται σε κεντρικές πλατείες της Λάρισας, με έντονη δραστηριότητα (πολλούς επισκέπτες, αυξημένη εμπορική δραστηριότητα, μεγάλη κίνηση αυτοκινήτων). Συγκεκριμένα, λήφθηκαν 33 επιφανειακά δείγματα τον Μάιο και 33 τον Σεπτέμβριο του 2022 τα οποία απεικονίζονται στον Χάρτη 1.

Αφού συλλέχθηκαν τα σύνθετα δείγματα, διατέθηκαν προς αεροζήρανση, με σκοπό να εξατμιστεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό από την υγρασία που περιείχαν. Στη συνέχεια, μπήκαν σε κόσκινα των 2 mm, όπου κοσκινίστηκαν και τα εκ νέου δείγματα που προέκυψαν, χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις του εδάφους. Οι αναλύσεις αναγράφονται στους Page et al. (1982).



Χάρτης 1: Χάρτης σύνθετων επιφανειακών δειγμάτων.

6.3. Αναλύσεις

6.3.1. Υπολογισμός Εδαφικού pH

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία για τον προσδιορισμό του εδαφικού pH, υλοποιήθηκε ρύθμιση του οργάνου μέτρησης, με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων που χαρακτηρίζονται από pH 7 και pH 4. Προκειμένου να υπολογιστεί το pH του εδάφους, χρησιμοποιήσαμε έναν ζυγό και μεταφέραμε 10 g εδάφους κάθε σύνθετου δείγματος σε falcon των 50 mL. Στη πορεία, σε κάθε falcon μεταφέραμε 25 mL απιονισμένο νερό, με στόχο την αναλογία 1:2,5 προκειμένου να αναδευτούν στον ανακινητήρα για 10 λεπτά. Στη συνέχεια, για 30 λεπτά τοποθετήθηκαν σε όρθια θέση προκειμένου να υπάρξει κατάσταση ηρεμίας και μετά το πέρας του χρόνου αυτού, με τη βοήθεια της εμβάπτισης του ηλεκτροδίου που περιέχει η ηλεκτρονική συσκευή μέτρησης του pH, μετρήθηκε η τιμή του και καταγράφηκε η ένδειξη που αντιστοιχεί στο κάθε ένα εδαφικό δείγμα.

6.3.2. Υπολογισμός Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC) Εδάφους

Για να υλοποιηθεί η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, χρειάστηκε ένα αγωγιμόμετρο. Στη συνέχεια, ζυγίσαμε σε ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας (0,01 g) μέσα σε falcon των 50 mL, 20 g εδάφους από το κάθε ένα σύνθετο εδαφικό δείγμα. Στη πορεία, σε κάθε falcon βάλαμε 20 mL απιονισμένου νερού, με σκοπό την αναλογία 1:1 και τα ανακινήσαμε στον ανακινητήρα για 20 λεπτά. Μετά το πέρας αυτού του χρόνου, με την εμβάπτιση του ηλεκτροδίου του αγωγιμόμετρου, πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και καταγράφηκε η ένδειξη που αντιστοιχεί στο κάθε ένα

εδαφικό δείγμα. Ως μονάδα μέτρησης των αποτελεσμάτων καθορίσαμε τα millisiemens ανά centimeter (mS/cm).

6.3.3. Υπολογισμός ποσοστού Ανθρακικού Ασβεστίου (CaCO_3) Εδάφους

Προκειμένου να υπολογιστεί το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου από το κάθε δείγμα που πήραμε, βάλαμε περίπου 3 g εδάφους σε κωνική φιάλη των 500 mL, ενώ σε falcon χωρητικότητας 30 mL προσθέσαμε αραιό υδροχλωρικό οξύ και στη πορεία μπήκε προσεκτικά στην κωνική φιάλη με σκοπό να μην έρθει σε επαφή με το υδροχλωρικό οξύ, η ποσότητα του εδάφους. Στην πορεία, βάλαμε στην κωνική φιάλη το πώμα του ασβεστόμετρου και αφού ολοκληρώθηκε με την περιστροφή της βάνας η εξαέρωση της στήλης, καταγράφηκε η τιμή της υδάτινης στήλης σε mL. Έπειτα, το αραιό υδροχλωρικό οξύ, ήρθε με συγκεκριμένο τρόπο σε επαφή με την ποσότητα του εδάφους στην κωνική φιάλη και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μέχρι το τέλος της αντίδρασης, ανάδευση. Με το πέρας της αντίδρασης, καταγράφηκε σε mL και η δεύτερη τιμή της υδάτινης στήλης, η οποία δέχτηκε συμπίεση επειδή είχε εκλυθεί το CO_2 . Η διαφορά που έχει προκύψει μεταξύ της δεύτερης και της πρώτης τιμής, αντιστοιχεί στο συνολικό όγκο του διοξειδίου που εκλύθηκε. Για να υπολογιστεί το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος, χρησιμοποιήσαμε τον τύπο:

$$\% \text{CaCO}_3 = 0,445 \cdot (A/B) \text{ όπου:}$$

A = mL εκλυόμενου CO_2 στο ασβεστόμετρο

B = g εδάφους που ζυγίστηκαν για το αντίστοιχο εδαφικό δείγμα

6.3.4. Ανάλυση Κοκκομετρικής Σύστασης

Για να γίνει υλοποίηση αυτής της ανάλυσης, ζυγίσαμε από το κάθε ένα δείγμα εδάφους 50 g και τοποθετήσαμε τις ποσότητες αυτές σε πλαστικά ποτήρια των 250 mL, ενώ στη πορεία προσθέσαμε 50 mL διασπορικού δείγματος στο καθένα. Στη πορεία ανακινήθηκαν, καλύφθηκαν αεροστεγώς με Parafilm και τοποθετήθηκαν σε θέση ηρεμίας για 24 ώρες.

Μετά το πέρας του χρόνου, τα δείγματα μετακινήθηκαν ποσοτικά σε μηχανικό αναδευτήρα και ανακινήθηκαν για 10 λεπτά (για την ευκολότερη ανάδευση, προσθέσαμε μια μικρή ποσότητα νερού βρύσης). Στην πορεία, τα δείγματα τα βάλαμε σε ογκομετρικούς κυλίνδρους χωρητικότητας ενός λίτρου (1 L) και προσθέσαμε μέχρι τη γραμμή νερό βρύσης και στη συνέχεια αναδεύτηκαν.

Με το πέρας των 40 δευτερολέπτων από την ανάδευση, μετρήσαμε και καταγράψαμε τη θερμοκρασία και την πυκνότητα των διαλυμάτων, με τη βοήθεια του θερμομέτρου και του πυκνόμετρου Βουγιούκου (μέτρηση A – πυκνότητα ιλύος, αφού η

άμμος έχει καθιζάνει). Ύστερα από δύο ώρες, επαναλάβουμε τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της πυκνότητας σε κάθε ένα από τα αιωρήματα (μέτρηση B – πυκνότητα αργίλου, αφού έχει καθιζάνει και η ιλύς).

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας και η καταγραφή αυτών, έγινε για την επίτευξη της διόρθωσης των τιμών της πυκνότητας A και B στη θερμοκρασία αναφοράς που είναι 20 °C. Η διόρθωση θεωρείται απαραίτητη, καθώς επηρεάζει το ιξώδες και κατά συνέπεια το ρυθμό καθίζησης των κλασμάτων του εδάφους.

Η διόρθωση έγινε με τους ακόλουθους τύπους:

$$A'=A+\Sigma\Theta A$$

$$B'=B+\Sigma\Theta B$$

$$\text{Όπου } \Sigma\Theta = (\text{Θερμοκρασία} - \text{Θερμοκρασία Αναφοράς})/2,5$$

Εν τέλει, η ανάλυση της μηχανικής σύστασης του εδάφους, κλείνει με την εκτίμηση των επιμέρους εδαφικών κλασμάτων (άμμος, ιλύς, άργιλος) για κάθε δείγμα, εφαρμόζοντας τις ακόλουθες εξισώσεις:

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

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

$$\text{Άμμος}\% = 100 - (\text{Άργιλος}\% + \text{Ιλύς}\%)$$

Όπου $\Gamma = 50$ g εδάφους (τα οποία χρησιμοποιήσαμε αρχικά)

Αφού προσδιορίσαμε το ποσοστό αργίλου, ιλύς και άμμου, κάναμε χρήση του τρίγωνου Βουγιούκου με σκοπό να προσδιορίσουμε τη σύσταση των δειγμάτων εδάφους.

6.3.5. Εκχύλιση διαθέσιμων ιχνοστοιχείων με DTPA

Πρωτίστως, ζυγίσαμε από κάθε δείγμα εδάφους 20 g σε falcon των 50 mL και στην πορεία προσθέσαμε 40 mL διαλύματος DTPA στο καθένα. Για την Παρασκευή του διαλύματος DTPA (Diethylo-Triamino-Penta-Acetic acid), κάναμε ανάμειξη 9,835 g DTPA, 7,4 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και 74,5 g τριαιθανολαμίνης σε 5 L απιονισμένου νερού. Επίσης, χρησιμοποιήσαμε σταγόνες υδροχλωρικού οξέος για να ρυθμίσουμε το pH του διαλύματος DTPA στο 7,3. Στη συνέχεια, βάλαμε όλα τα δείγματα στον ανακινητήρα για 2 ώρες και μετά την ολοκλήρωση της ανακίνησης, πραγματοποιήθηκε διήθηση σε falcon των 50 mL χρησιμοποιώντας πλαστικά χωνιά και αργά διηθητικά χαρτιά.

Έπειτα, πραγματοποιήσαμε αραίωση 10 φορές των πυκνών διηθημάτων (2,5 mL κάθε διηθήματος, σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL, με μικροπιπέτα και προσθήκη απιονισμένου νερού ως τη χαραγή) και τα μεταφέραμε σε falcon των 25 mL. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με τη χρήση του πυκνού διηθήματος για τον προσδιορισμό του χαλκού, του ψευδάργυρου, του καδμίου και του μόλυβδου.

6.3.6. Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων με Βασιλικό Νερό

Για την υλοποίηση αυτής της ανάλυσης, ζυγίσαμε 2 g εδάφους από το κάθε ένα εδαφικό δείγμα και τα τοποθετήσαμε σε σωλήνες πέψης των 250 mL. Στην πορεία, μεταφέραμε τους σωλήνες σε εξειδικευμένο block μέσα σε απαγωγό αερίων και ύστερα συμπληρώσαμε 15 mL πυκνού υδροχλωρικού οξέος και 5 mL πυκνού νιτρικού οξέος (αναλογία 3:1) και στην πορεία τα πωματίσαμε χρησιμοποιώντας ογκομετρικές φιάλες των 50 mL (προκειμένου να γίνει παγίδευση των αερίων). Εξακολούθησαν να βρίσκονται στον απαγωγό σε κατάσταση ηρεμίας για 1 μέρα. Αυτό, πραγματοποιήθηκε, προκειμένου να εισχωρήσουν τα οξέα σε όλους τους εδαφικούς πόρους, ώστε να γίνει ευκολότερα η διαλυτοποίηση των εδαφικών ορυκτών. Μόλις πέρασαν οι 24 ώρες, υλοποιήθηκε πέψη διάρκειας 1 ώρας και στη συνέχεια θερμάνουμε το block πέψης για 3 ώρες στους 140 °C.

Έπειτα, αφήσαμε τα δείγματα να κρυώσουν και κατόπιν υλοποιήσαμε ποσοτική διήθηση των περιεχομένων των σωλήνων πέψης σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL χρησιμοποιώντας απιονισμένο νερό, πλαστικά χωνιά και διηθητικά χαρτιά, ενώ στη συνέχεια συμπληρώσαμε τις ογκομετρικές φιάλες με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή.

Στο τελικό στάδιο, πραγματοποιήσαμε αραίωση 100 φορές (1 mL κάθε διηθήματος χρησιμοποιώντας μικροπιπέτα, σε ογκομετρικές φιάλες των 100 mL και συμπλήρωση με απιονισμένο νερό ως τη χαραγή). Η μέτρησή τους, πραγματοποιήθηκε με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης, με τη χρήση πυκνού διηθήματος για τον προσδιορισμό των μετάλλων του χαλκού, του ψευδαργύρου, του καδμίου και του μολύβδου.

6.3.7. Στατιστική Επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία, πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το Microsoft Excel 365. Διευκρινίστηκαν τα στατιστικά στοιχεία αναφορικά με τις τελικές τιμές των φυσικοχημικών αναλύσεων (pH, EC) όπως επίσης και για τις ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις των μετάλλων που εξετάστηκαν. Με τη βοήθεια του ίδιου προγράμματος, ταξινομήθηκαν σε κλάσεις τα αποτελέσματα, με στόχο την ευκολότερη ανάγνωσή τους.

6.3.8. Εκτίμηση Επικινδυνότητας για τον Άνθρωπο

Οι μη-καρκινογενείς (non-carcinogenic) και καρκινογενείς (carcinogenic) επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου (ενήλικες και παιδιά), από την έκθεση μέσω της κατάποσης (Ingestion-Ing) και της δερματικής επαφής (Dermal-Derm) στα βαρέα μέταλλα των εδαφικών δειγμάτων, προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο που έχει προταθεί από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA,

1989). Επίσης, μελετήθηκε ένα πλέον δυσμενές σενάριο (worst case scenario) για την εκτίμηση της επικινδυνότητας μέσω της κατάποσης για παιδιά που εμφανίζουν την ψυχολογική διαταραχή της αλλοτριοφαγίας (pica disorder), όπου παρατηρείται εκούσια πρόσληψη μη βρώσιμων ουσιών, όπως το έδαφος και παρουσιάζεται στο 1/3 των παιδιών ηλικίας 1 έως 6 ετών (RFs). Η κατάποση έχει αναγνωριστεί βιβλιογραφικά (RFs) ως η κύρια οδός έκθεσης με τη σημαντικότερη συμβολή στον συνολικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, ένας μέσος ρυθμός κατάποσης αντιστοιχεί σε 137 mg/day (Moya et al., 2004), ενώ έχουν καταγραφεί ποσοστά κατάποσης έως και 1432 mg/day για παιδιά με συμπεριφορά εδαφικής αλλοτριοφαγίας. Από την άλλη πλευρά, η USEPA (2003), συνιστά ρυθμό κατάποσης 100 mg/day για παιδιά 1 έως 6 ετών και τιμή 20 mg/day για παιδιά με αλλοτριοφαγία.

Οι χρόνιες ημερήσιες δόσεις μέσω κατάποσης (CDI_{ing}) και της δερματικής επαφής (CDI_{derm}), προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους αναφορικά με την USEPA (1989) και αφού δέχτηκαν τροποποίηση από τους Antoniadis et al. (2019) και Singh & Kumar (2017):

= _____

Πίνακας 6.3.8.α.: Παράμετροι τύπου CDI_{ing} .

Παράμετροι	Επεξήγηση	Μεταβλητές	Μονάδες	Παιδιά	Ενήλικες
Concentration in soil	Ολική συγκέντρωση του μετάλλου στο έδαφος	Cs	mg μετάλλου/ kg ξηρού εδάφους	-	-
Ingestion Rate of soil	Ρυθμός πρόσληψης	IR	mg/day	1000	100
Conversion Factor	Συντελεστής μετατροπής	CF	kg/mg	10^{-6}	10^{-6}
Exposure Frequency	Συχνότητα έκθεσης	EF	day/year	104	350
Exposure Duration	Διάρκεια έκθεσης	ED	year	6	24
Body Weight	Βάρος σώματος	BW	kg	15	70
Average Time for non-carcinogenic effects	Μέσος χρόνος για μη καρκινογόνες επιδράσεις	AT	day	2190	8760
Average Time for carcinogenic effects	Μέσος χρόνος για καρκινογόνες επιδράσεις	AT	day	-	25,550

= _____

Πίνακας 6.3.8.β.: Παράμετροι τύπου CDI_{derm} .

Παράμετροι	Επεξήγηση	Μεταβλητές	Μονάδες	Παιδιά	Ενήλικες
Concentration in soil	Ψευδο-ολική συγκέντρωση του μετάλλου στο έδαφος	Cs	mg μετάλλου/ kg ξηρού εδάφους	-	-
Conversion Factor	Συντελεστής μετατροπής	CF	kg/mg	1000	100
Skin Area	Επιφάνεια δέρματος	SA	cm ²	2800	5700
Adherence Factor	Συντελεστής προσκόλλησης εδάφους στο δέρμα	AF	mg/cm ²	0.2	0.07
Absorption	Χημική ειδική τιμή	ABS	-	10 ⁻³	10 ⁻³
Exposure Time	Χρόνος έκθεσης	ET	hour/day	1	1
Exposure Frequency	Συχνότητα έκθεσης	EF	day/year	104	350
Exposure Duration	Διάρκεια έκθεσης	ED	year	6	24
Body Weight	Βάρος σώματος	BW	kg	15	70
Average Time for non-carcinogenic effects	Μέσος χρόνος για μη καρκινογόνες επιδράσεις	AT	day	2190	8760
Average Time for carcinogenic effects	Μέσος χρόνος για καρκινογόνες επιδράσεις	AT	day	-	25,550

Ο συντελεστής επικινδυνότητας HQ (Hazard Quotient) μέσω της κατάποσης (HQ_{ing}) και της δερματικής επαφής (HQ_{derm}), προσδιορίστηκε με τη βοήθεια των ακόλουθων εξισώσεων (Singh & Kumar, 2017):

= _____

= _____

Όπου:

- **RfD_{ingestion}** και **RfD_{dermal}**: οι δόσεις αναφοράς (Reference Dose) για κάθε μέταλλο για την κατάποση και τη δερματική επαφή αντίστοιχα,
- **CDI_{ingestion}** και **CDI_{dermal}**: η χρόνια ημερήσια πρόσληψη (Chronic Daily Intake) του μετάλλου μέσω κατάποσης και δερματικής επαφής αντίστοιχα.

Ως δόσεις αναφοράς, ορίζεται ο βαθμός της έκθεσης κάτω από τον οποίο αποκλείεται να παρουσιαστούν θέματα υγείας ακόμη και στις πιο ευάλωτες ομάδες ανθρώπων. Στην περίπτωση που το ηλικίο HQ είναι μεγαλύτερο της μονάδας, τότε, ο κίνδυνος είναι μεγάλος και η έκθεση στα μέταλλα είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην υγεία. Ισχύει ότι, όσο πιο αυξημένη είναι η τιμή HQ, τόσο πιο μεγάλος είναι και ο βαθμός ανησυχίας. Ενώ από την άλλη, στην περίπτωση που το ηλικίο HQ είναι πιο μικρό της μονάδας, τότε ο κίνδυνος και οι συνέπειες, κρίνονται αμελητέα (Singh & Kumar, 2017).

