

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών Αλλαγών και Κυκλική Οικονομία»



Διπλωματική Εργασία

Βιώσιμη διαχείριση εδαφικών ρύπων. Καταγραφή της αστικής εδαφικής
ρύπανσης στη Ελλάδα & βέλτιστοι τρόποι διαχείρισης αυτής.

Καφφέ Γεωργία Γαρυφαλιά

Βόλος 2024

Βιώσιμη διαχείριση εδαφικών ρύπων. Καταγραφή της αστικής εδαφικής
ρύπανσης στη Ελλάδα & βέλτιστοι τρόποι διαχείρισης αυτής.

Καφφέ Γεωργία Γαρυφαλιά

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Επιβλέπουσα:

Γκόλια Ε. Ευαγγελία, Αν. Καθηγήτρια.

Εδαφολογία. Τμήμα Γεωπονίας. Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας & Φυσικού
Περιβάλλοντος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μέλη:

Τσιρόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής.

Χημεία, Ανάλυση και προσδιορισμός οργανικών ουσιών. Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής
Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Χριστοπούλου Όλγα, Καθηγήτρια.

Ανάπτυξη και Προστασία Αγροτικού και Ορεινού Χώρου. Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας,
Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης. Πολυτεχνική Σχολή. Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στην οικογένεια και τους φίλους μου που με στήριξαν σταθερά σε όλη την προσπάθειά μου και αποτέλεσαν μία σταθερή πηγή δύναμης και κινήτρων.

Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων στην καθηγήτριά μου και Επιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Ευαγγελία Γκόλια, για την καθοδήγηση, την κατανόηση, την υπομονή και την ακλόνητη πίστη στις ικανότητές μου, που ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Οφείλω επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους καθηγητές της Τριμελούς Επιτροπής, κ. Νικόλαο Τσιρόπουλο και κ. Όλγα Χριστοπούλου, καθώς και σε όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος. Οι πολύτιμες γνώσεις και ιδέες τους δεν έπαψαν ποτέ να με εμπνέουν και να καλλιεργούν το όνειρό μου για ένα βιώσιμο μέλλον.

Τέλος, εκφράζω την εκτίμησή μου σε όλα τα άτομα που συνέβαλαν με διάφορους τρόπους, έστω και μικρούς, στην διαμόρφωση της ακαδημαϊκής και προσωπικής μου εξέλιξης κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, επιβεβαιώνοντας το ενδιαφέρον μου για αυτόν τον τομέα και ενισχύοντας την αποφασιστικότητά μου να συνεχίσω.

Σας ευχαριστώ όλους που συμμετείχατε σε αυτό το μεταμορφωτικό κεφάλαιο της ζωής μου.

Περίληψη

Η ρύπανση των εδαφών έχει καταστεί πιεστικό ζήτημα τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της κλιμάκωσης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, που επηρεάζουν εκτός από το γεωργικό και το αστικό περιβάλλον. Η συσώρευση των ρύπων θέτει άμεσα σε κίνδυνο την ποιότητα των αστικών εδαφών, εγκυμονώντας έτσι σημαντικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και την οικονομική βιωσιμότητα. Υπό το πρίσμα αυτών των προκλήσεων, η παρούσα διατριβή επιχειρεί να πραγματοποιήσει μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση των υφιστάμενων μελετών που έχουν διεξαχθεί στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία, με στόχο την ανάλυση των δεδομένων και τη συγκριτική αξιολόγηση του ρόλου και της επικινδυνότητας που ενέχουν τα βαρέα μέταλλα στα αστικά εδαφικά περιβάλλοντα και επιδιώκει να προσφέρει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της ποιότητας του εδάφους στις ελληνικές πόλεις. Μελετώνται 27 έρευνες από τις πόλεις της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης, του Βόλου και της Θήβας, όπως και για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής (Λάυριο, Θριάσιο Πεδίο) και της Θεσσαλίας. Η ανάλυση των ποσοτικών αποτελεσμάτων αποκαλύπτει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την κατανομή βασικών ρύπων, όπως ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), το κάδμιο (Cd) και το νικέλιο (Ni) στα αστικά εδάφη αυτών. Το 65% των περιοχών που ερευνήθηκαν ανέφεραν τιμές πάνω από τα όρια της ΕΕ, υπογραμμίζοντας την εκτεταμένη φύση της ρύπανσης του εδάφους στα αστικά περιβάλλοντα. Αντίθετα, στο 35% των μελετών καταγράφηκαν τιμές κάτω από τα προβλεπόμενα όρια, υποδεικνύοντας περιοχές όπου η ρύπανση του εδάφους μπορεί να είναι λιγότερο έντονη. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις Pb, περισσότερες από τις μισές περιοχές που ερευνήθηκαν εμπίπτουν στον εύρος των επιτρεπτών ορίων που έχουν οριστεί από την ΕΕ και μόνο ένα 5% τις υπερβαίνει. Αντίθετα για τον Zn, 60% των ερευνών αναφέρουν τιμές κάτω από τα 150 mg/kg της οριακής συγκέντρωσης και στις συγκεντρώσεις του Cr, το 74% των περιοχών που συμπεριλαμβάνονται στην ανασκόπηση παρουσιάζουν επίσης τιμές κάτω από το επιτρεπόμενο όριο, υποδηλώνοντας ενθαρρυντικά ευρήματα. Για τα Cu και Cd, το 21% και 15% αντίστοιχα, εμφάνισε αυξημένες συγκεντρώσεις, τονίζοντας την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις σε συγκεκριμένες περιοχές. Το Ni είναι το στοιχείο στο οποίο εντοπίζονται οι περισσότερες αυξημένες συγκεντρώσεις, με 68% των ερευνών να εντοπίζουν τιμές άνω των θεσμοθετημένων ορίων.

Λέξεις κλειδιά: αστική εδαφική ρύπανση, βαρέα μέταλλα, μεσογειακά περιβάλλοντα

Abstract

Soil pollution has become a pressing issue in recent decades due to the escalation of anthropogenic activities, affecting not only the agricultural but also the urban environment. The accumulation of pollutants directly compromises the quality of urban soils, thus posing significant risks to human health and economic sustainability. In light of these challenges, this thesis attempts to conduct a comprehensive literature review of the existing studies conducted in Greece over the last decade, aiming to analyze the data and benchmark the role and risk of heavy metals in urban soil environments and seeks to provide a comprehensive overview of soil quality in Greek cities. 27 studies from the cities of Athens, Thessaloniki, Volos and Thebes, as well as for the wider region of Attica (Lavrio, Thriasio Field) and Thessaly are studied. The analysis of the quantitative results reveals important information on the distribution of key pollutants such as lead (Pb), zinc (Zn), chromium (Cr), copper (Cu), cadmium (Cd) and nickel (Ni) in the urban soils of these cities. 65% of the investigated studies reported values above EU thresholds, underlining the widespread nature of soil pollution in urban environments. In contrast, 35% of the studies recorded values below the predicted limits, indicating areas where soil pollution may be less severe. In terms of Pb concentrations, more than half of the studies fall within the range of the permissible limits set by the EU and only 5% exceed them. In contrast, for Zn, 60% of the studies report values below 150 mg/kg of the limit concentration and for Cr concentrations, 74% of the studies included in the review also show values below the permitted limit, indicating encouraging findings. For Cu and Cd, 21% and 15%, respectively, showed elevated concentrations, highlighting the need for targeted interventions in specific areas. Ni is the element where most elevated concentrations are found, with 68% of studies identifying values above the regulatory limits.

Keywords: urban soil pollution, heavy metals, Mediterranean environments

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	iii
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2. Έδαφος και ρύπανση	3
2.1. Φυσικά Εδάφη	3
2.2 Αστικά εδάφη.....	3
2.3. Ρύπανση του εδάφους	4
2.3.1. Φυσικές πηγές ρύπανσης	4
2.3.2. Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης	5
2.3.3. Η κοινωνική και οικονομική πτυχή της εδαφικής ρύπανσης	6
2.3.4. Αστική ρύπανση	8
2.4. Ιχνοστοιχεία - Βαρέα μέταλλα και εν δυνάμει τοξικά στοιχεία	12
2.4.1. Βιοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων στο έδαφος.....	12
2.4.2. Μέταλλα τα οποία πραγματεύεται η παρούσα εργασία	13
2.5. Βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης της ρύπανσης του εδάφους	23
Κεφάλαιο 3. Η προστασία του εδάφους στην Νομοθεσία	26
3.1. Ευρώπη.....	26
3.2. Ελλάδα.....	28
Κεφάλαιο 4. Το έδαφος και η αστική βιωσιμότητα υπό το πρίσμα των Στόχων της Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ	31
Στόχος 2: Καταπολέμηση της Πείνας (Zero Hunger)	34
Στόχος 3: Καλή υγεία και ευημερία (Good health and well-being)	35
Στόχος 6: Καθαρό Νερό και Υγιεινή (Clean Water and Sanitation)	36
Στόχος 11: Βιώσιμες Πόλεις και Κοινότητες (Sustainable Cities and Communities)	37
Στόχος 12: Υπεύθυνη Κατανάλωση και Παραγωγή (Responsible Consumption and Production)	38
Στόχος 13: Δράση για το Κλίμα (Climate Action).....	39
Στόχος 15: Ζωή στη Στεριά (Life on Land)	39
4.1. Προκλήσεις	41
4.2. Εξέλιξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης	43
Κεφάλαιο 5. Υλικά και Μέθοδοι	47
5.1. Μεθοδολογία προσέγγισης της βιβλιογραφίας	47
5.2. Μεθοδολογία προσδιορισμού των μετάλλων στα εδαφικά δείγματα.....	48
Κεφάλαιο 6. Περιοχές μελέτης	50

6.1. Αττική.....	50
6.1.1. Αθήνα.....	50
6.1.2. Θριάσιο Πεδίο	53
6.1.3. Λαύριο	54
6.2. Θεσσαλονίκη.....	55
6.3. Θεσσαλία	57
6.3.1. Βόλος	58
6.4. Θήβα.....	59
Κεφάλαιο 7. Ανάλυση αποτελεσμάτων και συζήτηση	61
7.1. Αποτελέσματα ανά περιοχή μελέτης.....	62
7.1.1. Αττική.....	62
7.1.2. Θεσσαλονίκη	64
7.1.3. Θεσσαλία	65
7.1.4. Θήβα	65
7.2. Αποτελέσματα ανά στοιχείο.....	66
7.2.1. Μόλυβδος (Pb)	66
7.2.2. Ψευδάργυρος (Zn).....	68
7.2.3. Χρώμιο (Cr).....	70
7.2.4. Αρσενικό (As)	73
7.2.5. Χαλκός (Cu)	73
7.2.6. Κάδμιο (Cd)	75
7.2.7. Υδράργυρος (Hg)	77
7.2.8. Νικέλιο (Ni)	77
7.2.9. Κοβάλτιο (Co)	80
7.2.10. Μαγγάνιο (Mn).....	81
Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα	83
Βιβλιογραφία.....	85
Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	85
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	86
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	92

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Οι μετρήσιμες οικονομικές απώλειες λόγω της ρύπανσης του εδάφους σχηματικά.....	7
Σχήμα 2: Οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ.....	31
Σχήμα 3: Τα μείζονα παγκόσμια ζητήματα των ΣΒΑ, η λύση των οποίων είναι η κοινή συνιστώσα της εύρυθμης λειτουργίας των εδαφών και τα αντίστοιχα ερευνητικά πεδία τους.....	33
Σχήμα 4: Επισκόπηση των ΣΒΑ με ισχυρή συνάφεια με το έδαφος.....	34
Σχήμα 5: Ο αντίκτυπος των εδαφών στην επίτευξη των ΣΒΑ.....	41
Σχήμα 6: Τρέχουσα κατάσταση της προόδου προς την κατεύθυνση των ΣΒΑ, με βάση επιλεγμένους στόχους και τους δείκτες τους.....	44
Σχήμα 7: Οι περιοχές μελέτης και η κατανομή τους με βάση τον αριθμό των μελετών που βρέθηκαν για κάθε μία.....	48
Σχήμα 8: Τα εν δυνάμει τοξικά στοιχεία και ο αριθμός των ερευνών στις οποίες απαντήθηκαν...61	
Σχήμα 9: Συνολικό ποσοστό ερευνών στις οποίες βρέθηκαν τιμές άνω των θεσμοθετημένων ορίων της ΕΕ και κάτω από αυτά για τα Pb, Zn, Cu, Ni, Cr.....	62
Σχήμα 10: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Pb.....	67
Σχήμα 11: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Zn.....	70
Σχήμα 12: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Cr.....	72
Σχήμα 13: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Cu.....	75
Σχήμα 14: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Cd.....	76
Σχήμα 15: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Ni.....	79