Οι δόσεις αναφοράς για κάθε μέταλλο και κάθε οδό είναι οι εξής (de Miguel et al., 2007):

Πίνακας 6.3.8.γ.: Δόσεις αναφοράς για κάθε μέταλλο και οδό.

Βαρέα Μέταλλα	RfD_{ingestion} (mg/kg ημερησίως)	RfD_{dermal} (mg/kg ημερησίως)
Χαλκός (Cu)	0.04	0.012
Ψευδάργυρος (Zn)	0.3	0.06
Κάδμιο (Cd)	0.001	0.00001
Μόλυβδος (Pb)	0.0035	0.000525

Ο δείκτης επικινδυνότητας (Hazard Index-HI), προσδιορίστηκε σύμφωνα με την USEPA (1989), σαν το άθροισμα των συντελεστών επικινδυνότητας μέσω κατάποσης (HQ_{ing}) και της δερματικής επαφής (HQ_{derm}), εφαρμόζοντας την παρακάτω εξίσωση:

=

Όπου:

- **HI**: ο δείκτης επικινδυνότητας
- **i**: το HQ κάθε μετάλλου

Κεφάλαιο 7

Αποτελέσματα – Συζήτηση

7.1. Φυσικοχημικές Ιδιότητες Εδαφικών δειγμάτων – Μάιος 2022

Στον Πίνακα 7.1, απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εδαφικών δειγμάτων που αναλύθηκαν ως προς τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους. Τα αποτελέσματα αφορούν τα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν το Μάιο του 2022, από περιοχές πρασίνου της πόλης της Λάρισας, δηλαδή από πάρκα, πλατείες και από παρτέρια που υπάρχουν στον κεντρικό ιστό της πόλης.

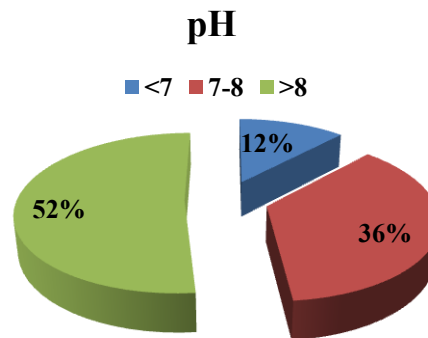
Πίνακας 7.1: Φυσικοχημικές ιδιότητες εδαφικών δειγμάτων.

	pH	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ανθρακικό Ασβέστιο (CaCO_3)(%)	Άργιλος (%)
Ελάχιστη Τιμή (min)	6,6	105,6	5,3	13,3
Μέγιστη Τιμή (max)	8,9	355,9	8,7	29,0
Μέση Τιμή (average)	7,9	257,0	6,3	19,3
Τυπική Απόκλιση (standard deviation)	0,56	68,97	0,73	3,19

Οι μέσες τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφικών δειγμάτων, τέθηκαν σε σύγκριση με αντίστοιχες τιμές σε άλλες έρευνες που έλαβαν χώρα σε άλλες πόλεις τις Θεσσαλίας και της Κεντρικής Μακεδονίας.

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που έδειξε η έρευνα της Παπαδήμου (2020) στην πόλη του Βόλου, παρατηρείται μία διαφορά της τάξης 1,3 στη μέση τιμή του pH, ενώ συγκριτικά με τα αποτελέσματα της έρευνας της Χαριζάνη (2022) στη Θεσσαλονίκη, η διαφορά είναι εμφανώς μικρότερη με τη Λάρισα να περνά τη Θεσσαλονίκη με 0,5 μονάδες. Σε μία πιο πρόσφατη μελέτη της Θεσσαλονίκης, που πραγματοποίησε η Κάντζου (2024), παρατηρήθηκε ότι υπήρξε αύξηση της μέσης τιμής του pH αφού έφτασε το 8,3. Σε ότι αφορά τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η πόλη της Λάρισας παρουσιάζει τη μικρότερη μέση τιμή σε σχέση με τις πόλεις του Βόλου και της Θεσσαλονίκης, ενώ σημειώνει επίσης και το μικρότερο ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου συγκριτικά με την πόλη του Βόλου (Παπαδήμου, 2020), αφού η μέση τιμή αυτού ανέρχεται στο 20,5% ενώ στην παρούσα εργασία είναι μόλις 6,3%, καθώς και με την πόλη της Θεσσαλονίκης που η μέση τιμή του είναι 8,9% (Κάντζου, 2024). Από την άλλη, παρατηρείται μεγάλη διαφορά αναφορικά με το ποσοστό της μέσης τιμής της αργίλου, αφού στον Βόλο (Παπαδήμου, 2020) είναι 5,8% ενώ στην πόλη της Λάρισας ξεπερνά το 19%. Όσον αφορά την πόλη της Θεσσαλονίκης (Κάντζου, 2024), το ποσοστό της αργίλου πλησιάζει της Λάρισας αφού είναι 15,9%.

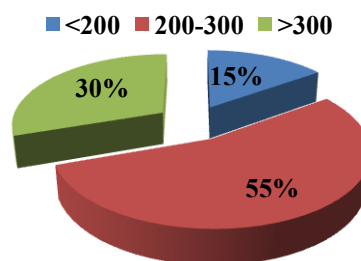
Στο Σχήμα 7.1.1., παρουσιάζονται οι τρεις κλίμακες του pH οι οποίες εντοπίστηκαν στα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν τον Μάιο. Το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων (17 από τα 33), είχε τιμή pH μεγαλύτερη του 8 με ποσοστό 52%, ενώ η μέγιστη τιμή δε ξεπέρασε το 8,9.



Σχήμα 7.1.1.: Καταμερισμός του εδαφικού pH.

Στο Σχήμα 7.1.2., παρουσιάζονται οι τρεις κλίμακες των τιμών της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) των δειγμάτων. Παρατηρήθηκαν σχετικά μεγάλες διακυμάνσεις, αφού στο μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων με ποσοστό 55% (18 από τα 33), οι τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 200-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

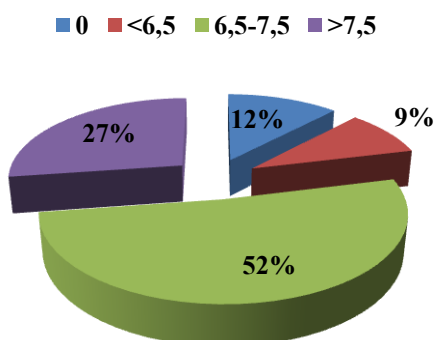
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



Σχήμα 7.1.2.: Καταμερισμός της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Στο Σχήμα 7.1.3., παρουσιάζονται οι τέσσερις κλίμακες του ανθρακικού ασβεστίου οι οποίες εντοπίστηκαν στα δείγματα στη χειμερινή δειγματοληψία. Το μεγαλύτερο ποσοστό, 52% (17 από τα 33 δείγματα), διαπιστώθηκε ποσοστό μεταξύ 6,5% και 7,5%. Επίσης, παρατηρείται ότι σε από τα 33 δείγματα το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου είναι μηδενικό. Αυτό συμβαίνει διότι, στα συγκεκριμένα δείγματα η τιμή του pH ήταν μικρότερη του 7.

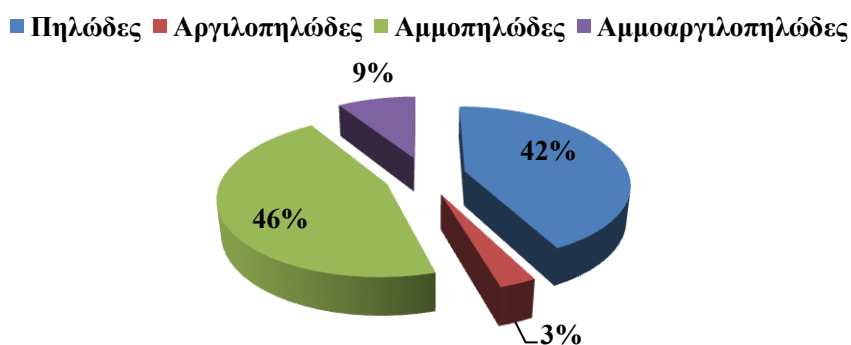
Ανθρακικό Ασβέστιο CaCO_3 (%)



Σχήμα 7.1.3.: Καταμερισμός του εδαφικού ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3).

Στο Σχήμα 7.1.4. παρουσιάζονται οι τέσσερις διαφορετικοί τύποι εδάφους που εντοπίστηκαν στα εδαφικά δείγματα που συλλέχθηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο. Η πλειοψηφία των δειγμάτων, συγκαταλέγεται στα αμμοπηλώδη και πηλώδη εδάφη με ποσοστά 46% και 42% αντίστοιχα.

Σύσταση Εδάφους (%)



Σχήμα 7.1.4.: Εδαφική σύσταση (%).

7.2. Συγκεντρώσεις Βαρέων Μετάλλων – Μάιος 2022

Στον Πίνακα 7.2.α, απεικονίζονται οι διαθέσιμες προς το φυτό συγκεντρώσεις οι οποίες προσδιορίστηκαν στα δείγματα εδάφους αναφορικά με τα μέταλλα που εξετάστηκαν (Cu, Zn, Cd, Pb).

Πίνακας 7.2.α: Διαθέσιμες συγκεντρώσεις Cu, Zn, Cd, Pb δειγματοληψίας Μαΐου.

	Cu DTPA	Zn DTPA	Pb DTPA	Cd DTPA
	mg/kg ξηρού εδάφους			μg/kg ξηρού εδάφους
Ελάχιστη Τιμή (min)	3,16	5,68	2,90	5,74
Μέγιστη Τιμή (max)	5,54	10,53	5,10	10,64
Μέση Τιμή (average)	4,57	8,39	4,20	8,53
Τυπική Απόκλιση (standard deviation)	0,55	1,19	0,51	1,25

Συγκριτικά με την πόλη του Βόλου (Παπαδήμου, 2020), διαπιστώνουμε ότι οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις του χαλκού κατά μέσο όρο είναι μεγαλύτερες στην πόλη της Λάρισας. Από την άλλη, οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου και του μολύβδου παρατηρείται ότι είναι μεγαλύτερες στην πόλη του Βόλου σύμφωνα με την Παπαδήμου (2020), ενώ όσον αφορά τις μέσες τιμές των διαθέσιμων συγκεντρώσεων του καδμίου, παρατηρείται ότι είναι ανεβασμένες στη περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας συγκριτικά με τον Βόλο (Παπαδήμου, 2020).

Στον Πίνακα 7.2.β, απεικονίζονται οι ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις στα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο, αναφορικά με τα μέταλλα που εξετάστηκαν (Cu, Zn, Cd, Pb).

Πίνακας 7.2.β: Ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις Cu, Zn, Cd, Pb δειγματοληψίας Μαΐου.

	Cu_{AquaRegia}	Zn_{AquaRegia}	Pb_{AquaRegia}	Cd_{AquaRegia}
	mg/kg ξηρού εδάφους			μg/kg ξηρού εδάφους
Ελάχιστη Τιμή (min)	32,20	57,96	29,62	58,54
Μέγιστη Τιμή (max)	56,0	106,40	51,52	107,46
Μέση Τιμή (average)	46,32	85,12	42,62	86,49
Τυπική Απόκλιση (standard deviation)	5,42	11,75	4,99	12,31

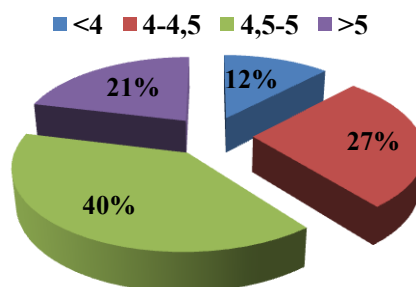
Οι μέσες τιμές των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων των μετάλλων που εξετάστηκαν, τέθηκαν σε σύγκριση με αντίστοιχες τιμές από μελέτες οι οποίες έγιναν στην αστική περιοχή του Βόλου. Οι μέσες τιμές των μετάλλων του χαλκού και του καδμίου, βρέθηκαν να είναι μεγαλύτερες στην πόλη της Λάρισας, ενώ οι μέσες τιμές των μετάλλων του ψευδαργύρου και του μολύβδου είναι σε χαμηλότερα επίπεδα αναφορικά με την πόλη του Βόλου (Παπαδήμου, 2020).

7.2.1. Χαλκός (Cu)

Στο Σχήμα 7.2.1.α, παρουσιάζεται ο καταμερισμός σε τέσσερις κλίμακες της διαθέσιμης συγκέντρωσης του Cu, που εντοπίστηκε στο μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων η διαθέσιμη συγκέντρωση να κυμαίνεται μεταξύ 4,5 και 5 mg/kg. Ενώ

ποσοστό 21%, παρουσίασε συγκέντρωση πιο μεγάλη από 5 mg/kg. Σε σύγκριση με την έρευνα της Παπαδήμου (2020) και την πόλη του Βόλου, η διαθέσιμη συγκέντρωση που χαρακτηρίζει το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων, είναι μεταξύ 1 και 2 mg/kg, ενώ η κλίμακα κατανομής είναι ίδια με την πόλη της Λάρισας.

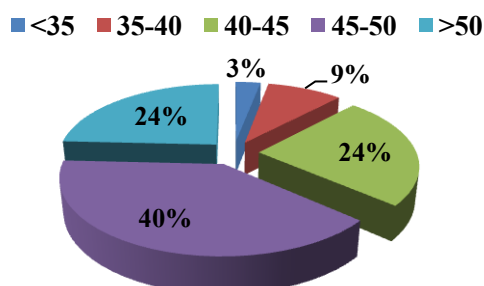
Διαθέσιμες Συγκεντρώσεις Cu (mg/kg)



Σχήμα 7.2.1.α: Καταμερισμός της διαθέσιμης εδαφικής συγκέντρωσης Cu (mg/kg).

Στο Σχήμα 7.2.1.β, απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του Cu, καθώς και το ποσοστό που αντιστοιχεί στην κάθε μία. Το μεγαλύτερο μέρος των εδαφικών δειγμάτων (40%, 13 από τα 33), εντοπίστηκε να έχει τιμή συγκέντρωσης Cu ανάμεσα από 45 έως 50 mg/kg. Ενώ ποσοστό 24% (8 από τα 33), εντοπίστηκε να έχει περιεκτικότητα χαλκού πιο μεγάλη από 50 mg/kg εδάφους, με οριακή τιμή τα 140 mg/kg η οποία καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Παρατηρείται λοιπόν, πως οι συγκεντρώσεις του Cu οι οποίες είναι στον αστικό ιστό της Λάρισας, την περίοδο του χειμώνα, είναι μεγαλύτερες από εκείνες του Βόλου σύμφωνα με τις τιμές της έρευνας η οποία διεξήχθη το 2019 (Παπαδήμου, 2020), αφού μόλις το 13,6% (3 από τα 22 δείγματα), εμφανίζουν περιεκτικότητα χαλκού μεγαλύτερη των 30 mg/kg. Από την άλλη, σύμφωνα με την Κάντζου (2024) και την έρευνα που πραγματοποίησε στις περιοχές πρασίνου της Θεσσαλονίκης, παρατηρούμε ότι με μεγαλύτερο ποσοστό της τάξης 54% επικράτησαν τα δείγματα που είχαν ψευδο-ολική συγκέντρωση χαλκού 30 έως 80 mg/kg, ενώ ακολούθησαν με ποσοστό 18,4% δείγματα να εμφανίζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη των 80 mg/kg.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Cu (mg/kg)

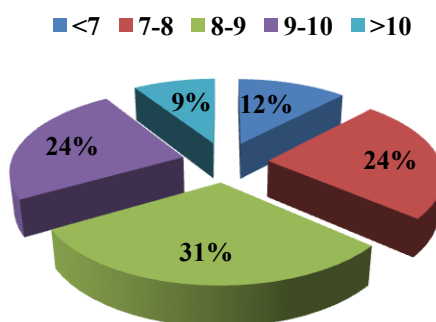


Σχήμα 7.2.1.β: Καταμερισμός της ψευδο-ολικής εδαφικής συγκέντρωσης Cu (mg/kg).

7.2.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Στο Σχήμα 7.2.2.α, παρουσιάζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες της διαθέσιμης συγκέντρωσης του ψευδαργύρου, που βλέπουμε πως το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων με ποσοστό 31% (10 από τα 33), έχουν διαθέσιμη συγκέντρωση Zn μεταξύ 8 και 9 mg/kg. Επίσης, παρατηρούμε ότι με ποσοστό 9%, δηλαδή 3 από τα 33 δείγματα, έχουν διαθέσιμη συγκέντρωση μεγαλύτερη των 10 mg/kg. Συγκριτικά με τις διαθέσιμες συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου (Zn) στην πόλη του Βόλου (Παπαδήμου, 2020), ότι το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων (318%) έχει διακύμανση μεταξύ 1 και 5 mg/kg, εμφανώς χαμηλότερες από αυτές της Λάρισας, ενώ το ποσοστό 27,3% των δειγμάτων (6 από 22), ξεπερνά την τιμή των 15 mg/kg, που είναι φανερά μεγαλύτερο σε σχέση με τα δεδομένα της Λάρισας.

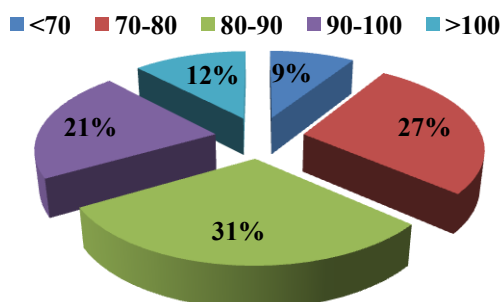
Διαθέσιμες Συγκεντρώσεις Zn (mg/kg)



Σχήμα 7.2.2.α: Καταμερισμός της διαθέσιμης εδαφικής συγκέντρωσης Zn (mg/kg).