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στην Αθήνα....	51
Πίνακας 2. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στο Θριάσιο Πεδίο.....	54
Πίνακας 3. Στοιχεία μελέτης που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στο Λαύριο.....	55
Πίνακας 4. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στη Θεσσαλονίκη.....	56
Πίνακας 5. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στη Θεσσαλία, εκ των οποίων οι αντίστοιχες για τον Βόλο και τον Αλμυρό.....	57
Πίνακας 6. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στην πόλη της Θήβας.....	60

Πίνακας 7: Όρια επιτρεπτών συγκεντρώσεων για τα Cu, Zn, Cd, Pb και Ni, σύμφωνα με την οδηγία 86/278/ΕΟΚ.....	61
Πίνακας 8. Συγκεντρώσεις μολύβδου σε κάθε έρευνα.....	66
Πίνακας 9. Συγκεντρώσεις ψευδαργύρου σε κάθε έρευνα.....	68
Πίνακας 10. Συγκεντρώσεις χρωμίου σε κάθε έρευνα.....	70
Πίνακας 11. Συγκεντρώσεις αρσενικού σε κάθε έρευνα.....	73
Πίνακας 12. Συγκεντρώσεις χαλκού σε κάθε έρευνα.....	73
Πίνακας 13. Συγκεντρώσεις καδμίου σε κάθε έρευνα.....	75
Πίνακας 14. Συγκεντρώσεις υδραργύρου σε κάθε έρευνα.....	77
Πίνακας 15. Συγκεντρώσεις νικελίου σε κάθε έρευνα.....	77
Πίνακας 16. Συγκεντρώσεις κοβαλτίου σε κάθε έρευνα.....	80
Πίνακας 17. Συγκεντρώσεις μαγγανίου σε κάθε έρευνα.....	81

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Τα εδάφη έχουν ιστορικά χρησιμεύσει ως το πρωταρχικό μέσο για τη γεωργία, παρέχοντας άμεσα ή έμμεσα τροφή σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία, με τις επιπτώσεις τους να ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση των αλληλεπιδράσεων ανθρώπου-εδάφους. Είναι ανησυχητικό ότι, όπως τονίζει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, άνω του 60% των ευρωπαϊκών εδαφών θεωρείται σήμερα ότι βρίσκεται σε κακή κατάσταση, με στοιχεία που υποδηλώνουν μια τάση επιδείνωσης και ως βασική αιτία υπογραμμίζεται η μη βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων. Ιδιαίτερα η υποβάθμιση και η ρύπανση των εδαφών ξεχωρίζει ως σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στη συνεχιζόμενη κρίση του κλίματος και της βιοποικιλότητας, καθώς έχει προκαλέσει οικονομικές απώλειες που εκτιμώνται σε πάνω από 50 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως, κυρίως λόγω της εξάντλησης των κρίσιμων οικοσυστημικών υπηρεσιών που παρέχουν τα εδαφικά συστήματα (https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/qanda_23_3637).

Η επέκταση των πόλεων, που οφείλεται σε αναπτυξιακές, οικονομικές και κοινωνικές απαιτήσεις, συνεχίζει να ασκεί πίεση στο αστικό τοπίο, οδηγώντας σε αυξημένες διαταραχές και υποβάθμιση αυτού. Ως αποτέλεσμα, η επιστήμη των αστικών εδαφών εξελίσσεται και αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, ιδίως καθώς τα ποσοστά αστικοποίησης συνεχίζουν να αυξάνονται, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες αστικές περιοχές και πυκνωση του πληθυσμού στις πόλεις. Σύμφωνα με τα ευρήματα του FAO και του UNEP το 2021, περίπου το 73% του πληθυσμού της Ευρώπης κατοικεί σε αστικά κέντρα, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί στο 82% μέχρι το 2050. Οι προσπάθειες για την κατανόηση των παραγόντων σχηματισμού, των διεργασιών και των ιδιοτήτων τους, επεκτείνονται παγκοσμίως, με την ερμηνεία της δυναμικής τους και την ανάπτυξη και βελτίωση των κατάλληλων στρατηγικών διαχείρισης να βρίσκεται σε εξέλιξη.

Οι λειτουργίες και οι αξίες των αστικών εδαφών διαφέρουν σημαντικά από εκείνες άλλων οικοσυστημάτων λόγω της στενής εξάρτησής τους από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και παρουσιάζουν διαφορετικές λειτουργίες και προκλήσεις διαχείρισης σε σύγκριση με τα γεωργικά εδάφη. Η αστικοποίηση επιφέρει αυξημένη διαταραχή, τροποποίηση και μετακίνηση του εδάφους λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης, έτσι οι φυσικοί παράγοντες διαμόρφωσης του εδάφους τείνουν να επισκιάζονται, οδηγώντας σε μοναδικά φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά (Scharenbroch et al., 2022). Δεδομένου ότι οι αστικοί πληθυσμοί βασίζονται στο έδαφος για πολυάριθμες οικοσυστημικές υπηρεσίες, η άμεση συσχέτιση μεταξύ της ανθρώπινης υγείας και της ποιότητας του αστικού εδάφους γίνεται πλέον εμφανής. Επομένως, η αποτελεσματική διαχείριση αυτού του τύπου εδάφους, απαιτεί καινοτόμες προσεγγίσεις προσαρμοσμένες στις ειδικές ανάγκες και προκλήσεις τους, με στόχο τόσο τη στήριξη των αστικών πληθυσμών, αλλά και την ενίσχυση της αστικής βιωσιμότητας.

Υπό το πρίσμα αυτών των προκλήσεων, η παρούσα βιβλιογραφική μελέτη ερευνά την διερεύνηση των εδαφικών ρυπαντών την τελευταία δεκαετία στην Ελλάδα, με έμφαση στις έρευνες που πραγματεύονται τις συγκεντρώσεις των εν δυνάμει τοξικών στοιχείων, όπως ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn), το χρώμιο (Cr), το αρσενικό (As), ο χαλκός (Cu), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) και το νικέλιο (Ni). Στόχος είναι η κατανόηση των τάσεων της αστικής εδαφικής ρύπανσης στη χώρα και ο εντοπισμός και συσχέτισή τους με κοινές πηγές ρύπανσης σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες.