Στο Σχήμα 7.2.2.β, απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του Zn, καθώς και το ποσοστό που ανήκει στην κάθε μία. Με ποσοστό 12% (4 από τα 33), παρατηρήθηκε ότι έχουν την μεγαλύτερη περιεκτικότητα που ξεπερνά τα 100 mg/kg αλλά, συγχρόνως, είναι πολύ μικρότερη από αυτή που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, τα 300 mg/kg. Συγκριτικά με την πόλη του Βόλου και τη μελέτη που πραγματοποίησε η Παπαδήμου (2020), οι ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις του μετάλλου είναι εμφανώς μικρότερες στην Λάρισα, αφού οι μέσες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 80 και 90 mg/kg, ενώ στον Βόλο το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων ξεπερνά τα 150 mg/kg. Από την άλλη, σύμφωνα με την μελέτη που πραγματοποίησε η Κάντζου (2024) στη Θεσσαλονίκη, το μεγαλύτερο ποσοστό (42,5%) είναι μικρότερο των 100 mg/kg, ενώ υπάρχει και ένα ποσοστό της τάξης 5,7% που ξεπερνά το όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Zn (mg/kg)

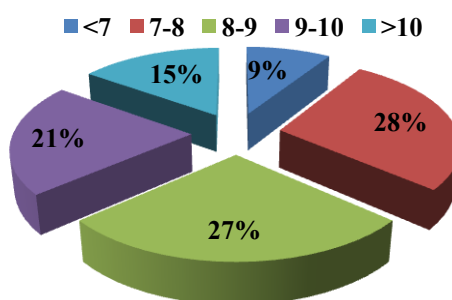


Σχήμα 7.2.2.β: Καταμερισμός της ψευδο-ολικής εδαφικής συγκέντρωσης Zn (mg/kg).

7.2.3.Κάδμιο (Cd)

Στο Σχήμα 7.2.3.α, παρουσιάζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες της διαθέσιμης συγκέντρωσης του καδμίου, που βλέπουμε πως το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων με ποσοστό 28%, κυμαίνεται μεταξύ 7 και 8 $\mu\text{g/kg}$, ενώ ακολουθούν με 27% και 21% δείγματα με διαθέσιμες συγκεντρώσεις Cd, 8 έως 9 $\mu\text{g/kg}$ και 9 έως 10 $\mu\text{g/kg}$ αντίστοιχα. Τα δείγματα με διαθέσιμη συγκέντρωση του μετάλλου να είναι μεγαλύτερη των 10 $\mu\text{g/kg}$, αποτελούν μόλις το 15% των συνολικών δειγμάτων εδάφους (5 από τα 33). Συγκριτικά με τον Βόλο, σύμφωνα με την Παπαδήμου (2020), το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων με 59,1% κυμάνθηκε μεταξύ 3 έως 5 $\mu\text{g/kg}$, ενώ μόλις το 4,5% επί των δειγμάτων, ξεπέρασε τη διαθέσιμη συγκέντρωση του Cd των 20 $\mu\text{g/kg}$. Με βάση το μεγαλύτερο ποσοστό των δύο πόλεων, καταλαβαίνουμε ότι η Λάρισα έχει μεγαλύτερες τιμές διαθέσιμων συγκεντρώσεων του καδμίου.

Διαθέσιμες Συγκεντρώσεις Cd ($\mu\text{g/kg}$)

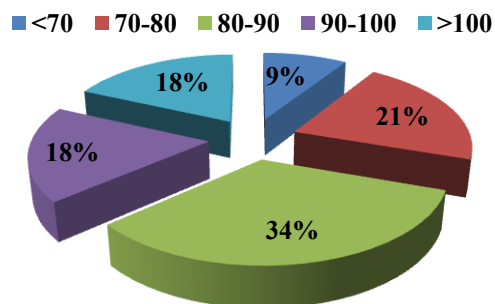


Σχήμα 7.3.2.α: Καταμερισμός της διαθέσιμης εδαφικής συγκέντρωσης Cd ($\mu\text{g/kg}$).

Στο Σχήμα 7.2.3.β, απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του Cd και το ποσοστό το οποίο αντιστοιχεί στην κάθε μία. Το

ποσοστό της τάξης 34% (11 από τα 33 δείγματα), παρουσιάζει συγκέντρωση μεταξύ 80 και 90 $\mu\text{g/kg}$. Το 18% (6 από τα 33 δείγματα), παρουσιάζουν συγκέντρωση που υπερβαίνει τα 100 $\mu\text{g/kg}$, η οποία όμως είναι πιο μικρή από εκείνη των 3 mg/kg , την οποία καθόρισε η Ευρωπαϊκή Ένωση. Συγκριτικά με τον Βόλο (Παπαδήμου, 2020), παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (50%), αποτελεί δείγματα περιεκτικότητας 50 έως 75 $\mu\text{g/kg}$, ενώ συγκριτικά με τη Θεσσαλονίκη (Κάντζου, 2024), παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (36,8%) των συγκεντρώσεων του Cd, υπερβαίνει την τιμή των 1000 $\mu\text{g/kg}$. Παρόλα αυτά, καμία πόλη δε ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Cd ($\mu\text{g/kg}$)

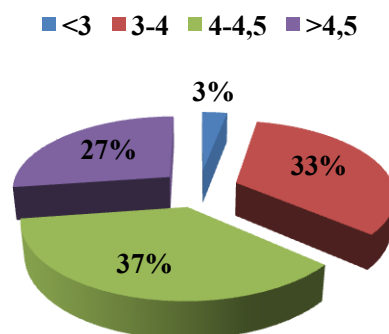


Σχήμα 7.2.3.β: Καταμερισμός της ψευδο-ολικής εδαφικής συγκέντρωσης Cd ($\mu\text{g/kg}$).

7.2.4. Μόλυβδος (Pb)

Στο Σχήμα 7.2.4.α, παρουσιάζεται ο καταμερισμός σε τέσσερις κλίμακες της διαθέσιμης συγκέντρωσης του μολύβδου, που βλέπουμε πως το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων με ποσοστό 37% (12 από τα 33), έχει διαθέσιμη συγκέντρωση μεταξύ 4 και 4,5 mg/kg . Από την άλλη, τα 9 από τα 33 δείγματα εδάφους με ποσοστό 27%, παρουσιάζουν συγκέντρωση μεγαλύτερη των 4,5 mg/kg .

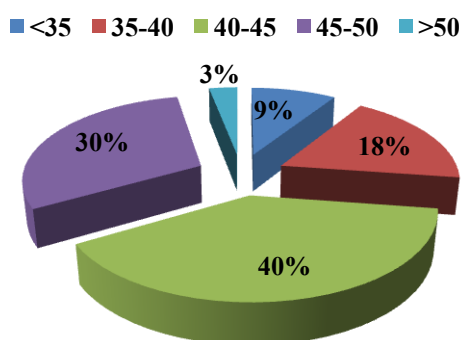
Διαθέσιμες Συγκεντρώσεις Pb (mg/kg)



Σχήμα 7.2.4.α: καταμερισμός της διαθέσιμης εδαφικής συγκέντρωσης Pb (mg/kg).

Στο Σχήμα 7.2.4.β, απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του μολύβδου και το ποσοστό το οποίο αντιστοιχεί στην κάθε μία. Το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων με ποσοστό 40% (13 από τα 33 δείγματα εδάφους), έχουν συγκέντρωση που κυμαίνεται μεταξύ 40 και 45 mg/kg, ενώ μόλις το 3% το οποίο αντιστοιχεί σε ένα μόνο δείγμα από τα 33, παρουσιάζει συγκέντρωση μεγαλύτερη των 50 mg/kg. Συγκριτικά με τον Βόλο (Παπαδήμου, 2020), παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων με ποσοστό 31,8% (7 από τα 22), παρουσιάζουν ψευδο-ολική συγκέντρωση μικρότερη των 50 mg/kg, ενώ το 18,2% (4 από τα 22 δείγματα), ξεπερνά τα 125 mg/kg, που είναι όμως μικρότερη των 300 mg/kg που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση ως οριακή τιμή της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του μετάλλου. Συγκριτικά με τη Θεσσαλονίκη (Κάντζου, 2024), παρατηρήσαμε πως το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων με ποσοστό 36,8%, παρουσιάζει συγκέντρωση 20 έως 50 mg/kg, ενώ το 28,7% των δειγμάτων είχε συγκέντρωση μεγαλύτερη των 50 mg/kg. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως οι ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις του Pb οι οποίες είναι στον αστικό ιστό της Λάρισας, είναι χαμηλές.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Pb (mg/kg)



Σχήμα 7.2.4.β: Καταμερισμός της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης Pb (mg/kg).

7.3. Εκτίμηση Επιπτώσεων στην Ανθρώπινη Υγεία – Μάιος 2022

7.3.1. Χαλκός (Cu)

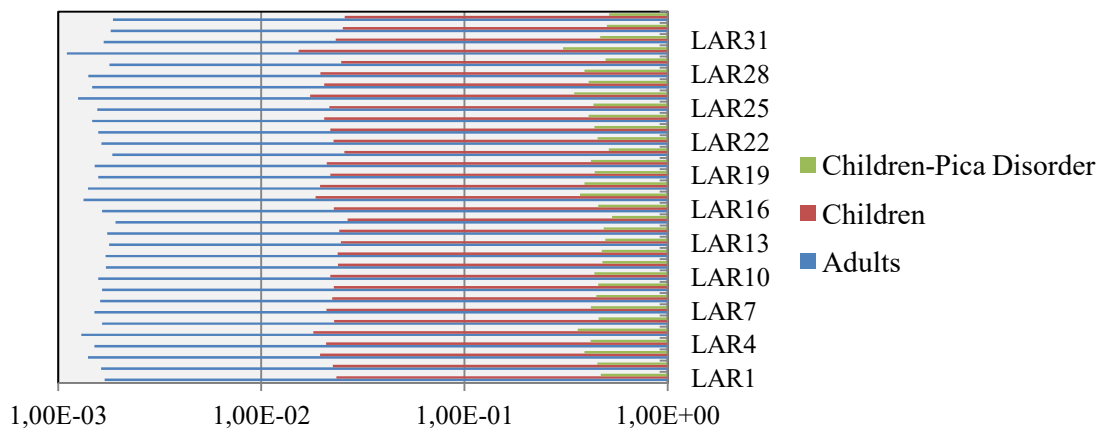
Στην παρούσα μελέτη προσδιορίστηκε η μέση προσλαμβανόμενη ημερήσια δόση (CDI_{ing}) και ο συντελεστής επικινδυνότητας (HQ_{ing}) μέσω της κατάποσης για ενήλικες και παιδιά για κάθε θέση δειγματοληψίας κατά την χειμερινή περίοδο. Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για το χαλκό κυμαίνονται από $4,41E-05$ mg/kg ημερησίως έως $7,67E-05$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $6,34E-05$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται υψηλότερες δόσεις με εύρος από $6,12E-04$ mg/kg ημερησίως έως $1,06E-03$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $8,80E-04$ mg/kg ημερησίως. Σημαντικά υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή $1,76E-02$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.3.1.α) κυμαίνονται από $1,10E-03$ έως $1,92E-03$ (μέση τιμή $1,59E-03$) για του ενήλικες, $1,53E-$

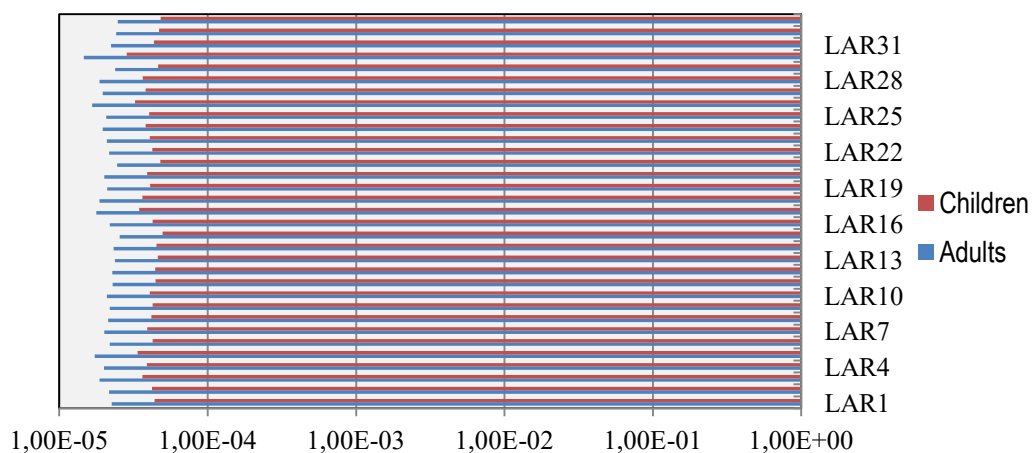
02 έως $2,66E-02$ (μέση τιμή $2,20E-02$) για τα παιδιά, ενώ τιμές μεταξύ $3,06E-01$ έως $5,32E-01$ (μέση τιμή $4,40E-01$) προσδιορίστηκαν για παιδιά με αλλοτριοφαγία. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές HQ_{ing} για το χαλκό είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1) υποδεικνύοντας χαμηλή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία, με εξαίρεση τις τιμές που προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη το πλέον δυσμενές σενάριο της αλλοτριοφαγίας, όπου οι τιμές του HQ_{ing} πλησιάζουν το όριο του 1, υποδεικνύοντας πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών που παρουσιάζουν αυτή τη διαταραχή.

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του χαλκού, κυμαίνονται από $1,76E-07$ mg/kg ημερησίως έως $3,06E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $2,53E-07$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται λίγο υψηλότερες δόσεις με εύρος από $3,43E-07$ mg/kg ημερησίως έως $5,96E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $4,93E-07$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικής επαφής (Διάγραμμα 7.3.1.β) κυμαίνονται από $1,47E-05$ έως $2,55E-05$ (μέση τιμή $2,11E-05$) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ $2,85E-05$ έως $4,96E-05$ (μέση τιμή $4,11E-05$) για παιδιά. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε, οι τιμές HQ_{derm} για το χαλκό είναι πολύ χαμηλές και απέχουν κατά πολύ από τη μονάδα, με αποτέλεσμα η επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία να θεωρείται αμελητέα.



Διάγραμμα 7.3.1.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Cu.



Διάγραμμα 7.3.1.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Cu.

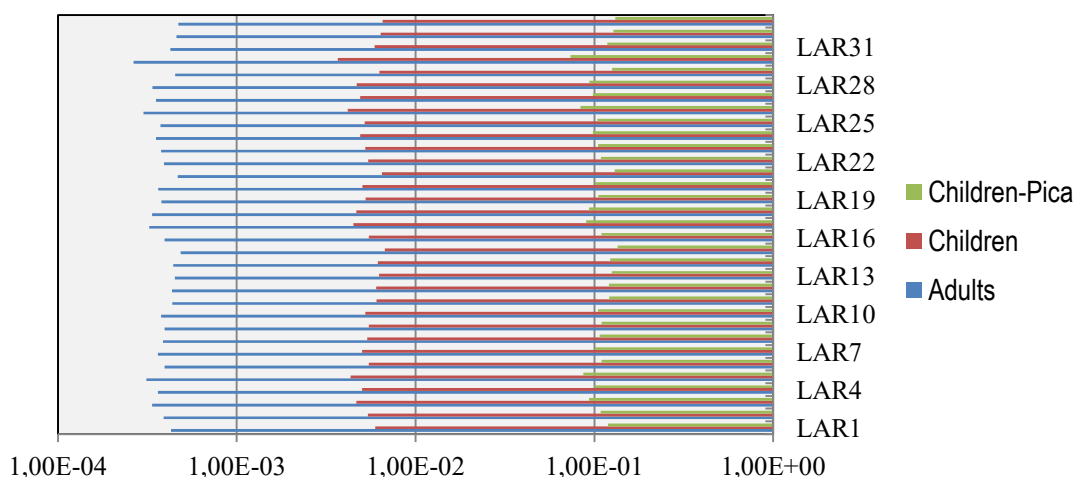
7.3.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για τον ψευδάργυρο κυμαίνονται από $7,94E-05$ mg/kg ημερησίως έως $1,46E-04$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $1,17E-04$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται υψηλότερες δόσεις με εύρος από $1,10E-03$ mg/kg ημερησίως έως $2,02E-03$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $1,62E-03$ mg/kg ημερησίως. Σημαντικά υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή $3,23E-02$ mg/kg ημερησίως.

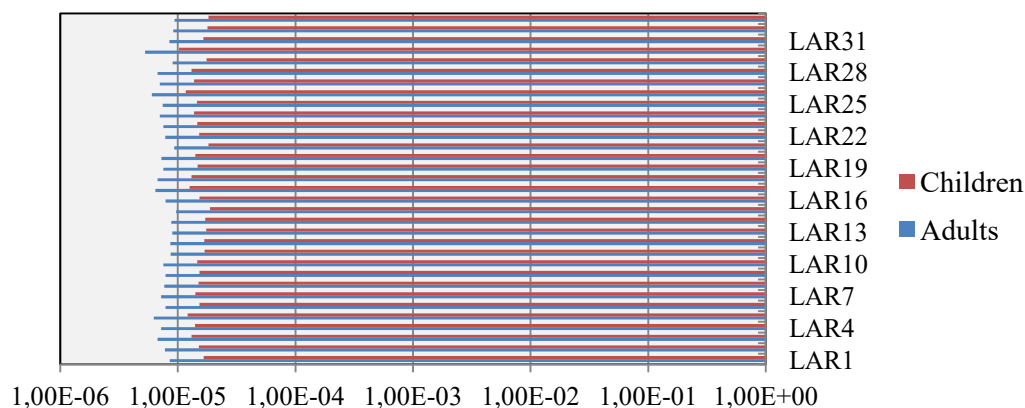
Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.3.2.α) κυμαίνονται από $2,65E-04$ έως $4,86E-04$ (μέση τιμή $3,89E-04$) για τους ενήλικες, $3,67E-03$ έως $6,74E-03$ (μέση τιμή $5,39E-03$) για τα παιδιά, ενώ τιμές μεταξύ $7,34E-02$ έως $1,35E-01$ (μέση τιμή $1,08E-01$) προσδιορίστηκαν για παιδιά με αλλοτριοφαγία. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές HQ_{ing} για τον ψευδάργυρο είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1) υποδεικνύοντας χαμηλή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία, με εξαίρεση τις τιμές που προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη το πιο δυσμενές σενάριο, αυτό της αλλοτριοφαγίας, όπου οι τιμές HQ_{ing} είναι αρκετά κοντά στο όριο του 1, υποδεικνύοντας πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών που παρουσιάζουν αυτή τη διαταραχή.

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του ψευδαργύρου, κυμαίνονται από $3,17E-07$ mg/kg ημερησίως έως $5,82E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $4,65E-07$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται ελάχιστα υψηλότερες δόσεις με εύρος από $6,17E-07$ mg/kg ημερησίως έως $1,13E-06$ mg/kg ημερησίως και μέση τιμή $9,05E-07$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικής επαφής (Διάγραμμα 7.3.2.β) κυμαίνονται από $5,28E-06$ έως $9,69E-06$ (μέση τιμή $7,75E-06$) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ $1,03E-05$ έως $1,89E-05$ (μέση τιμή $1,51E-05$) για παιδιά. Διαπιστώνουμε επομένως, ότι οι τιμές HQ_{derm} για τον ψευδάργυρο είναι σημαντικά χαμηλότερες από τη μονάδα (<1), υποδεικνύοντας αμελητέα επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία.



Διάγραμμα 7.3.2.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Zn.



Διάγραμμα 7.3.2.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Zn.

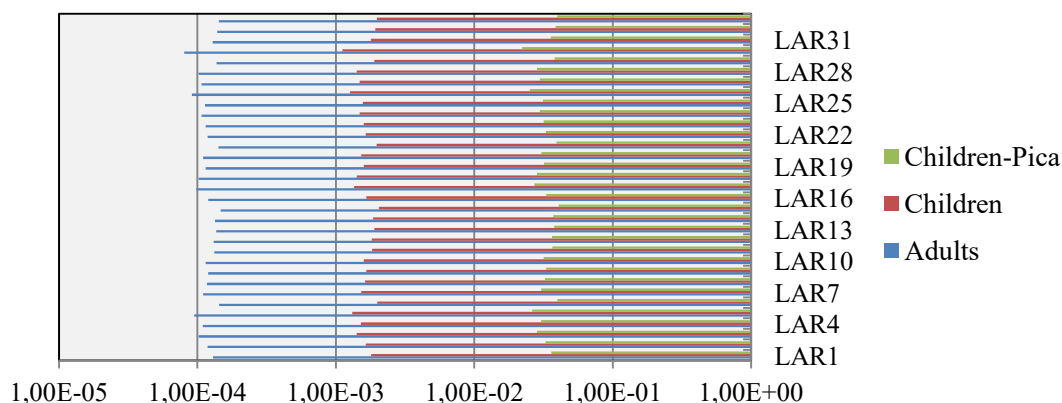
7.3.3. Κάδμιο (Cd)

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για το κάδμιο κυμαίνονται από 8,02E-08 mg/kg ημερησίως έως 1,47E-07 mg/kg ημερησίως με μέση τιμή 1,18E-07 mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται υψηλότερες δόσεις με εύρος από 1,11E-06 mg/kg ημερησίως έως 2,04E-06 mg/kg ημερησίως με μέση τιμή 1,64E-06 mg/kg ημερησίως. Σημαντικά υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή 3,29E-05 mg/kg ημερησίως.

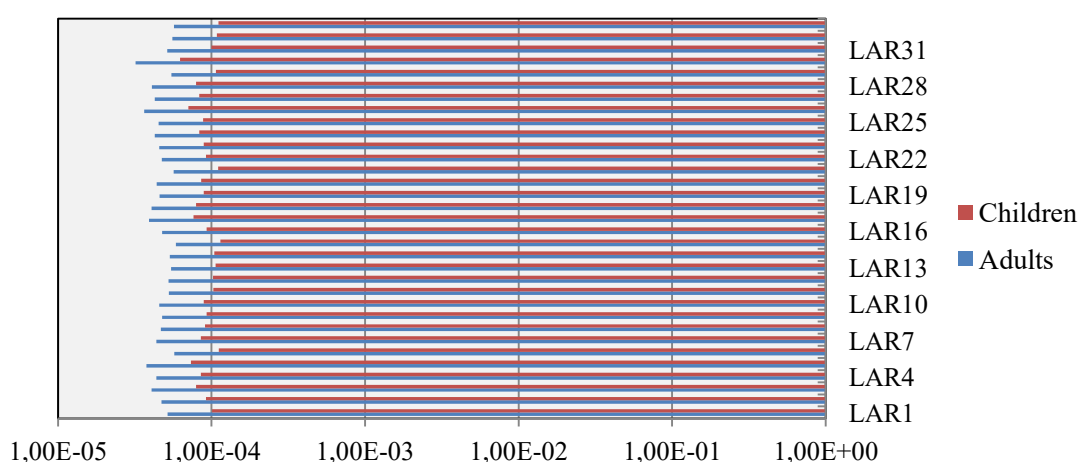
Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.3.3.α) κυμαίνονται από 8,02E-05 έως 1,47E-04 (μέση τιμή 1,18E-04) για τους ενήλικες, 1,11E-03 έως 2,04E-03 (μέση τιμή 1,64E-03) για τα παιδιά, ενώ τιμές μεταξύ 2,22E-02 έως 4,08E-02 (μέση τιμή 3,29E-02) προσδιορίστηκαν για παιδιά με αλλοτριοφαγία. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές HQ_{ing} για το κάδμιο είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1) υποδεικνύοντας χαμηλή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία.

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του καδμίου, κυμαίνονται από 3,20E-10 mg/kg ημερησίως έως 5,87E-10 mg/kg ημερησίως με μέση τιμή 4,73E-10 mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται ελάχιστα υψηλότερες δόσεις με εύρος από 6,23E-10 mg/kg ημερησίως έως 1,14E-09 mg/kg ημερησίως και μέση τιμή 9,20E-10 mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικές επαφής (Διάγραμμα 7.3.3.β) κυμαίνονται από 3,20E-05 έως 5,87E-05 (μέση τιμή 4,73E-05) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ 6,23E-05 έως 1,14E-04 (μέση τιμή 9,20E-05) για παιδιά. Διαπιστώνουμε επομένως, ότι οι τιμές HQ_{derm} για το κάδμιο είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1), υποδεικνύοντας αμελητέα έκθεση ενηλίκων και παιδιών μέσω της δερματικής επαφής.



Διάγραμμα 7.3.3.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Cd.



Διάγραμμα 7.3.3.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Cd.

7.3.4. Μόλυβδος (Pb)

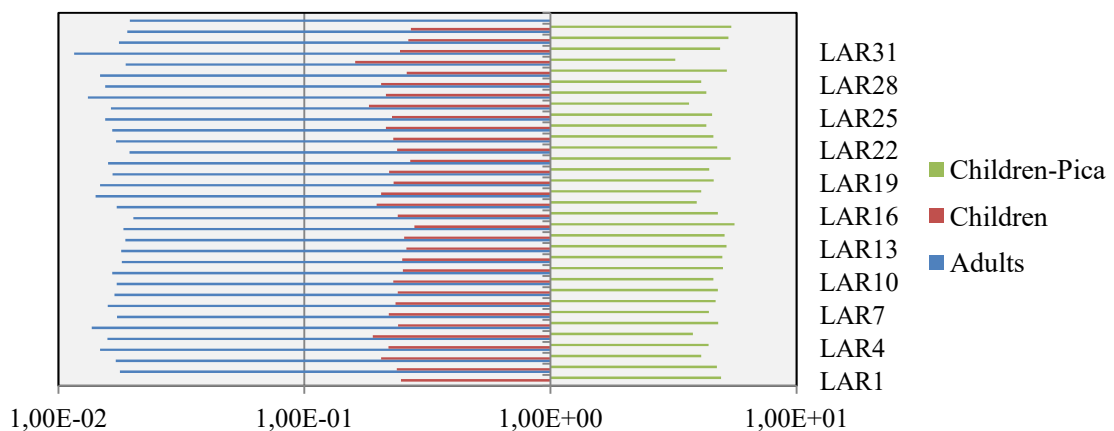
Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για τον μόλυβδο κυμαίνονται από $4,06E-05$ mg/kg ημερησίως έως $7,06E-05$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $5,84E-05$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται υψηλότερες δόσεις με εύρος από $5,63E-04$ mg/kg ημερησίως έως $9,79E-04$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $8,10E-04$ mg/kg ημερησίως. Σημαντικά υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή $1,62E-02$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.3.4.α) κυμαίνονται από $1,16E-02$ έως $2,02E-02$ (μέση τιμή $1,67E-02$) για τους ενήλικες. Αντίθετα, υψηλότερες τιμές με εύρος 0,161 έως 0,280 (μέση τιμή 0,231) προσδιορίστηκαν για τα παιδιά, τιμές που πλησιάζουν τη μονάδα υποδεικνύοντας πιθανές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία σε ότι αφορά τον μόλυβδο μέσω της κατάποσης. Στο πλέον δυσμενές σενάριο των παιδιών με αλλοτριοφαγία, οι τιμές HQ_{ing} για τον μόλυβδο κυμαίνονται από 3,22 έως 5,59 (μέση τιμή 4,63), υπερβαίνοντας σε

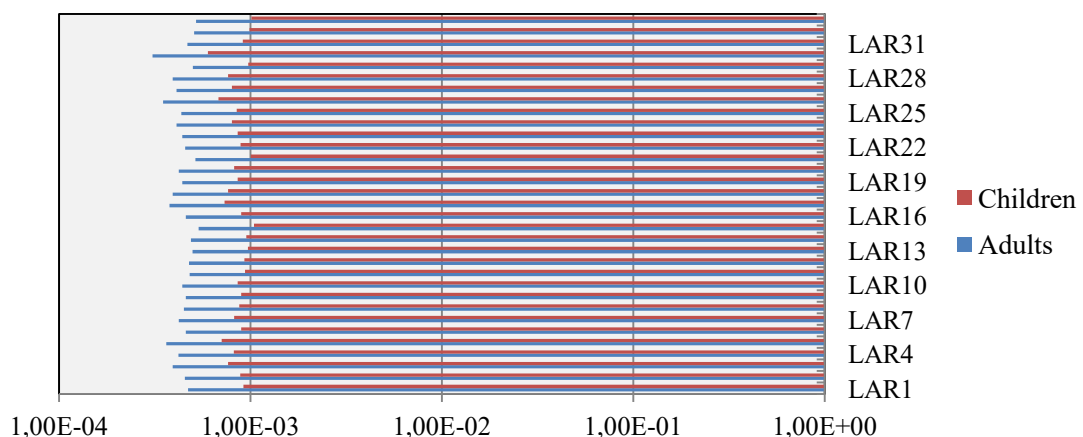
κάθε περίπτωση το όριο της μονάδας υποδεικνύοντας σημαντικές επιπτώσεις για την υγεία των παιδιών που πάσχουν από αυτή τη ψυχολογική διαταραχή.

Από την άλλη πλευρά, οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του μολύβδου, είναι ιδιαίτερος χαμηλές και κυμαίνονται από $1,62E-07 \text{ mg kg}^{-1}$ ημερησίως έως $2,82E-07 \text{ mg/kg}$ ημερησίως με μέση τιμή $2,33E-07 \text{ mg/kg}$ ημερησίως για του ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται ελάχιστα υψηλότερες δόσεις με εύρος από $3,15E-07 \text{ mg/kg}$ ημερησίως έως $5,48E-07 \text{ mg/kg}$ ημερησίως και μέση τιμή $4,53E-07 \text{ mg/kg}$ ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικής επαφής (Διάγραμμα 7.3.4.β) κυμαίνονται από $3,08E-04$ έως $5,36E-04$ (μέση τιμή $4,44E-04$) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ $6,00E-04$ έως $1,04E-03$ (μέση τιμή $8,64E-04$) για παιδιά. Διαπιστώνουμε επομένως, ότι οι τιμές HQ_{derm} για το μόλυβδο είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1), υποδεικνύοντας αμελητέα έκθεση μέσω δερματικής επαφής για ενήλικες και παιδιά.



Διάγραμμα 7.3.4.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Pb.



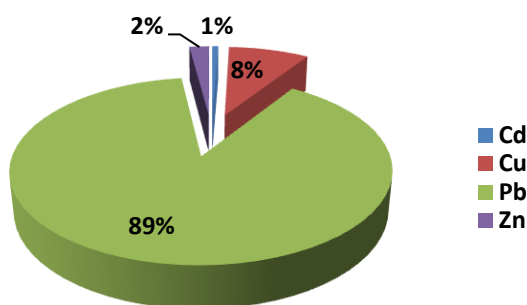
Διάγραμμα 7.3.4.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Pb.

7.3.5.Συνολική Εκτίμηση Επιπτώσεων στην Ανθρώπινη Υγεία – Μάιος 2022

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η συνολική εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία κατά τη χειμερινή περίοδο για ενήλικες και παιδιά, τόσο μέσω της κατάποσης όσο και μέσω της δερματικής επαφής.

Στο Σχήμα 7.3.5.α, απεικονίζεται η συνεισφορά των μετάλλων που εξετάστηκαν, στον συνολικό συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{tot}).

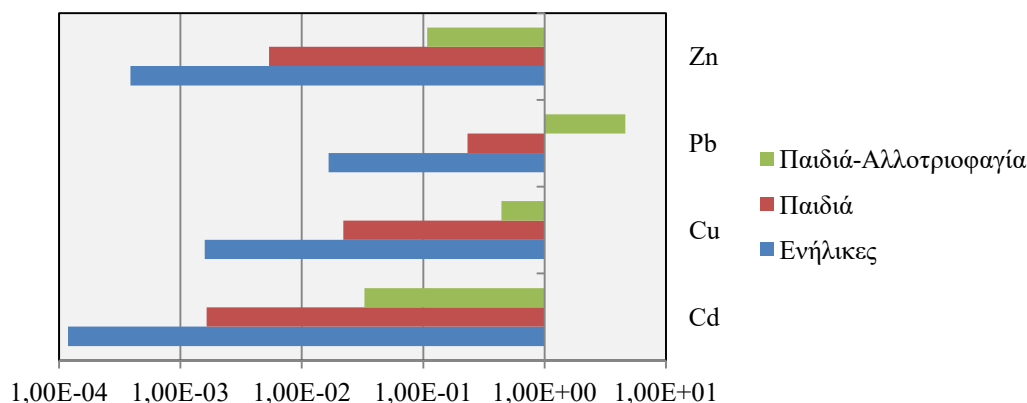
Η ανθρώπινη έκθεση στα εδαφικά δείγματα, οδηγεί σε επικινδυνότητα ακολουθώντας την εξής φθίνουσα σειρά: $Pb > Cu > Zn > Cd$, με τον μόλυβδο να συνεισφέρει κατά 89% στον συνολικό συντελεστή επικινδυνότητας, ενώ αντίθετα το κάδμιο παρουσιάζει αμελητέα συνεισφορά.



Σχήμα 7.3.5.α: Μέση συνεισφορά μετάλλων που εξετάστηκαν στον συνολικό συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{tot}) για ενήλικες και παιδιά.

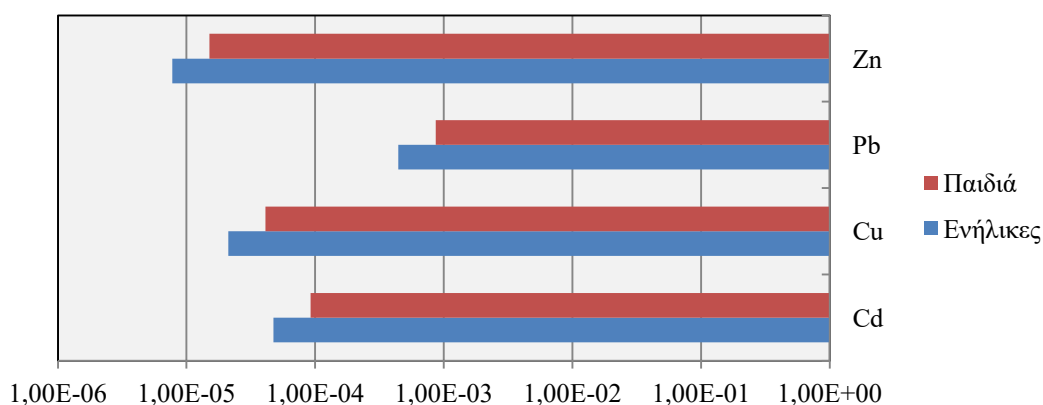
Συγκριτικά, οι μέσοι συντελεστές επικινδυνότητας για τα μέταλλα που μελετήθηκαν, τόσο για τους ενήλικες όσο και για τα παιδιά κατά τη χειμερινή περίοδο, απεικονίζονται για την κατάποση στο Διάγραμμα 7.3.5.α και για τη δερματική επαφή στο Διάγραμμα 7.3.5.β. Παρατηρείται ότι η κατάποση αποτελεί βασική οδό έκθεσης. Ειδικότερα, τα παιδιά που πάσχουν από τη διαταραχή της αλλοτριοφαγίας, παρουσιάζουν υψηλή έκθεση μέσω της κατάποσης ως προς τον μόλυβδο, όπου ο μέσος συντελεστής επικινδυνότητας υπερβαίνει σημαντικά το όριο ασφαλείας ($=1$) και πρέπει να ανησυχούμε για πιθανές επιζήμιες επιπτώσεις στην υγεία τους. Τη μικρότερη έκθεση παρουσιάζουν οι ενήλικες, ενώ διαπιστώνουμε ότι όλες οι ομάδες ανθρώπων έχουν μειωμένο κίνδυνο στο μέταλλο του καδμίου. Από την άλλη, η έκθεση μέσω της οδού της δερματικής επαφής κρίνεται αμελητέα για την ανθρώπινη υγεία, καθώς όλα τα μέταλλα έχουν χαμηλό συντελεστή επικινδυνότητας, με τον μικρότερο να τον καταλαμβάνει ο ψευδάργυρος και το μεγαλύτερο αλλά σε κάθε περίπτωση κάτω του ορίου ασφαλείας ($=1$) και συνεπώς καθόλου ανησυχητικό, ο μόλυβδος.

Συντελεστής Επικινδυνότητας μέσω κατάποσης χειμερινή περίοδο - HQ_{ing}



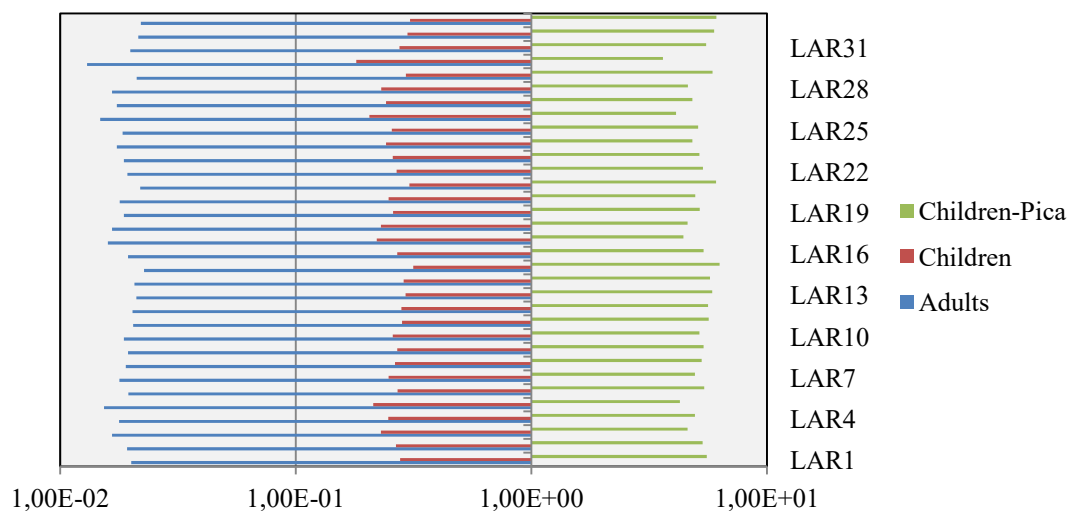
Διάγραμμα 7.3.5.α: Απεικόνιση μέσων τιμών του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{ing}) σε ενήλικες, παιδιά και παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας από Cu, Zn, Cd, Pb.