Η εργασία διαρθρώνεται σε οκτώ κεφάλαια, εκ των οποίων στο πρώτο παρουσιάστηκε το θέμα ενδιαφέροντος και οι προβληματισμοί που αναδύονται, το κίνητρο για την εκπόνηση της ανασκόπησης και αναφέρονται τα ακόλουθα κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται οι αναγκαίοι όροι, που είναι το πρώτο βήμα για να εκτυλιχθεί στη συνέχεια το τρίτο κεφάλαιο που αναφέρει την νομοθεσία γύρω από την προστασία των εδαφών και το τέταρτο όπου γίνεται λόγος για τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών επί του θέματος. Εν συνεχεία, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται επεξήγηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας, όπως και του συνήθη προσδιορισμού των βαρέων μετάλλων στις επιμέρους μελέτες που συμπεριλήφθηκαν. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πόλεις που συγκαταλέγονται στη βιβλιογραφία καθώς και βασικά στοιχεία για αυτές, ενώ στο έβδομο αποτιμώνται τα αποτελέσματα, μετά από ανάλυση και σύγκριση μεταξύ των, ανά κατηγορίες. Εν κατακλείδι στο τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται σύνοψη των ευρημάτων και προτάσεις για την περαιτέρω μελέτη της αστικής εδαφικής ρύπανσης στην χώρα.

Κεφάλαιο 2. Έδαφος και ρύπανση

2.1. Φυσικά Εδάφη

Το φυσικό έδαφος λειτουργεί ως ένα δυναμικό οικοσύστημα που αποτελείται από ορυκτά, οργανική ύλη, ζωντανούς οργανισμούς, νερό και αέρα, στο οποίο λαμβάνει χώρα η συνεχής ανταλλαγή ύλης και ενέργειας με το περιβάλλον μέσω μιας ποικιλίας φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών (Guo, 2021). Επομένως διαδραματίζει ρόλο ζωτικής σημασίας, καθώς υποστηρίζει την ανάπτυξη των φυτών, ρυθμίζει την κίνηση και τον καθαρισμό του νερού, διασπά την οργανική ύλη για την ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών, παρέχει βιότοπο για διάφορους οργανισμούς και συμβάλλει στον μετριασμό των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών αλλαγών (Guo, 2021). Οι βασικές διεργασίες που οδηγούν στον σχηματισμό των εδαφών είναι η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, η αποσάθρωση των πετρωμάτων και των ορυκτών, και η απόθεση ποικίλων υλικών που μπορεί να προέρχονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές (Χρυσοστομίδης, 2016).

Ένα έδαφος αξιολογείται ως «υγιές» εάν παρέχει συγκρίσιμες ή καλύτερες οικοσυστημικές λειτουργίες σε σχέση με αδιατάρακτα εδάφη αναφοράς παρόμοιου τύπου στην ίδια περιοχή (FAO and UNEP, 2021). Η υποβάθμιση του εδάφους χαρακτηρίζεται από τους Nunes et al (2020) ως «η απώλεια των εγγενών φυσικών, χημικών και/ή βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς διεργασίες, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση ή τον αφανισμό σημαντικών λειτουργιών του οικοσυστήματος» (Guo, 2021).

2.2 Αστικά εδάφη

Ως αστικά εδάφη μπορούν να θεωρηθούν εκείνα που περικλείονται εντός των διοικητικών ορίων των δήμων ή των οικισμών, όπως αντίστοιχα και μία περιοχή ενός οικισμού και φυσικής παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων εδαφών σε νέες πόλεις (Sager, 2020). Τα αστικά εδάφη διαφέρουν από τα μη αστικά, διότι διαμορφώνονται και κυριαρχούνται από την ανθρωπογενή προέλευσή τους, αλλά δεν παύουν να είναι κρίσιμης σημασίας, καθώς επιτελούν λειτουργίες για την ρύθμιση του νερού και του κλίματος, για το φιλτράρισμα των θρεπτικών ουσιών και των ρύπων και τη δέσμευση του άνθρακα, συνιστώντας ταυτόχρονα βιότοπο, χώρο αναψυχής, φορέα και μέσο της μηχανικής (Foldal et al., 2022). Σύμφωνα με όσα παραθέτει η Χαριζάνη (2022), από το 2000 και έπειτα έχει υιοθετηθεί ο όρος «ανθρωπογενή εδάφη» από πολλούς ερευνητές, ο οποίος τοποθετεί τα αστικά εδάφη σε ένα ευρύτερο πλαίσιο εδαφών. Ο εν λόγω όρος αναφέρεται σε αυτά που επηρεάζονται γενικότερα από τις ανθρώπινες πρακτικές και επεκτείνεται ακόμα και σε ως επί το πλείστον αδιατάρακτα συστήματα που υπέστησαν αστικές περιβαλλοντικές μεταβολές, χαρακτηριστικό παράδειγμα των οποίων είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση.

Τα συγκεκριμένα εδάφη εκτίθενται διαρκώς σε δυνητικούς ρυπαντές, είτε μέσω της διάχυτης, συνεχούς εισροής με αργό ρυθμό, αλλά και με βραχυπρόθεσμη εντατική τοπική εισροή μέσω μεμονωμένων συμβάντων (Foldal et al., 2022). Επομένως, η συγκέντρωση των ρύπων εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό και τους τρόπους αστικοποίησης μιας περιοχής.

Οι Lehmann and Stahr (2007) και οι Yang and Zhang (2015) αναφέρουν ότι τα αστικά εδάφη, σε σύγκριση με τα φυσικά, περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες άνθρακα, θρεπτικών συστατικών, διαφόρων μη τυπικών υλικών και ρύπων, έχουν υψηλότερο pH (ιδιαίτερα τα εδάφη κοντά σε δρόμους) και παρουσιάζουν υποβαθμισμένη δομή (Foldal et al., 2022). Επιπρόσθετα, η διαφοροποιημένη σύσταση, σε συνδυασμό με την συμπίεση, επηρεάζουν δραματικά τις φυσικές λειτουργίες του, δημιουργούν ένα σκληρό περιβάλλον για τον υπέργειο και τον υπόγειο βιόκοσμο και κατ' επέκταση υπάρχει σημαντική μείωση της ικανότητας παροχής μικροκλιματικής ρύθμισης (Χαριζάνη, 2022; Foldal et al., 2022).

Όπως περιγράφει ο Greinert (2015), η αξιολόγηση των ανθρώπινων επιπτώσεων στα αστικά εδάφη αντιμετωπίζει σημαντική αβεβαιότητα λόγω της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης μεταξύ της χρονικής δυναμικής των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της χωρικής ποικιλομορφίας που είναι εγγενής στα ταχέως αναπτυσσόμενα αστικά περιβάλλοντα. Αυτό γίνεται αντιληπτό από τις χρήσεις των περιοχών πριν ενσωματωθούν στον αστικό ιστό, καθώς αρκετές φορές αποτελούν παρελθοντικές γεωργικές εκτάσεις. Άλλες φορές η αστική επέκταση λαμβάνει χώρα σε τοποθεσίες που βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές ζώνες ή χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Εν ολίγοις, τα αστικά εδάφη υφίστανται μετασχηματισμό λόγω της ανθρώπινης επιρροής ακόμη και πριν αστικοποιηθούν επίσημα και εμφανίζουν ένα ευρύ φάσμα εδαφικών ιδιοτήτων που εξαρτάται από διάφορες αστικές υποδομές που αναπτύσσονται σε διαφορετικές φάσεις αστικής ανάπτυξης (Greinert, 2015). Η έρευνα των αστικών εδαφών στο σύνολό τους ως συστήματα, δυσχεραίνεται από το γεγονός ότι μεγάλο μέρος αυτών (έως το 80% στα αστικά κέντρα και μέχρι 50% στις προαστιακές περιοχές) καλύπτεται πλήρως ή διακόπτεται από κατασκευαστικές ασυνέχειες, αφήνοντας ελεύθερες προς μελέτη μόνο τις καθαρά ελεύθερες/εκτεθειμένες επιφάνειες (Χαριζάνη, 2022). Παρόλα αυτά, η αξιολόγηση του αστικού εδάφους είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό της πόλης, συμπεριλαμβανομένης της διήθησης του νερού, της συμπίεσης του εδάφους και της διαχείρισης της ρύπανσης, αφού συμβάλλει στον καθορισμό των βέλτιστων πρακτικών χρήσης γης και στη διαχείριση της υγείας του εδάφους (Foldal et al., 2022). Η αντιμετώπιση αυτών των πτυχών διασφαλίζει τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος, οδηγώντας στην καλύτερη ποιότητα ζωής σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

2.3. Ρύπανση του εδάφους

2.3.1. Φυσικές πηγές ρύπανσης

Σύμφωνα με την Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) στην δημοσίευση της παγκόσμιας αξιολόγησης της ρύπανσης του εδάφους (Global assessment of soil pollution) που διεξήχθη το 2021, τα εδάφη φιλοξενούν εκ φύσεως μια ποικιλία ρυπαντών, όπως ιχνοστοιχεία, ραδιονουκλίδια και αμιάντο, κυρίως λόγω των γεωλογικών διαδικασιών και των διαδικασιών σχηματισμού του εδάφους, ένα φαινόμενο που παραμένει αμετάβλητο ακόμη και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτή η φυσική συγκέντρωση, συχνά αναφέρεται ως «φυσική συγκέντρωση υποβάθρου» (natural background concentration) και λαμβάνει τιμές ανάλογα με την ορυκτολογική σύσταση του μητρικού υλικού του εδάφους και τις εδαφογενετικές διεργασίες (FAO and UNEP, 2021). Απαραίτητα ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος και ο ψευδάργυρος κατέχουν σημαντική θέση στην υγεία των μικροοργανισμών

του εδάφους, των φυτών και των ζώων, ενώ άλλα όπως ο μόλυβδος και ο υδράργυρος, ελλείπει ανθρώπινης δραστηριότητας, υπάρχουν σε αβλαβείς ποσότητες που δεν απειλούν το περιβάλλον ή την ανθρώπινη υγεία.

Συνοπτικά, στην αναφορά διακρίνονται οι παρακάτω φυσικές πηγές ρύπανσης του εδάφους:

- Έκπλυση των ορυκτών από τα πετρώματα: Οι φυσικές διαδικασίες φθοράς μπορούν να απελευθερώσουν βαρέα και άλλα μέταλλα στο έδαφος.
- Ηφαιστειακές Εκρήξεις: Αποθέτουν τέφρα και άλλα υλικά πλούσια σε βαρέα μέταλλα στο έδαφος, επηρεάζοντας τη χημεία του.
- Φυσικές Διαρροές Πετρελαίου: Απελευθερώνουν αργό πετρέλαιο στο περιβάλλον, το οποίο μπορεί να ρυπάνει το έδαφος με υδρογονάνθρακες και άλλες τοξικές ουσίες.
- Δασικές πυρκαγιές: Μπορούν να αποθέσουν τέφρα και άλλα υλικά καύσης στο έδαφος, εισάγοντας ενώσεις που μπορούν να μεταβάλλουν τη χημεία του.
- Πλημμύρες: Μπορούν να μεταφέρουν ρύπους από άλλες περιοχές στο έδαφος, συμπεριλαμβανομένης της οργανικής ύλης, των θρεπτικών ουσιών και των παθογόνων μικροοργανισμών, επηρεάζοντας την ποιότητα και την υγεία του.
- Δραστηριότητες ζώων: Τα άγρια ζώα μπορούν να συμβάλουν στη ρύπανση του εδάφους μέσω της εναπόθεσης αποβλήτων, τα οποία μπορεί να εισάγουν παθογόνους μικροοργανισμούς ή να μεταβάλλουν τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών.
- Αποικοδόμηση της οργανικής ύλης: Αν και πρόκειται για μια φυσική και απαραίτητη διαδικασία, η υπερβολική αποσύνθεση μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση οργανικών ρύπων, μεταβάλλοντας τη χημεία του εδάφους και ενδεχομένως βλάπτοντας τη φυτική ζωή.
- Εκπομπή αερίων ραδονίου: Το ραδόνιο μπορεί επίσης να επηρεάσει το έδαφος καθώς κινείται από το υπόβαθρο προς την επιφάνεια της γης.
- Ατμοσφαιρική εναπόθεση: Σωματίδια και ουσίες από φυσικές πηγές (π.χ. γύρη, ηφαιστειακή τέφρα) μπορούν να καθιζάνουν στο έδαφος, εισάγοντας δυνητικά ρύπους.

Τα προαναφερθέντα γεγονότα υπογραμμίζουν την πολυπλοκότητα της δυναμικής των φυσικών ρύπων του εδάφους, που συμβάλλουν στις ποικίλες συγκεντρώσεις επικίνδυνων ουσιών σε αυτό.

2.3.2. Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης

Η ανθρώπινη παρέμβαση έχει αναμφισβήτητα αντίκτυπο στην συγκέντρωση των ρύπων στο έδαφος, και ιδιαίτερα των βαρέων μετάλλων, οδηγώντας σε δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, την επισιτιστική ασφάλεια, την ανθρώπινη υγεία και την κλιματική αλλαγή. Όπως επισημαίνουν οι Antoniadis et al. (2019), στις περιοχές που υπάρχουν δραστηριότητες επί σειρά δεκαετιών, η ύπαρξη στοιχείων που υπό διαφορετικές συνθήκες δεν θα ήταν αισθητή, είναι αρκετά πιθανή.