Συντελεστής Επικινδυνότητας μέσω δερματικής επαφής χειμερινή περίοδο - HQ_{derm}

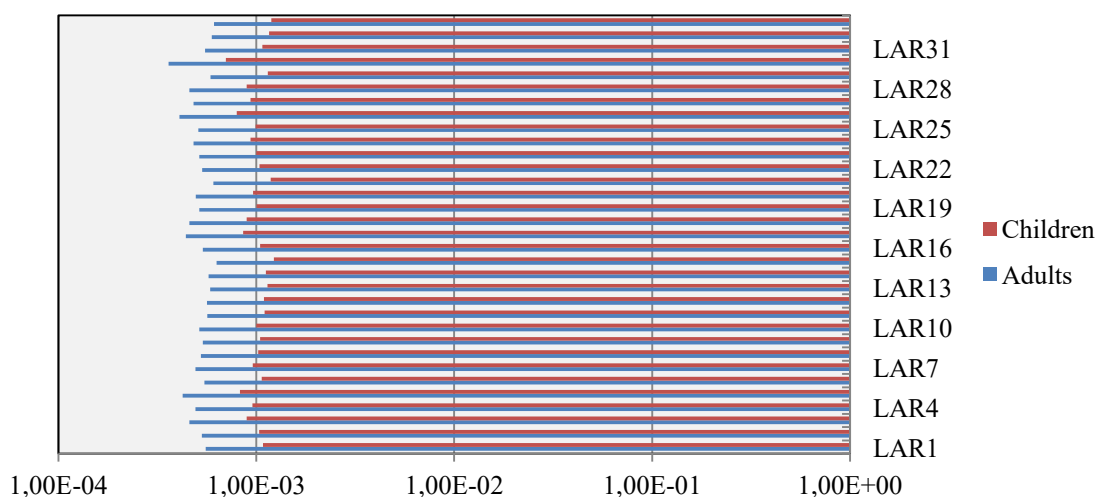


Διάγραμμα 7.3.5.β: Απεικόνιση μέσων τιμών του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{derm}) σε ενήλικες και παιδιά από Cu, Zn, Cd, Pb.

Στο Διάγραμμα 7.3.5.γ και 7.3.5.δ απεικονίζονται οι συνολικοί συντελεστές επικινδυνότητας (THQ_{ing}) μέσω της κατάποσης και (THQ_{derm}) μέσω δερματικής επαφής αντίστοιχα, για τη χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας. Στο Διάγραμμα 7.3.5.γ, διαπιστώθηκε ότι τα παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη έκθεση στον κίνδυνο για την υγεία τους μέσω της κατάποσης, ενώ οι ενήλικες τη μικρότερη. Στο Διάγραμμα 7.3.5.δ, παρατηρήθηκε ότι καμία από τις δύο ομάδες ανθρώπων (ενήλικες και παιδιά) δε κινδυνεύουν με την έκθεσή τους στα μέταλλα μέσω της δερματικής επαφής.



Διάγραμμα 7.3.5.γ: Απεικόνιση συνολικού συντελεστή επικινδυνότητας (THQ_{ing}) σε ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica κατά τη χειμερινή περίοδο.



Διάγραμμα 7.3.5.δ: Απεικόνιση συνολικού συντελεστή επικινδυνότητας (THQ_{derm}) σε ενήλικες και παιδιά κατά τη χειμερινή περίοδο.

7.4. Συγκεντρώσεις Βαρέων Μετάλλων – Σεπτέμβριος 2022

Στον Πίνακα 7.4., απεικονίζονται οι ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις των μετάλλων που εξετάστηκαν και συλλέχθηκαν κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Πίνακας 7.4.: Ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις Cu, Zn, Cd, Pb της δειγματοληψίας του Σεπτεμβρίου.

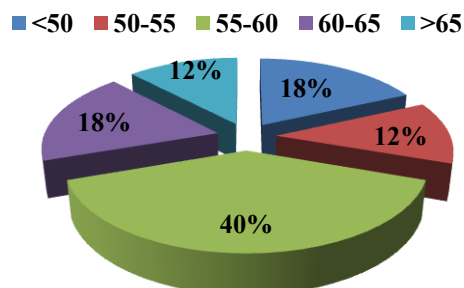
	Cu _{AquaRegia}	Zn _{AquaRegia}	Pb _{AquaRegia}	Cd _{AquaRegia}
	mg/kg ξηρού εδάφους			μg/kg ξηρού εδάφους
Ελάχιστη Τιμή (min)	39,60	71,50	34,43	67,00
Μέγιστη Τιμή (max)	68,40	121,00	62,55	113,00
Μέση Τιμή (average)	57,33	99,80	48,59	96,32
Τυπική Απόκλιση (standard deviation)	6,56	12,62	5,82	9,69

Οι μέσες τιμές των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων του χαλκού, ψευδαργύρου, καδμίου και μολύβδου, συγκρίθηκαν με τις ανάλογες τιμές που καταγράφηκαν σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στον αστικό ιστό του Βόλου. Συγκριτικά με την πόλη του Βόλου και την μελέτη της (Παπαδήμου, 2020), παρατηρούμε ότι οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων του χαλκού και του καδμίου είναι 14,54 mg/kg και 84,03 μg/kg αντίστοιχα, πράγμα που σημαίνει ότι στη πόλη της Λάρισας είναι μεγαλύτερες ενώ από την άλλη οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων του ψευδαργύρου και του μολύβδου είναι 111,73 mg/kg και 90,09 mg/kg αντίστοιχα, εμφανώς μεγαλύτερες των αντίστοιχων μέσων τιμών της Λάρισας.

7.4.1. Χαλκός (Cu)

Στο Σχήμα 7.4.1., απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες της συγκέντρωσης του ψευδο-ολικού χαλκού και το ποσοστό των δειγμάτων το οποίο αντιστοιχεί στην κάθε μία. Σε ποσοστό 40%, δηλαδή 13 από τα 33 δείγματα εδάφους, παρατηρείται συγκέντρωση μεταξύ 55 έως 60 mg/kg. Το 12% των δειγμάτων, δηλαδή τα 4 από τα 33, ανιχνεύτηκε συγκέντρωση χαλκού μεγαλύτερη των 65 mg/kg, που είναι όμως πολύ μικρότερη της οριακής συγκέντρωσης των 140 mg/kg που έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι υπήρξε αύξηση της συγκέντρωσης του μετάλλου του χαλκού της τάξης 23,86% σε σχέση με τη χειμερινή δειγματοληψία. Εν τέλει, περιμέναμε να υπάρχει αύξηση της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του χαλκού συγκριτικά με την χειμερινή δειγματοληψία, διότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το έδαφος εξατμίζει το νερό που υπάρχει σε αυτό και γίνεται πιο συμπυκνός, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται οι ήδη υπάρχουσες συγκεντρώσεις.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Cu (mg/kg)

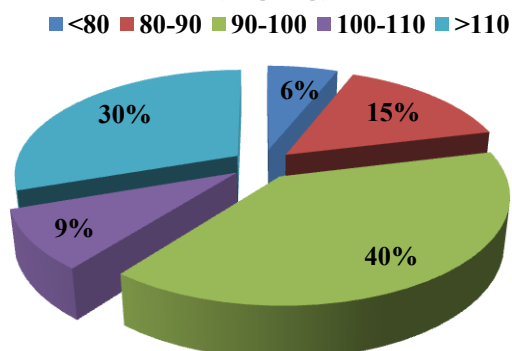


Σχήμα 7.4.1.: Καταμερισμός ψευδο-ολικής συγκέντρωσης Cu (mg/kg).

7.4.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Στο Σχήμα 7.4.2. απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες συγκέντρωσης του ψευδο-ολικού ψευδαργύρου και το ποσοστό των δειγμάτων το οποίο αντιστοιχεί στην κάθε μία. Ποσοστό 40%, (13 από τα 33), έχουν συγκέντρωση μεταξύ 90 έως 100 mg/kg, ενώ το 30% των δειγμάτων δηλαδή 10 από τα 33 δείγματα, παρουσιάζουν συγκέντρωση ψευδαργύρου μεγαλύτερη των 110 mg/kg, μικρότερη της οριακής συγκέντρωσης των 300 mg/kg που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Συγκριτικά με τα εδαφικά δείγματα που συλλέχθηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο, παρατηρήθηκε αύξηση των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου κατά 17,53%. Εν τέλει, περιμέναμε να υπάρχει αύξηση της ολικής συγκέντρωσης του ψευδαργύρου συγκριτικά με την χειμερινή δειγματοληψία, διότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το έδαφος εξατμίζει το νερό που υπάρχει σε αυτό και γίνεται πιο συμπαγές, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται οι ήδη υπάρχουσες συγκεντρώσεις.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Zn (mg/kg)

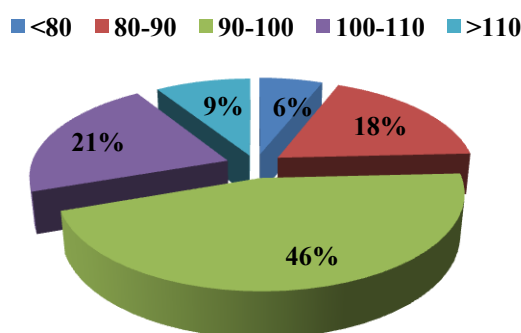


Σχήμα 7.4.2.: Καταμερισμός της εδαφικής ψευδο-ολικής συγκέντρωσης Zn (mg/kg).

7.4.3. Κάδμιο (Cd)

Στο Σχήμα 7.4.3. απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες συγκέντρωσης του ψευδο-ολικού καδμίου και το ποσοστό των δειγμάτων το οποίο αντιστοιχεί στην κάθε μία. Ποσοστό 46% (15 από τα 33 δείγματα), παρουσιάζουν συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 90 έως 100 $\mu\text{g/kg}$. Μόλις το 9% των δειγμάτων, δηλαδή τα 3 από τα 33, εμφανίζει τη μεγαλύτερη ψευδο-ολική συγκέντρωση που ξεπερνά τα 110 $\mu\text{g/kg}$, ενώ παράλληλα είναι μικρότερη της οριακής συγκέντρωσης των 3 mg/kg που έχει καθορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Συγκριτικά με τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε κατά τη χειμερινή περίοδο, παρατηρείται ότι υπήρξε αύξηση της τάξης 13,49% της περιεκτικότητας του μετάλλου του καδμίου. Εν τέλει, περιμέναμε να υπάρχει αύξηση της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του καδμίου συγκριτικά με την χειμερινή δειγματοληψία, διότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το έδαφος εξατμίζει το νερό που υπάρχει σε αυτό και γίνεται πιο συμπαγές, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται οι ήδη υπάρχουσες συγκεντρώσεις.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Cd ($\mu\text{g/kg}$)



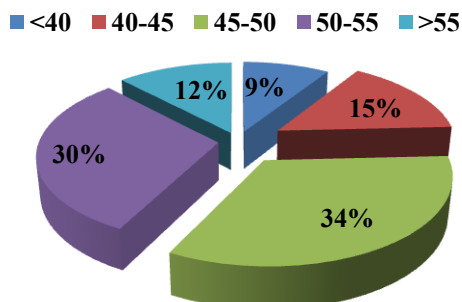
Σχήμα 7.4.3.: Καταμερισμός ψευδο-ολικής εδαφικής συγκέντρωσης Cd ($\mu\text{g/kg}$).

7.4.4. Μόλυβδος (Pb)

Στο Σχήμα 7.4.4. απεικονίζεται ο καταμερισμός σε πέντε κλίμακες συγκέντρωσης του ψευδο-ολικού μολύβδου και το ποσοστό των δειγμάτων το οποίο αντιστοιχεί στην κάθε μία. Ποσοστό 34%, δηλαδή τα 11 από τα 33 δείγματα, εμφανίζουν συγκέντρωση καδμίου μεταξύ 45 έως 50 mg/kg . Μόλις το 12% επί των δειγμάτων, δηλαδή 4 από τα 33, παρουσιάζουν περιεκτικότητα μεγαλύτερη των 55 mg/kg , που είναι μικρότερη της οριακής συγκέντρωσης των 300 mg/kg που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Συγκριτικά με τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε το χειμώνα, παρατηρείται ότι υπήρξε αύξηση της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του μολύβδου της τάξης 14,09%. Εν τέλει, περιμέναμε να υπάρχει αύξηση της ψευδο-ολικής συγκέντρωσης του μολύβδου συγκριτικά με την χειμερινή δειγματοληψία, διότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το

έδαφος εξατμίζει το νερό που υπάρχει σε αυτό και γίνεται πιο συμπαγές, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται οι ήδη υπάρχουσες συγκεντρώσεις.

Ψευδο-ολικές Συγκεντρώσεις Pb (mg/kg)



Σχήμα 7.4.4.: Καταμερισμός ψευδο-ολικής εδαφικής συγκέντρωσης Pb (mg/kg).

7.5. Εκτίμηση Επικινδυνότητας στην Ανθρώπινη Υγεία – Σεπτέμβριος 2022

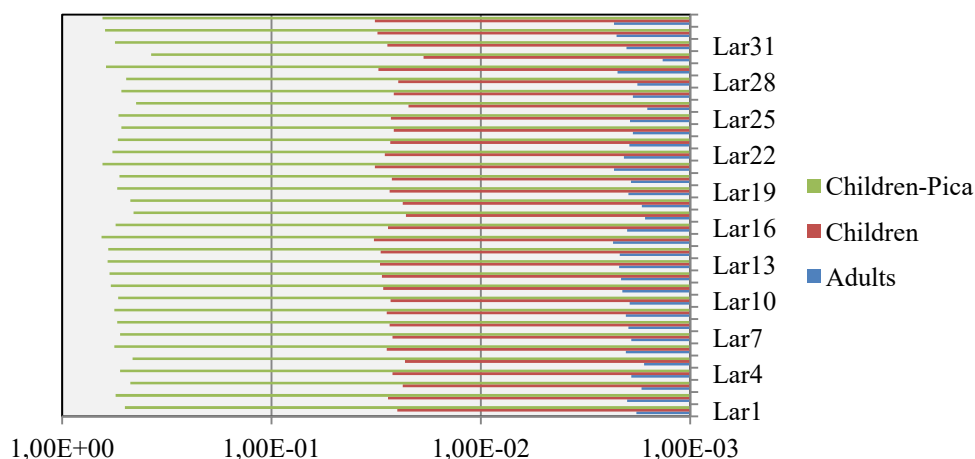
7.5.1. Χαλκός (Cu)

Στην παρούσα μελέτη προσδιορίστηκε η μέση προσλαμβανόμενη ημερήσια δόση (CDI_{ing}) και ο συντελεστής επικινδυνότητας (HQ_{ing}) μέσω της κατάποσης για ενήλικες και παιδιά για κάθε θέση δειγματοληψίας για την περίοδο του καλοκαιριού. Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για το χαλκό κυμαίνονται από $5,42E-05$ mg/kg ημερησίως έως $9,37E-05$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $7,85E-05$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται υψηλότερες δόσεις με εύρος από $7,52E-04$ mg/kg ημερησίως έως $1,30E-03$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $1,09E-03$ mg/kg ημερησίως. Σημαντικά υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή $2,18E-02$ mg/kg ημερησίως.

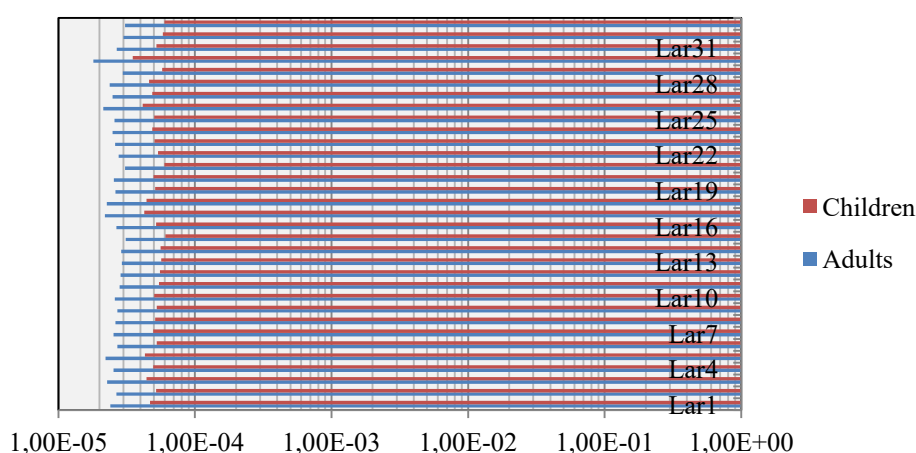
Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.5.1.α) κυμαίνονται από $1,36E-03$ έως $2,34E-03$ (μέση τιμή $1,96E-03$) για του ενήλικες, $1,88E-02$ έως $3,25E-02$ (μέση τιμή $2,72E-02$) για τα παιδιά, ενώ τιμές μεταξύ $0,376$ έως $0,65$ (μέση τιμή $0,545$) προσδιορίστηκαν για παιδιά με αλλοτριοφαγία. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές HQ_{ing} για το χαλκό είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1) υποδεικνύοντας χαμηλή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία, με εξαίρεση τις τιμές που προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη το πλέον δυσμενές σενάριο της αλλοτριοφαγίας, όπου οι τιμές του HQ_{ing} πλησιάζουν το όριο του 1, υποδεικνύοντας πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών που παρουσιάζουν αυτή τη διαταραχή.

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του χαλκού, κυμαίνονται από $2,16E-07$ mg/kg ημερησίως έως $3,74E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $3,13E-07$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται λίγο υψηλότερες δόσεις με εύρος από $4,21E-07$ mg/kg ημερησίως έως $7,28E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $6,10E-07$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικής επαφής (Διάγραμμα 7.5.1.β) κυμαίνονται από $1,80\text{E-}05$ έως $3,12\text{E-}05$ (μέση τιμή $2,61\text{E-}05$) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ $3,51\text{E-}05$ έως $6,06\text{E-}05$ (μέση τιμή $5,08\text{E-}05$) για παιδιά. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε, οι τιμές HQ_{derm} για το χαλκό είναι πολύ χαμηλές και απέχουν κατά πολύ από τη μονάδα, με αποτέλεσμα η επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία να θεωρείται αμελητέα.



Διάγραμμα 7.5.1.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Cu.



Διάγραμμα 7.5.1.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Cu.

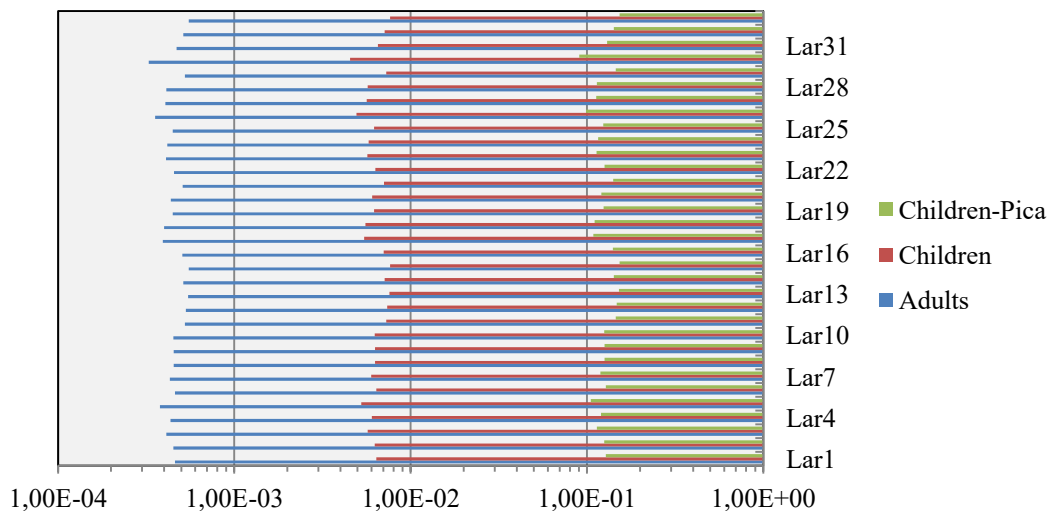
7.5.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για τον ψευδάργυρο κυμαίνονται από $9,79\text{E-}05$ mg/kg ημερησίως έως $1,66\text{E-}04$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $1,37\text{E-}04$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται υψηλότερες δόσεις με εύρος από $1,36\text{E-}03$ mg/kg ημερησίως έως $2,30\text{E-}03$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $1,90\text{E-}03$ mg/kg ημερησίως. Σημαντικά υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή $3,79\text{E-}02$ mg/kg ημερησίως.

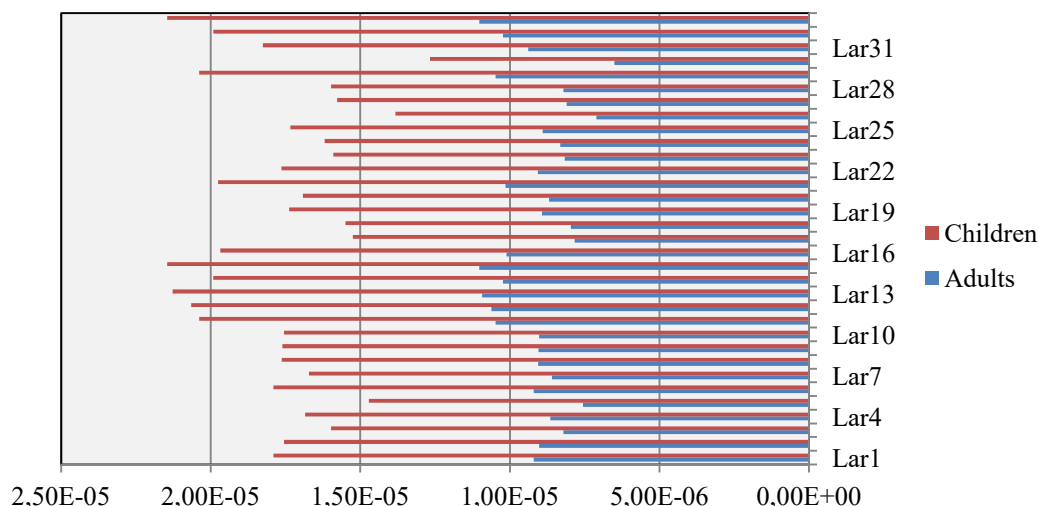
Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.5.2.α) κυμαίνονται από $3,26E-04$ έως $5,53E-04$ (μέση τιμή $4,56E-04$) για του ενήλικες, $4,53E-03$ έως $7,66E-03$ (μέση τιμή $6,32E-03$) για τα παιδιά, ενώ τιμές μεταξύ $0,0905$ έως $0,153$ (μέση τιμή $0,126$) προσδιορίστηκαν για παιδιά με αλλοτριοφαγία. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές HQ_{ing} για τον ψευδάργυρο είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1) υποδεικνύοντας χαμηλή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία, με εξαίρεση τις τιμές που προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη το πλέον δυσμενές σενάριο της αλλοτριοφαγίας, όπου οι τιμές του HQ_{ing} πλησιάζουν το όριο του 1, υποδεικνύοντας πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών που παρουσιάζουν αυτή τη διαταραχή.

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του ψευδαργύρου, κυμαίνονται από $3,91E-07$ mg/kg ημερησίως έως $6,61E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $5,45E-07$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται λίγο υψηλότερες δόσεις με εύρος από $7,61E-07$ mg/kg ημερησίως έως $1,29E-06$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $1,06E-06$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικής επαφής (Διάγραμμα 7.5.2.β) κυμαίνονται από $6,51E-06$ έως $1,10E-05$ (μέση τιμή $9,09E-06$) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ $1,27E-05$ έως $2,15E-05$ (μέση τιμή $1,77E-05$) για παιδιά. Διαπιστώσουμε λοιπόν, ότι οι τιμές HQ_{derm} για τον ψευδάργυρο είναι σημαντικά χαμηλότερες από τη μονάδα (<1), υποδεικνύοντας αμελητέα επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία.



Διάγραμμα 7.5.2.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Zn.



Διάγραμμα 7.5.2.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Zn.

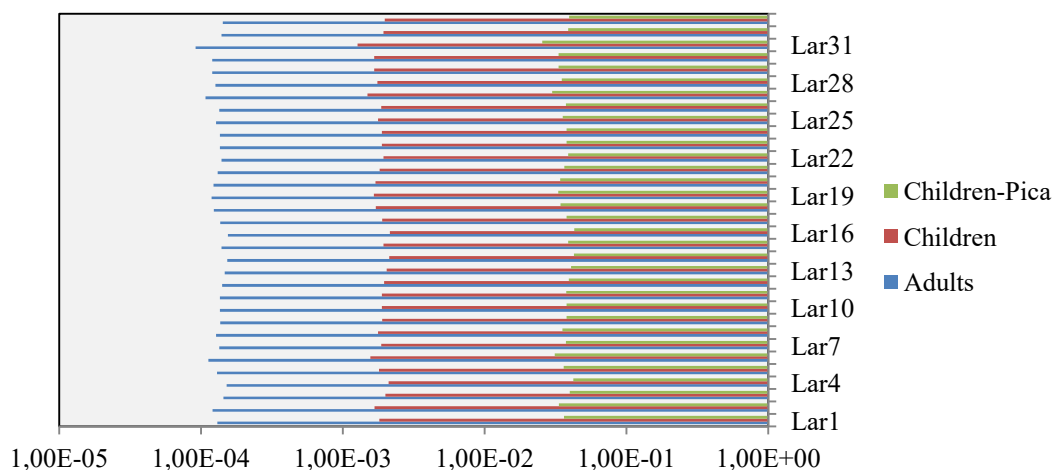
7.5.3. Κάδμιο (Cd)

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για το κάδμιο κυμαίνονται από 9,18E-08 mg/kg ημερησίως έως 1,55E-07 mg/kg ημερησίως με μέση τιμή 1,32E-07 mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται δόσεις με ελάχιστη διαφοροποίηση που κυμαίνονται μεταξύ 1,27E-06 mg/kg ημερησίως έως 2,15E-06 mg/kg ημερησίως με μέση τιμή 1,83E-06 mg/kg ημερησίως. Ελάχιστα υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή 3,66E-05 mg/kg ημερησίως.

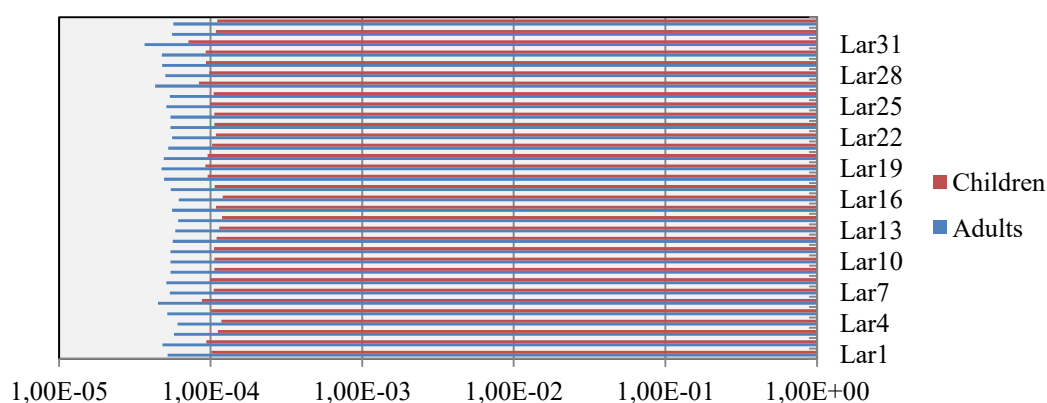
Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.5.3.α) κυμαίνονται από 9,18E-05 έως 1,55E-04 (μέση τιμή 1,32E-04) για του ενήλικες, 1,27E-03 έως 2,15E-03 (μέση τιμή 1,83E-03) για τα παιδιά, ενώ τιμές μεταξύ 2,55E-02 έως 4,29E-02 (μέση τιμή 3,66E-02) προσδιορίστηκαν για παιδιά με αλλοτριοφαγία. Σε κάθε περίπτωση οι τιμές HQ_{ing} για το κάδμιο είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1) υποδεικνύοντας χαμηλή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία.

Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του καδμίου, κυμαίνονται από 3,66E-10 mg/kg ημερησίως έως 6,18E-10 mg/kg ημερησίως με μέση τιμή 5,26E-10 mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται ελάχιστα υψηλότερες δόσεις με εύρος από 7,13E-10 mg/kg ημερησίως έως 1,20E-09 mg/kg ημερησίως με μέση τιμή 1,02E-09 mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικής επαφής (Διάγραμμα 7.5.3.β) κυμαίνονται από 3,66E-05 έως 6,18E-05 (μέση τιμή 5,26E-05) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ 7,13E-05 έως 1,20E-04 (μέση τιμή 1,02E-04) για παιδιά. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε επομένως, ότι οι τιμές HQ_{derm} για το κάδμιο είναι πολύ χαμηλές και απέχουν κατά πολύ από τη μονάδα (<1), με αποτέλεσμα η επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία να θεωρείται αμελητέα.



Διάγραμμα 7.5.3.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Cd.



Διάγραμμα 7.5.3.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Cd.

7.5.4. Μόλυβδος (Pb)

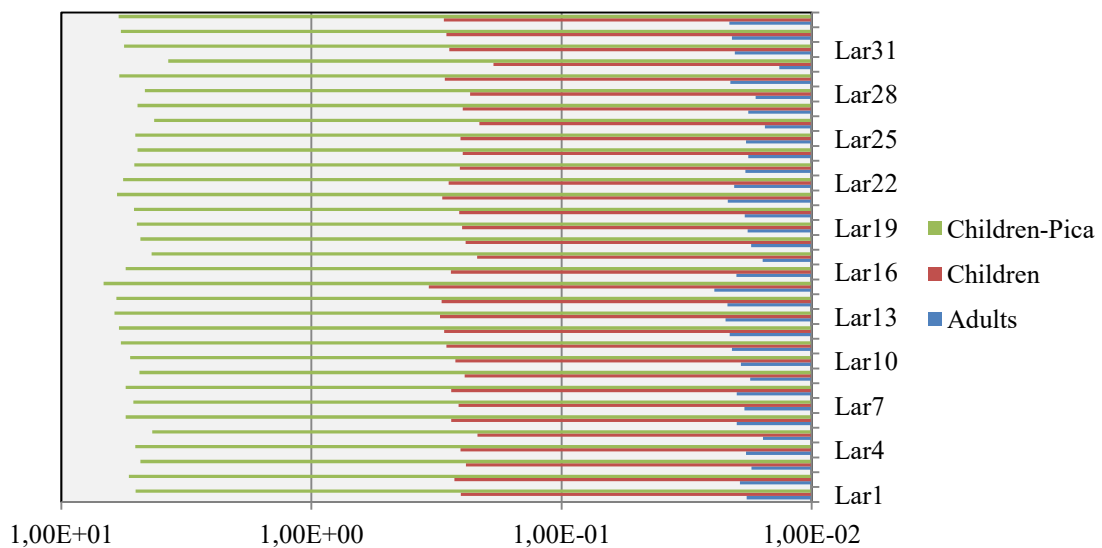
Οι ημερήσιες δόσεις CDI_{ing} μέσω της κατάποσης για τον μόλυβδο κυμαίνονται από $4,72E-05$ mg/kg ημερησίως έως $8,57E-05$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $6,66E-05$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται υψηλότερες δόσεις με εύρος από $6,54E-04$ mg/kg ημερησίως έως $1,19E-03$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $9,23E-04$ mg/kg ημερησίως. Σημαντικά υψηλότερες δόσεις προσδιορίζονται για παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας με μέση τιμή $1,85E-02$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{ing} μέσω της κατάποσης (Διάγραμμα 7.5.4.α) κυμαίνονται από $1,35E-02$ έως $2,45E-02$ (μέση τιμή $1,90E-02$) για του ενήλικες. Αντίθετα, υψηλότερες τιμές με εύρος 0,187 έως 0,339 (μέση τιμή 0,264) προσδιορίστηκαν για τα παιδιά, τιμές που πλησιάζουν τη μονάδα υποδεικνύοντας πιθανές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία σε ότι αφορά τον μόλυβδο μέσω της κατάποσης. Στο πλέον δυσμενές σενάριο των παιδιών με αλλοτριοφαγία, οι τιμές HQ_{ing} για τον μόλυβδο κυμαίνονται μεταξύ 3,74 έως 6,79 (μέση τιμή 5,27) υπερβαίνοντας σε

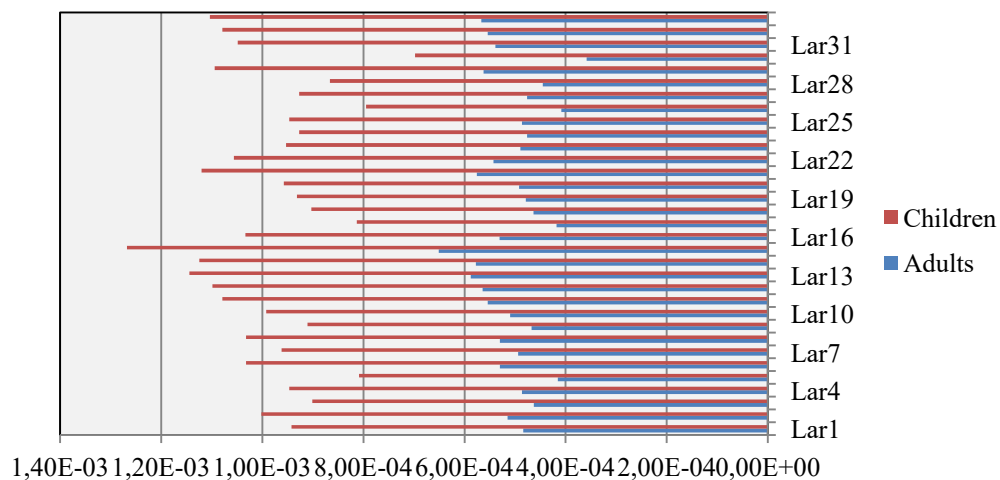
κάθε περίπτωση το ότιο της μονάδας υποδεικνύοντας σημαντικές επιπτώσεις για την υγεία των παιδιών που πάσχουν από αυτή τη ψυχολογική διαταραχή.

Από την άλλη πλευρά, οι ημερήσιες δόσεις CDI_{derm} μέσω δερματικής επαφής για το μέταλλο του μολύβδου, είναι ιδιαίτερος χαμηλές και κυμαίνονται από $1,88E-07$ mg/kg ημερησίως έως $3,42E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $2,66E-07$ mg/kg ημερησίως για τους ενήλικες, ενώ για τα παιδιά καταγράφονται λίγο υψηλότερες δόσεις με εύρος από $3,66E-07$ mg/kg ημερησίως έως $6,65E-07$ mg/kg ημερησίως με μέση τιμή $5,17E-07$ mg/kg ημερησίως.

Οι συντελεστές επικινδυνότητας HQ_{derm} μέσω δερματικής επαφής (Διάγραμμα 7.5.4.β) κυμαίνονται από 0,000358 έως 0,000651 (μέση τιμή 0,000506) για τους ενήλικες, ενώ τιμές μεταξύ 0,000698 έως 0,00127 (μέση τιμή 0,000985) για παιδιά. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε, οι τιμές HQ_{derm} για τον μόλυβδο είναι χαμηλότερες από τη μονάδα (<1), υποδεικνύοντας αμελητέα έκθεση μέσω της δερματικής επαφής για ενήλικες και παιδιά.



Διάγραμμα 7.5.4.α: Διάγραμμα HQ_{ing} για ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Pb.



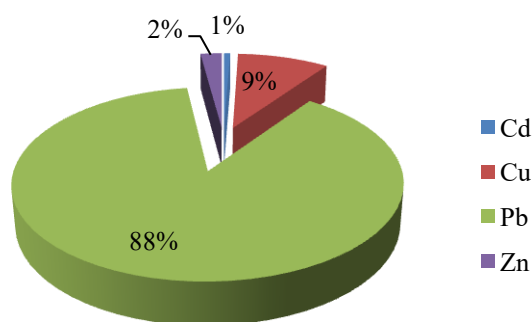
Διάγραμμα 7.5.4.β: Διάγραμμα HQ_{derm} για ενήλικες και παιδιά από Pb.