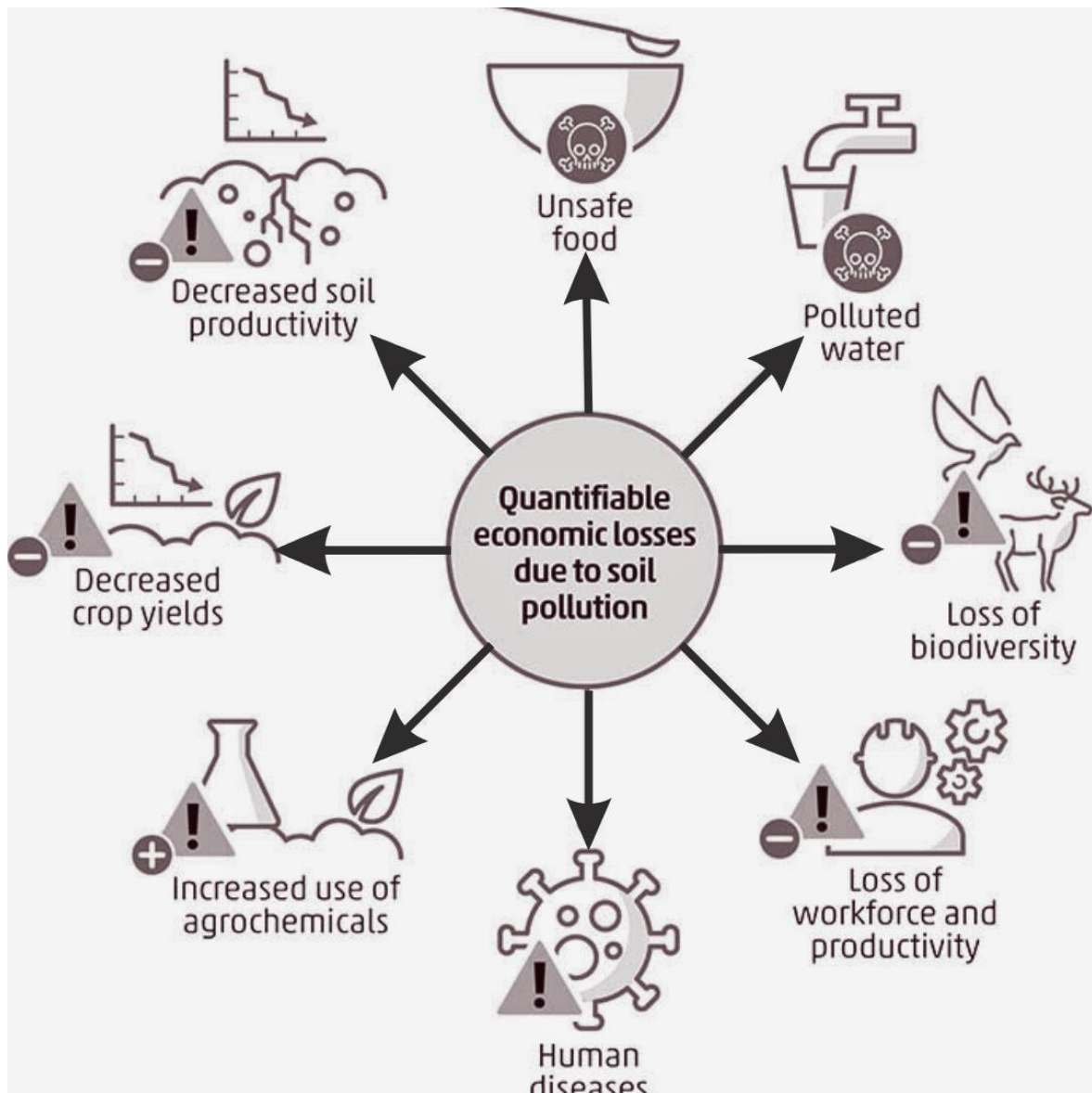
Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης του εδάφους είναι οι εξής:

- Οι βιομηχανικές δραστηριότητες, μέσω των οποίων εκλύονται σημαντικές ποσότητες ρύπων απευθείας στο έδαφος λόγω της απόρριψης των αποβλήτων ή με έμμεσο τρόπο μέσω των αέριων ρύπων.

- Οι αγροτικές πρακτικές όπως η χρήση φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων και χημικών λιπασμάτων που είναι επιβλαβείς τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για τη βιοποικιλότητα του εδάφους.
- Η εξόρυξη, που αποκαλύπτει βαρέα μέταλλα και ραδιενεργά στοιχεία, τα οποία μπορούν να διοχετευθούν στο έδαφος.
- Η ακατάλληλη διάθεση των αποβλήτων.
- Η αστικοποίηση και εκτεταμένη ανάπτυξη υποδομών, καθώς μέσω της κατασκευής παράγονται διάφοροι ρύποι και κατασκευαστικά απόβλητα.
- Οι διαρροές πετρελαίου και καυσίμων που προκύπτουν από ατυχήματα κατά την έρευνα, τη μεταφορά και την αποθήκευση πετρελαίου και αερίου.
- Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, απόρροια των διαφόρων διαδικασιών καύσης, που δύνανται να κατακαθίσουν στο έδαφος.

2.3.3. Η κοινωνική και οικονομική πτυχή της εδαφικής ρύπανσης

Η περιβαλλοντική ρύπανση πλήττει δυσανάλογα τις περιθωριοποιημένες κοινότητες, επιδεινώνοντας τις ανισότητες, με τα υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας και ασθενειών που οφείλονται στο περιβάλλον να παρατηρούνται σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, όπου οι φτωχότερες περιοχές συχνά δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρές τεχνολογίες και απουσιάζουν οι ισχυροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί (Prüss-Ustün et al., 2016). Εκτός από τις διαφορές στην έκθεση στη ρύπανση του εδάφους και την πρόσβαση σε καθαρούς χώρους πρασίνου, η περιορισμένη πρόσβαση σε δημόσιες υπηρεσίες υγείας και καθαρές τεχνολογίες, συμβάλλουν στην άνιση κατανομή των περιβαλλοντικών κινδύνων για την υγεία, ιδίως μεταξύ των περιθωριοποιημένων πληθυσμών (Haller et al., 2020). Η αρχή της περιβαλλοντικής δικαιοσύνης δίνει έμφαση στην ισότιμη έκθεση σε περιβαλλοντικούς κινδύνους και οφέλη ανεξάρτητα από το εισόδημα ή την εθνικότητα, όμως, η επίτευξή της απαιτεί την αντιμετώπιση των κοινωνικοοικονομικών ανισοτήτων και την ενίσχυση των μηχανισμών διακυβέρνησης ώστε να διασφαλίζεται η συμμετοχή χωρίς αποκλεισμούς και η ισότιμη πρόσβαση στους πόρους (FAO and UNEP, 2021). Παρά κάποια πρόοδο, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις, υπογραμμίζοντας την επείγουσα ανάγκη για συντονισμένη δράση για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του εδάφους και την προώθηση της περιβαλλοντικής δικαιοσύνης σε παγκόσμιο επίπεδο (Filippelli et al., 2020).



Σχήμα 1: Οι μετρήσιμες οικονομικές απώλειες λόγω της ρύπανσης του εδάφους σχηματικά. Περιλαμβάνουν την απώλεια της παραγωγικότητας του εδάφους, την μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών και της ποιότητας των τροφίμων, την απώλεια της αγοραστικής τους αξίας, την απώλεια της βιοποικιλότητας και η επιδείνωση της ποιότητας των υδάτων (Επεξεργασία από FAO and UNEP, *Global assessment of soil pollution: Report*, 2021).

Όσον αφορά τον οικονομικό αντίκτυπο, όπως φαίνεται και από το δοθέν σχήμα, η ρύπανση του εδάφους έχει άμεσο και έμμεσο οικονομικό κόστος που επηρεάζει την κοινωνία και τις οικονομίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Το άμεσο κόστος συνδέεται με την αποκατάσταση και τη διαχείριση, το οποίο μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της περιοχής και οι επιλεγμένες τεχνολογίες αποκατάστασης (FAO and UNEP, 2021). Το έμμεσο κόστος, που συχνά παραβλέπεται, προκύπτει από τις παρεμποδισμένες υπηρεσίες του οικοσυστήματος, που οδηγούν σε μακροπρόθεσμη απώλεια παραγωγικότητας και ανθεκτικότητας (FAO and UNEP, 2021). Η ρύπανση του εδάφους μειώνει τις αποδόσεις των καλλιεργειών και υποβαθμίζει τις καλλιέργειες τροφίμων, επηρεάζοντας τη γεωργική οικονομία και τα εισοδήματα των γεωργών. Επιπλέον, συμβάλλει σε διαταραχές στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, με αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές απώλειες και απώλεια της εμπιστοσύνης των καταναλωτών (FAO and UNEP, 2021). Πέραν αυτών, μέσω της επιρροής της ρύπανσης στην

ποιότητα του νερού, οδηγεί σε σημαντικό οικονομικό κόστος για τις προσπάθειες επεξεργασίας και αποκατάστασης των υδάτινων σωμάτων. Η οικονομική επιβάρυνση των ασθενειών που σχετίζονται με τη ρύπανση του εδάφους, συμπεριλαμβανομένου του κόστους θεραπείας και της απώλειας της ανθρώπινης παραγωγικότητας, συχνά υποτιμάται αλλά είναι σημαντική, ιδίως σε χώρες με χαμηλότερο εισόδημα (FAO and UNEP, 2021). Συνοπτικά, δημιουργεί πολυδιάστατες οικονομικές επιπτώσεις, που κυμαίνονται από το άμεσο κόστος αποκατάστασης έως τις ευρύτερες επιπτώσεις στη γεωργία, τη δημόσια υγεία και τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος και ως εκ τούτου δημιουργούνται προσδοκίες για ολοκληρωμένες στρατηγικές και επενδύσεις για τον μετριασμό τους.

2.3.4. Αστική ρύπανση

Η αστική ρύπανση αναφέρεται στην υποβάθμιση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος από διάφορους ρύπους που προέρχονται από οικιακές, βιομηχανικές και μεταφορικές δραστηριότητες. Περιλαμβάνει τη ρύπανση του αέρα, του νερού και του εδάφους εντός των αστικών περιοχών, η οποία προκύπτει από την απελευθέρωση επιβλαβών ουσιών, όπως χημικές ουσίες, βαρέα μέταλλα και σωματίδια. Η αστική ρύπανση επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία, την αστική βιοποικιλότητα και το συνολικό οικοσύστημα, καθιστώντας ως επιτακτική ανάγκη τις στρατηγικές ολοκληρωμένης διαχείρισης που ευθυγραμμίζονται με τις αρχές της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης και της κυκλικής οικονομίας για τον μετριασμό των επιπτώσεων της και την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής υγείας (FAO and UNEP, 2021).

Τα αστικά εδάφη συγκεκριμένα, συσσωρεύουν ρύπους επί δεκαετίες και έτσι υπόκεινται σε διαρκή ρύπανση από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Αυτές μπορούν σε γενικές γραμμές να κατηγοριοποιηθούν σε πηγές, καθεμία από τις οποίες συνεισφέρει διαφορετικούς ρύπους. Η ρύπανση μπορεί να προέρχεται από ρύπους που απελευθερώνονται από σημειακές πηγές στις οποίες είναι περιορισμένη, ή διάχυτες πηγές, με πολλαπλά σημεία προέλευσης, που μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις από άλλα μέσα (FAO and UNEP, 2021).

- Βιομηχανικές περιοχές και περιοχές με έντονες μεταφορές

Οι βιομηχανίες εξόρυξης, παραγωγής ενέργειας και κατασκευών, συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση του εδάφους. Οι υπό συζήτηση ενέργειες απελευθερώνουν ένα ευρύ φάσμα ρύπων, όπως ιχνοστοιχεία (π.χ. βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, το αρσενικό και ο υδράργυρος) και οργανικές ενώσεις. Παρά τις προσπάθειες μετριασμού αυτών των επιπτώσεων μέσω της νομοθεσίας και των βέλτιστων πρακτικών, η ρύπανση τόσο από τις ενεργές όσο και από τις εγκαταλελειμμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις εξακολουθεί να αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του εδάφους, ιδίως σε περιοχές με λιγότερο αυστηρούς περιβαλλοντικούς ελέγχους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι χώρες με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα. Η πρόκληση της διαχείρισης της ρύπανσης του εδάφους επιδεινώνεται από την πολύπλοκη αλληλεπίδραση της εκβιομηχάνισης, της αστικοποίησης και των γεωργικών πρακτικών, παράλληλα με τα ανεπαρκή συστήματα διαχείρισης αποβλήτων. Η παγκόσμια αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής, με παράδειγμα τον τομέα των χημικών προϊόντων, υπογραμμίζει τη συνεχιζόμενη πρόκληση της διαχείρισης των ανθρωπογενών χημικών επιπτώσεων στο έδαφος (FAO and UNEP, 2021).