7.5.5.Συνολική Εκτίμηση Επιπτώσεων στην Ανθρώπινη Υγεία – Σεπτέμβριος 2022

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η συνολική εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία κατά την καλοκαιρινή περίοδο για όλο το φάσμα ηλικιών, τόσο μέσω της κατάποσης όσο και μέσω της δερματικής επαφής.

Στο Σχήμα 7.5.5.α, απεικονίζεται η συνεισφορά των μετάλλων που μελετήθηκαν στον συνολικό συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{tot}).

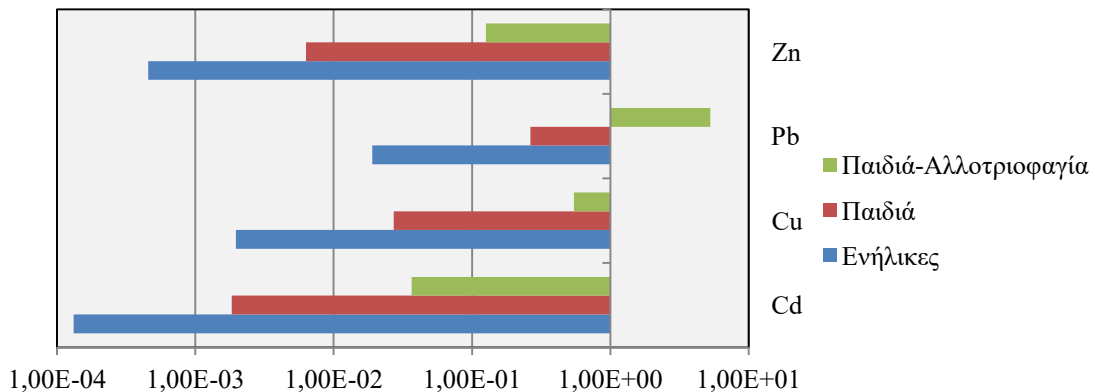
Η ανθρώπινη έκθεση στα εδαφικά δείγματα, οδηγεί σε επικινδυνότητα ακολουθώντας την εξής φθίνουσα σειρά: $Pb > Cu > Zn > Cd$, με τον μόλυβδο να συνεισφέρει κατά 88% στον συνολικό συντελεστή επικινδυνότητας, ενώ αντίθετα το κάδμιο παρουσιάζει αμελητέα συνεισφορά.



Σχήμα 7.5.5.α: Μέση συνεισφορά των μετάλλων που εξετάστηκαν στον συνολικό συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{tot}) για ενήλικες και παιδιά.

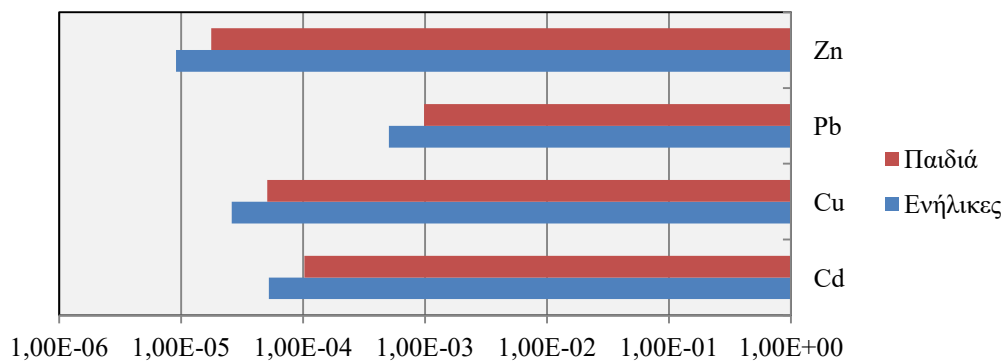
Συγκριτικά, οι μέσοι συντελεστές επικινδυνότητας για τα μέταλλα που εξετάστηκαν, για όλο το ηλικιακό φάσμα κατά την καλοκαιρινή περίοδο, απεικονίζονται για την κατάποση στο Διάγραμμα 7.5.5.α και για τη δερματική επαφή στο Διάγραμμα 7.5.5.β. Παρατηρείται ότι η κατάποση αποτελεί τη βασική οδό έκθεσης. Ειδικότερα, τα παιδιά που πάσχουν από τη διαταραχή της αλλοτριοφαγίας, παρουσιάζουν υψηλή έκθεση μέσω της κατάποσης ως προς τον μόλυβδο όπου ο μέσος συντελεστής επικινδυνότητας υπερβαίνει σημαντικά το όριο ασφαλείας ($=1$) και πρέπει να ανησυχούμε για πιθανές επιζήμιες επιπτώσεις στην υγεία τους. Τη μικρότερη έκθεση παρουσιάζουν οι ενήλικες, ενώ διαπιστώνουμε ότι όλες οι ομάδες των ανθρώπων έχουν μειωμένο κίνδυνο στο μέταλλο του καδμίου. Από την άλλη, η έκθεση μέσω δερματικής επαφής κρίνεται αμελητέα και δε συντρέπει λόγος ανησυχίας για την υγεία του ανθρώπου, διότι όλα τα μέταλλα έχουν χαμηλό συντελεστή επικινδυνότητας, με τον μικρότερο να τον καταλαμβάνει ο ψευδάργυρος και το μεγαλύτερο αλλά σε κάθε περίπτωση κάτω του ορίου ασφαλείας ($=1$) και συνεπώς καθόλου ανησυχητικό, ο μόλυβδος.

Συντελεστής Επικινδυνότητας μέσω κατάποσης θερινή περίοδο- HQ_{ing}



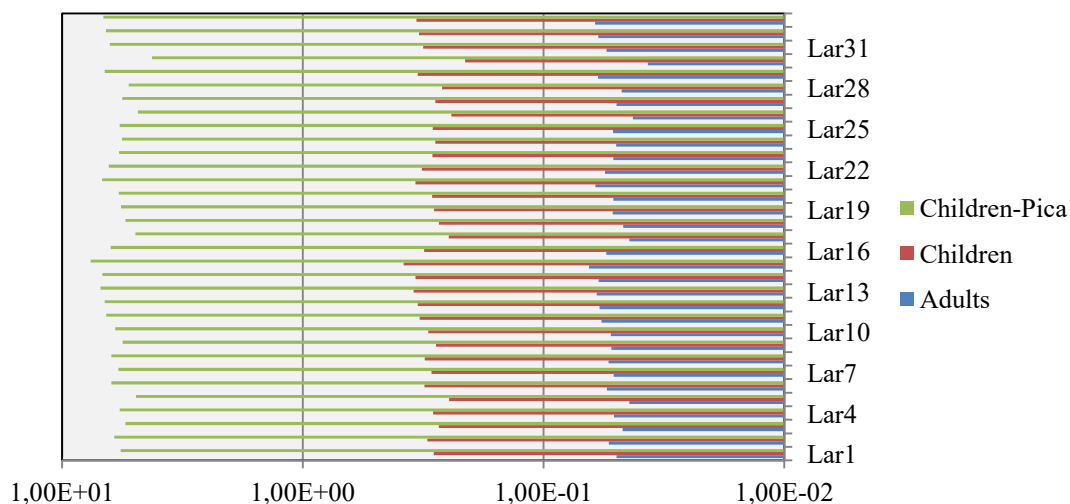
Διάγραμμα 7.5.5.α: Απεικόνιση μέσων τιμών του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{ing}) σε ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica από Cu, Zn, Cd, Pb.

Συντελεστής Επικινδυνότητας μέσω δερματικής επαφής θερινή περίοδο-HQ_{derm}

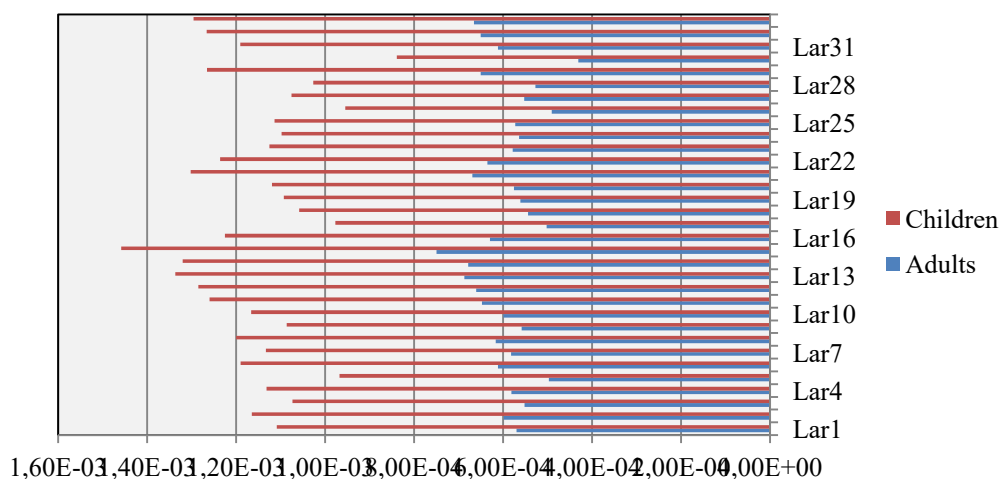


Διάγραμμα 7.5.5.β: Απεικόνιση μέσων τιμών του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{derm}) σε ενήλικες και παιδιά από Cu, Zn, Cd, Pb.

Στο Διάγραμμα 7.5.5.γ και 7.5.5.δ απεικονίζονται οι συνολικοί συντελεστές επικινδυνότητας (THQ_{ing}) μέσω της κατάποσης και (THQ_{derm}) μέσω δερματικής επαφής αντίστοιχα, για την καλοκαιρινή περίοδο δειγματοληψίας. Στο Διάγραμμα 7.5.5.γ, διαπιστώνουμε ότι τα παιδιά με διαταραχή αλλοτριοφαγίας παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη έκθεση στον κίνδυνο για την υγεία τους μέσω της κατάποσης, ενώ οι ενήλικες τη μικρότερη. Στο Διάγραμμα 7.5.5.δ, παρατηρούμε ότι καμία από τις δύο ομάδες ανθρώπων (ενήλικες και παιδιά) δε κινδυνεύουν με την έκθεσή τους στα μέταλλα μέσω της δερματικής επαφής.



Διάγραμμα 7.5.5.γ: Απεικόνιση συνολικού συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{ing}) σε ενήλικες, παιδιά και παιδιά pica κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

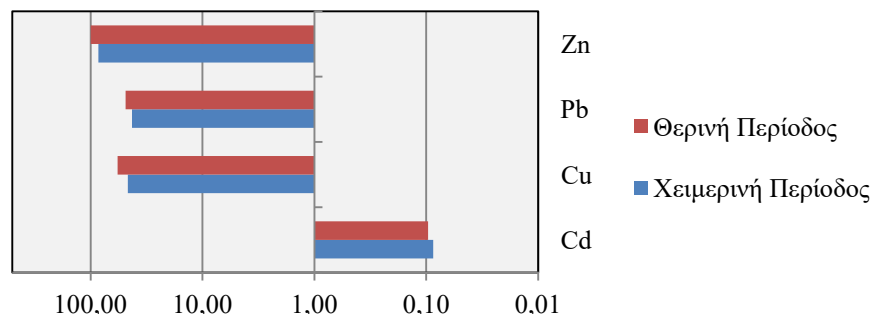


Διάγραμμα 7.5.5.δ: Απεικόνιση συνολικού συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{derm}) σε ενήλικες και παιδιά κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

7.6. Σύγκριση Επιπτώσεων στην Ανθρώπινη Υγεία – Μάιος και Σεπτέμβριος 2022

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα αναφορικά με την εκτίμηση του κινδύνου, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των δύο εποχών μεταξύ τους (χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδος).

Χρονική Διακύμανση Μέσων Συγκεντρώσεων Βαρέων Μετάλλων



Διάγραμμα 7.6.: Χρονική διακύμανση των μέσων συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που εξετάστηκαν και για τις δύο περιόδους.

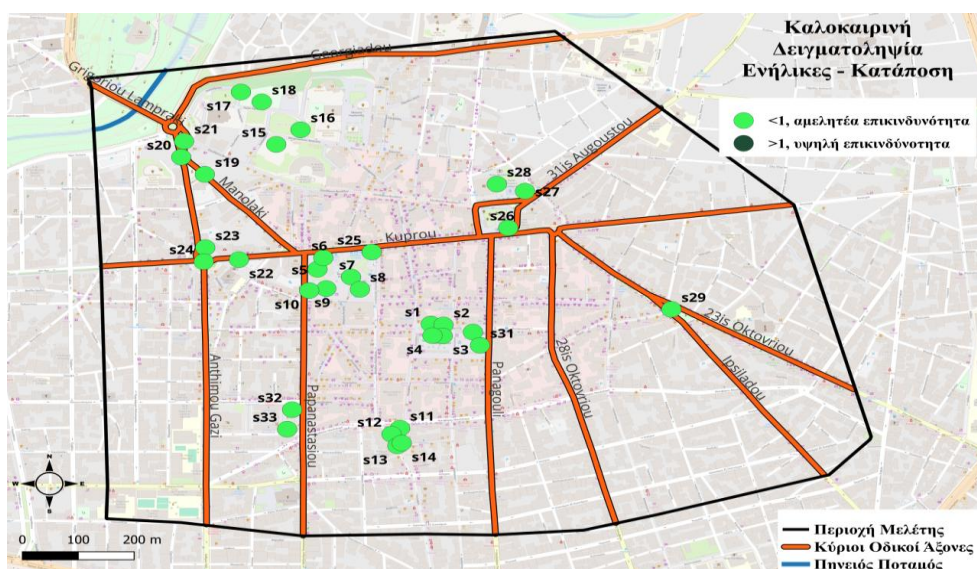
Στο Διάγραμμα 7.6., παρατηρείται ότι κατά την καλοκαιρινή περίοδο οι μέσες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που μελετήθηκαν ήταν ανεβασμένες συγκριτικά με την χειμερινή περίοδο. Αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο, καθώς κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το νερό που υπάρχει στο έδαφος εξατμίζεται αφού η ξηρασία κυριαρχεί και οι βροχοπτώσεις είναι μηδενικές, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των στοιχείων που βρίσκονται σε αυτό να συσσωρεύονται και να αυξάνονται.

Με την αυξημένη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων τους καλοκαιρινούς μήνες στο έδαφος, συμπεραίνουμε ότι όλες οι κατηγορίες ανθρώπων (ενήλικες, παιδιά και παιδιά με αλλοτριοφαγία) είναι περισσότερο εκτεθειμένοι και ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος για την ανθρώπινη υγεία.

7.7. Θεματικοί Χάρτες – Σεπτέμβριος 2022 και Επιπτώσεις στην Ανθρώπινη Υγεία

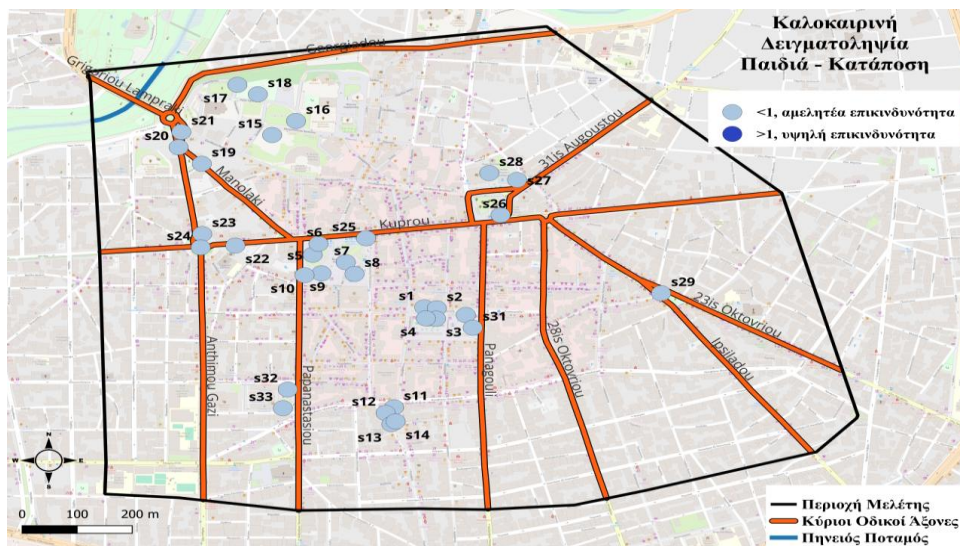
Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση για την καλοκαιρινή περίοδο, για όλες τις κατηγορίες ανθρώπων (ενήλικες, παιδιά, παιδιά με αλλοτριοφαγία) αλλά και για τα δύο σενάρια έκθεσης (μέσω κατάποσης και μέσω δερματικής επαφής), καθώς κρίθηκε ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η έκθεση και συνεπώς ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία είναι αυξημένοι.

7.7.1. Έκθεση μέσω Κατάποσης



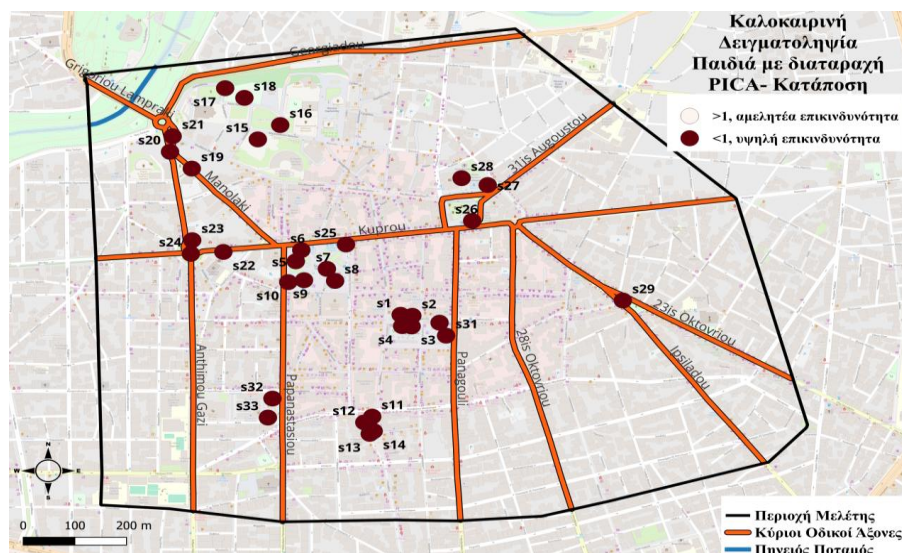
Χάρτης 2: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας για τους ενήλικες μέσω της κατάποσης.

Στον Χάρτη 2, παρατηρείται ότι οι ενήλικες μέσω της οδού της κατάποσης απεικονίζονται με ανοιχτό πράσινο χρώμα, το οποίο χαρακτηρίζει τον κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία αμελητέο αφού οι τιμές του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{ing}) είναι μικρότερες της μονάδας.



Χάρτης 3: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας για τα παιδιά μέσω της κατάποσης.

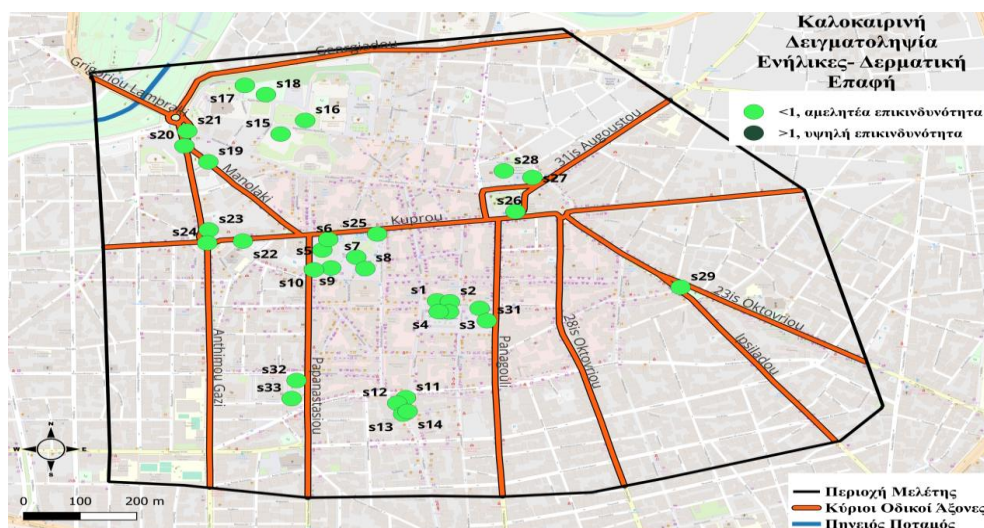
Στον Χάρτη 3, παρατηρείται ότι τα παιδιά μέσω της οδού της κατάποσης απεικονίζονται με ανοιχτό γαλάζιο χρώμα, το οποίο χαρακτηρίζει τον κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία αμελητέο αφού οι τιμές του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{ing}) είναι μικρότερες της μονάδας.



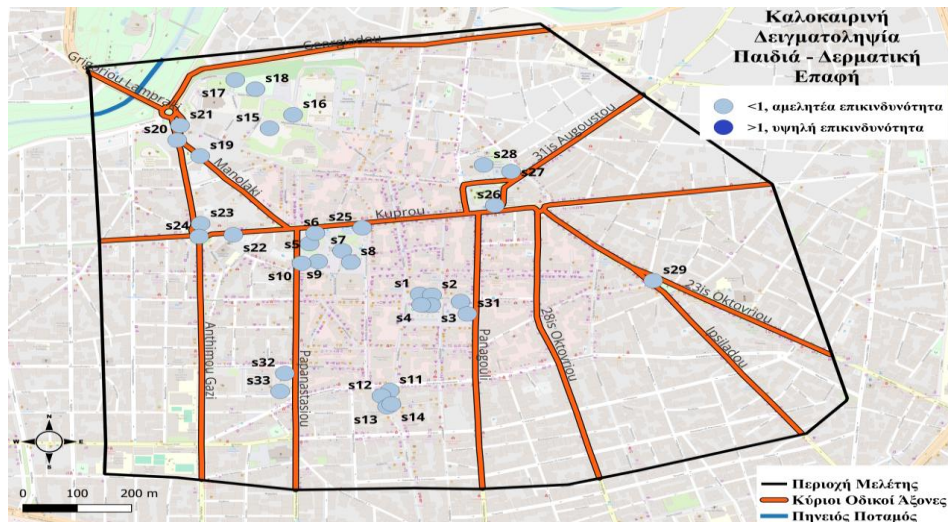
Χάρτης 4: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας για τα παιδιά με διαταραχή pica μέσω της κατάποσης.

Στο Χάρτη 4, παρατηρείται ότι τα παιδιά με τη διαταραχή της αλλοτριοφαγίας μέσω της οδού της κατάποσης απεικονίζονται με σκούρο καφέ χρώμα που υποδηλώνει υψηλή επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία αφού οι τιμές του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{ing}) είναι μεγαλύτερες της μονάδας. Σε αυτή την περίπτωση, οι επιπτώσεις στην υγεία αυτών των παιδιών είναι δυσμενείς και θα πρέπει να ληφθούν μέτρα ώστε η έκθεσή τους σε εδάφη με μεγάλη συγκέντρωση βαρέα μέταλλων να περιοριστεί καθώς μπορεί να αποβεί μοιραία για την υγεία τους.

7.7.2. Έκθεση μέσω Δερματικής Επαφής



Χάρτης 5: Απεικόνιση χωρικής παραλλακτικότητας για τους ενήλικες μέσω της δερματικής επαφής.



Χάρτης 6: Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας για τα παιδιά μέσω της δερματικής επαφής.

Στους Χάρτες 5 και 6, απεικονίζονται οι ενήλικες και τα παιδιά με ανοιχτό πράσινο και ανοιχτό γαλάζιο χρώμα αντίστοιχα, που εκτίθενται μέσω της οδού της δερματικής επαφής. Σύμφωνα με το χρώμα στους δύο χάρτες, παρατηρείται ότι καμία από τις δύο ομάδες δε διατρέχει σοβαρό κίνδυνο για την υγεία της αφού οι τιμές του συντελεστή επικινδυνότητας (HQ_{derm}) είναι μικρότερες της μονάδας.

Κεφάλαιο 8

Πρόταση για Μελλοντική Μελέτη

- Δειγματοληψία και ανάλυση εδαφικών δειγμάτων για όλες τις εποχικές περιόδους του χρόνου και σε περισσότερα μέρη με πράσινη επιφάνεια, τόσο στον κεντρικό ιστό της πόλης όσο και σε ολόκληρο τον Δήμο, στοχεύοντας έτσι σε μία πιο συγκροτημένη εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με το επίπεδο ρύπανσης της Λάρισας.
- Έλεγχος της αλληλεπίδρασης μεταξύ των μετάλλων.
- Εξαγωγή συμπερασμάτων με τη βοήθεια του προσδιορισμού των δεικτών ρύπανσης.
- Έρευνα της ρύπανσης του εδάφους σε μέρη που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή, όπως περιοχές που βρίσκονται πλησίον της βιομηχανικής ζώνης, σχολικές αυλές, νοσοκομεία και παιδικά πάρκα.
- Αξιολόγηση της ρύπανσης που δημιουργείται από βαρέα μέταλλα στο περιβάλλον αλλά και στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα της Λάρισας και προσδιορισμός των κινδύνων που εμφανίζονται.
- Κατασκευή θεματικών χαρτών προκειμένου έχουμε καλύτερη συνολική εικόνα της ρύπανσης του εδάφους.

Κεφάλαιο 9

Βιβλιογραφία

9.1. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αντωνοπούλου, Μ. (2020). *Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών αστικών πάρκων Θήβας*. (Διπλωματική εργασία). Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. URI: <http://hdl.handle.net/10329/7318>
- ΑΣλανίδης, Π. (2022). *Αστική ρύπανση και εν δυνάμει τοξικά στοιχεία, κατά τα έτη 2018-2021 – Περίπτωση μελέτης: Βόλος, Ελλάδα*. (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Γκόλια, Ε. (2003). *Ρύπανση Εδαφών Θεσσαλίας από βαρέα μέταλλα (Zn, Cu, Mn, Fe, Cd και Pb) και πρόσληψη αυτών από ποικιλίες καπνού. Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των βαρέων μετάλλων σε επιλεγμένες περιοχές μελέτης*. (Διδακτορική διατριβή). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Διαθέσιμο από: Ιδρυματικό Αποθετήριο Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. URI: <http://hdl.handle.net/11615/52194>
- Δικαίος, Γ. (2018). *Η συμβολή Των Ηνωμένων Εθνών Στην Επανασύνδεση Της Βιώσιμης Ανάπτυξης Με Την Προστασία Του Περιβάλλοντος: Επιστήμη Και Κοινωνία: Επιθεώρηση Πολιτικής Και Ηθικής Θεωρίας*, 37, 139. <http://doi.org/10.12681/sas.10832>
- Δόντα, Ε. (2010). *Ευρωπαϊκό Νομοθετικό Πλαίσιο για την προστασία του εδάφους*. (Διπλωματική εργασία). Ανακτήθηκε από: <http://ikee.lib.auth.gr/record/123220?ln=el>
- Ζώττα, Ε. (2018). *Συγκριτική Μελέτη Τεχνολογιών Φυτοεξυγίανσης Ρυπασμένων Εδαφών Από Βαρέα Μέταλλα*. (Διπλωματική εργασία). Διαθέσιμο από: <http://apothesis.eap.gr/handle/repo/40372>
- Καραγιαννίδης Π., (2009). *Ειδική Ανόργανη Χημεία: Τα χημικά στοιχεία και οι ενώσεις τους*. 4^η Έκδοση. ISBN: 978-960-456-128-5. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Καρτάλης, Κ., Φειδάς, Χ. (συγγ.) (2015) *Αρχές και εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Κατρίτσης, Δ. (2016). *Κινητικότητα και βιοπροσβασιμότητα δυνητικά τοξικών στοιχείων σε επιφανειακά εδάφη του λεκανοπεδίου Αθηνών*. (Διπλωματική εργασία). ΕΚΠΑ. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος – Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας. Ανάκτηση από: <http://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/browse.html?p.id=1318141>
- Κατσίκης, Ι. (2017). *Προσδιορισμός κινητικότητας βαρέων μετάλλων σε φυσικά εδάφη: Παραδείγματα από μεταλλοφόρες και μη περιοχές της Ελλάδας*. (Διπλωματική εργασία) Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Ανάκτηση από: <http://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dlfrontend/file/lib/default/data/2016221/theFile>

- Κούγκολος, Α. (2021). *Περιβαλλοντική μηχανική: Ρύπανση & Προστασία Περιβάλλοντος*. 3^η Έκδοση. ISBN: 978-960-418-868. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Κουκουλάκης, Π., Καλαβρουζιώτης, Ι., Κόκκινος, Π. (συγγ.) (2018) *Η γεωχημική συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον*, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Ματζίρης, Ε. (2011). *Χαρακτηριστικά των εδαφών της Θεσσαλονίκης και εκτίμησή τους ως μέσου ανάπτυξης του αστικού πρασίνου*. (Διδακτορική διατριβή). Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Διαθέσιμο από: Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών.
- Μισοπολινός Ν., Οικαλιώτης Κ., (επιμ.), 2015. *Εδαφολογία: Η φύση και οι ιδιότητες των εδαφών*. ISBN: 978-960-8002-62-3. Αθήνα: Εκδόσεις Έμβρυο.
- Μπαξεβανίδου, Σ. (2002). *Η Έννοια της αειφορίας και η ενσωμάτωση της στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο*. 89. Ανάκτηση από: http://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esdd/13/2/425.pdf
- Παναγιωτόπουλος Κ.Π., (2008). *Εδαφολογία*. ISBN: 978-960-98288-9-5. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γαρταγάνη.
- Παπαδήμου, Σ. (2020). *Μελέτη των επιπέδων βαρέων μετάλλων (Zn, Cu, Ni, Pb και Cd) σε εδαφικά δείγματα στο κέντρο της πόλης του Βόλου*. (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Διαθέσιμο από: Ιδρυματικό Αποθετήριο Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. URI: <http://hdl.handle.net/11615/52034>
- Παπαθεοδώρου, Σ. (2022). *Διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων ενός έντονα ρυπασμένου εδάφους σε τρία είδη φυτών*. (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Ανάκτηση από: <https://core.ac.uk/download/pdf/132825455.pdf>
- Παπαφιλίππακη, Α. (2004). *Αποκατάσταση εδαφών επιβαρυνμένων με μόλυβδο - Καινοτόμες τεχνολογίες - Κριτήρια επιλογής - Ανάλυση Δαπανών*. (Διπλωματική εργασία). Πολυτεχνείο Κρήτης. Διαθέσιμο από: Ιδρυματικό Αποθετήριο. URI: <http://purl.tuc.gr/dl/dias/6EA5F5BF-CFF6-4EE2-80F5-41775FB0596A>
- Τράντας Ν. (2017). *Η Αντζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη και το εθνικό πλαίσιο εφαρμογής*. Παρουσίαση στην εκδήλωση του ΕΛΟΤ "Πρότυπα για Βιώσιμες και έξυπνες Πόλεις", Αθήνα, 13 Οκτωβρίου 2017
- Τσούκα, Α. (2021). *Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης*. (Διπλωματική εργασία). Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. URI: <http://hdl.handle.net/10329/7415>
- Φλίγκος, Γ. (2017). *Γεωχημική διασπορά μολύβδου και ψευδαργύρου σε επιφανειακά αστικά εδάφη των Αθηνών*. (Διπλωματική εργασία). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Διαθέσιμο από: <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/1337679>
- Χαριζάνη, Α. (2022). *Στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης και έδαφος – εκτίμηση της ρύπανσης από Cu και Zn σε εδάφη του αστικού ιστού της Θεσσαλονίκης*. (Διπλωματική εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Χρυσοστομίδης, Π. (2016). *Διασπορά Βαρέων Μετάλλων σε Αστικά Εδάφη : η Περίπτωση του Πάρκου Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης Αντώνης Τρίτσης*. (Διπλωματική εργασία).

9.2. Ξένη Βιβλιογραφία

- Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Levizou, E., Shahid, M., Niazi, N. K., Vithanage, M., ... Rinklebe, J. (2019). A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment? - A review. *Environment International*, 127, 819–847.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.039>
- Baumgartl, T. (1998). Physical soil properties in specific fields of application especially in anthropogenic soils. *Soil and Tillage Research*, 47(1–2), 51–59.
[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00072-5)
- Bradl, H., Kim, C., Kramar, U., & StÜben, D. (2005). *Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation. Interface Science and Technology* (Vol. 6). Elsevier Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(05\)80021-3](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(05)80021-3)
- Caito, S., & Aschner, M. (2017). Developmental Neurotoxicity of Lead. In M. Aschner & L. G. Costa (Eds.), *Neurotoxicity of Metals* (p. 377). Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-60189-2>
- Christoforidis, A., & Stamatis, N. (2009). Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, 151(3–4), 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.04.016>
- Golia, E. E., Charitodiplomenou, M. A., Papadimou, S. G., Kantzou, O. D., Tsiropoulos, N. G. (2021b) 'Influence of soil inorganic amendments on heavy metal accumulation by leafy vegetables', *Environmental Science and Pollution Research*
- Golia, E. E., Dimirkou, A. and Floras, St. A. (2015) 'Spatial monitoring of arsenic and heavy metals in the Almyros area, Central Greece. Statistical approach for assessing the sources of contamination', *Environ. Monit. Assess.*, 187, 7, 399.
- Golia, E. E., Dimirkou, A., & Mitsios, I. K. (2008). Levels of heavy metals pollution in different types of soil of Central Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9346-9>
- Golia, E. E., Füleky, G., Dimirkou, A., Antoniadis, V. A, Tsiropoulos, N. G. and Gizas, G. (2017) 'Influence of Zeolite and *Posidonia oceanica* (L.) in the Reduction of Heavy Metal Uptake by Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Plants of Central Greece', *Water Air Soil Pollution*.
- Golia, E. E., Papadimou, S. G., Calavaris, C. and Tsiropoulos, N. G. (2021a) 'Level of Contamination Assessment of Potentially Toxic Elements in the Urban Soils of Volos City (Central Greece)', *Sustainability*.
- Guilland, C., Maron, P. A., Damas, O., & Ranjard, L. (2018). Biodiversity of urban soils for sustainable cities. *Environmental Chemistry Letters*, 16(4), 1267–1282.
<https://doi.org/10.1007/s10311-018-0751-6>

- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., & Han, W. (2019). A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques. *Soil and Sediment Contamination*, 28(4), 380–394.
<https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>
- Li, G., Sun, G. X., Ren, Y., Luo, X. S., & Zhu, Y. G. (2018). Urban soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 196–215.
<https://doi.org/10.1111/ejss.12518>
- Massas, I., Ehaliotis, C., Gerontidis, S., & Sarris, E. (2009). Elevated heavy metal concentrations in top soils of an Aegean island town (Greece): Total and available forms, origin and distribution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 151(1–4), 105–116.
<https://doi.org/10.1007/s10661-008-0253-2>
- Morel, J. L., Schwartz, C., Florentin, L., & Kimpe, C. de. (2005). Urban agriculture in the 21st century. In *Encyclopedia of Soils in the Environment* (Issue 2, pp. 202–208).
<https://doi.org/10.1201/9781315154251>
- Pouyat, R. V, Day, S. D., Brown, S., Schwarz, K., Shaw, R. E., Szlavecz, K., Trammell, T. L. E., & Yesilonis, I. D. (2020). Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions. *Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45216-2>
- Rodrigues, S. M., Henriques, B., da Silva, E. F., Pereira, M. E., Duarte, A. C., & Römken, P. F. A. M. (2010). Evaluation of an approach for the characterization of reactive and available pools of twenty potentially toxic elements in soils: Part I - The role of key soil properties in the variation of contaminants' reactivity. *Chemosphere*, 81(11), 1549–1559.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.07.026>
- Siegel, F.R. (2002) *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04739-2>
- Singh, U. K., & Kumar, B. (2017). Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India. *Chemosphere*, 174, 183–199.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.103>
- USEPA. (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. I(December), 289. <https://doi.org/EPA/540/1-89/002>
- Wang, J., & Chen, C. (2006). Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.001>
- Yang, J., Zhang, G., Yang, J., & Zhang, G. (2015). Formation , characteristics and eco-environmental implications of urban soils – A review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(0), 30–46. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1035622>

9.3. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Copper, AtomicNumber=29 (2019), <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Copper>
- National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Zinc, AtomicNumber=30 (2019), <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Zinc>

National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Cadmium,
AtomicNumber=48 (2019), <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Cadmium>

National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Lead,
AtomicNumber=82 (2019), <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Lead>

ΥΠΕΝ (2022) Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050. Ανακτήθηκε στις 22/05/2023.
http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2019/12/MΣ50_091219_public-consultation.pdf