Τα μέταλλα που προέρχονται από τις εργασίες εξόρυξης και λατόμευσης, συχνά υποπροϊόντα της εξόρυξης πολύτιμων ορυκτών (συνήθως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και το αρσενικό), μπορούν να διαρρεύσουν στο έδαφος και να ρυπάνουν εν συνεχεία και τα υδάτινα συστήματα.

Οι διαδικασίες παραγωγής, ενδέχεται να απελευθερώνουν χημικές ουσίες και μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή προϊόντων. Για παράδειγμα, τα εργοστάσια τήξης και επεξεργασίας μετάλλων εκπέμπουν σωματίδια και αέριους ρύπους που μπορεί να εναποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους, συμβάλλοντας στην ρύπανσή του (<https://www.environmentalpollutioncenters.org/soil/causes/>).

Οι κατασκευαστικές δραστηριότητες συχνά αναδιανέμουν τους ρύπους που υπάρχουν στο έδαφος ή εισάγουν νέους, μέσω της χρήσης διαφόρων δομικών υλικών και πρακτικών (<https://www.environmentalpollutioncenters.org/soil/causes/>). Μπορούν να απελευθερώσουν μια μεγάλη γκάμα χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που μπορούν να ταξινομηθούν ως λεπτά σωματίδια. Η κατεδάφιση παλαιότερων κτιρίων, λόγω χάρη, μπορεί να απελευθερώσει αμιάντο στο έδαφος, ο οποίος μπορεί να αναδιανεμηθεί από τον άνεμο και να δημιουργήσει σημαντικούς κινδύνους για την υγεία. (<https://www.environmentalpollutioncenters.org/soil/causes/>).

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, απελευθερώνουν ρύπους όπως ο υδράργυρος και το αρσενικό. Οι ουσίες αυτές μπορούν να συσσωρευτούν στο έδαφος, επηρεάζοντας την ποιότητά του και την υγεία των οργανισμών που εξαρτώνται από αυτό.

Τέλος, τα συστήματα μεταφορών, μέσω της εναπόθεσης σωματιδίων από τις εκπομπές καυσαερίων, τη φθορά των ελαστικών και τη φθορά των επενδύσεων των φρένων, επιβαρύνουν το πρόβλημα στις αστικές περιοχές. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να περιέχουν βαρέα μέταλλα όπως μόλυβδο, κάδμιο και ψευδάργυρο.

- Οικιακή ρύπανση

Η οικιακή ρύπανση προέρχεται από διάφορες πηγές εντός των οικιστικών και εμπορικών χώρων και περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα χημικών ουσιών που κυμαίνονται από φαρμακευτικά προϊόντα και προϊόντα καθαρισμού έως χρώματα, φυτοφάρμακα και επιβραδυντικά φλόγας. Ενώ η εστίαση είναι συχνά στις επιπτώσεις της ρύπανσης του εσωτερικού αέρα στην ανθρώπινη υγεία, οι επιπτώσεις της στο έδαφος και το περιβάλλον συχνά παραβλέπονται. Παρά τις απαγορεύσεις της χρήσης μολύβδου σε διάφορες χώρες και τους διεθνείς κανονισμούς, όπως ο κανονισμός REACH στην ΕΕ, η έκθεση σε αυτόν σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, εξακολουθεί να αποτελεί παγκόσμια ανησυχία, ιδίως στις χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, όπου συνεχίζουν να επικρατούν παλαιά και νεοπαραγόμενα χρώματα με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου (FAO and UNEP, 2021). Παρά τις απαγορεύσεις σε πολλές χώρες, εξακολουθούν να υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου, ιδίως σε χώρες με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα (FAO and UNEP, 2021; IPEN, 2020). Ωστόσο, οι διαστάσεις των προκλήσεων παραμένουν, με τη συνεχή χρήση και διάθεση προϊόντων που περιέχουν επιβλαβείς χημικές ουσίες να συμβάλλουν στη ρύπανση του εδάφους, γεγονός που απαιτεί συνεχείς ρυθμιστικές προσπάθειες και εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού για τον μετριασμό των κινδύνων για το περιβάλλον και την υγεία.

- Αστική γεωργία και φυτοφάρμακα

Σύμφωνα με την Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO), περίπου 800 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως ασχολούνται με την αστική κηπουρική, παρέχοντας σημαντικά οφέλη, όπως η βελτίωση του εισοδήματος των νοικοκυριών, η επισιτιστική ασφάλεια και η διατροφή, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στο αστικό πράσινο και στην ανθεκτικότητα του κλίματος. Βέβαια, συχνά παρατηρείται αλόγιστη χρήση συνθετικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, που σε συνδυασμό με την άρδευση με νερό χαμηλής ποιότητας και τη χρήση μολυσμένου κομπόστ, μπορούν να απελευθερώσουν και να συσσωρεύσουν επικίνδυνους ρύπους στο αστικό έδαφος (Gao et al., 2021).

Τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στους αστικούς χώρους πρασίνου και στους κήπους για τον έλεγχο ζιζανίων και παρασίτων που επηρεάζουν τη βλάστηση ή για τον έλεγχο των φορέων ασθενειών, μπορούν να συσσωρευτούν στο έδαφος, επηρεάζοντας τόσο την υγεία των φυτών όσο και των εδαφικών οργανισμών. Οι χημικές αυτές ουσίες μπορούν επίσης να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα, θέτοντας κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Η ακατάλληλη απόρριψη οργανικών αποβλήτων συμβάλλει στην επιβάρυνση αυτή, εισάγοντας πρόσθετους επιζήμιους παράγοντες στο έδαφος (Li, 2018).

- Αστικά, ιατρικά, ραδιενεργά και ηλεκτρονικά απόβλητα

Ο ανεπαρκής σχεδιασμός και διαχείριση των χώρων υγειονομικής ταφής αστικών στερεών αποβλήτων αυξάνει τον κίνδυνο ρύπανσης του εδάφους μέσω των εκροών και των ατμοσφαιρικών εκπομπών. Στις ανοικτές χωματερές, συνήθεις στις χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, συχνά προκαλούνται πυρκαγιές που απελευθερώνουν τοξικές εκπομπές (FAO and UNEP, 2021). Ακόμα, η ανοικτή καύση οικιακών απορριμμάτων είναι ευρέως διαδεδομένη παγκοσμίως ως μέσο μείωσης του όγκου των απορριμμάτων, ενέχοντας κινδύνους για το περιβάλλον και την υγεία και η γενικότερη αποτέφρωση αποβλήτων, εγείρει περιβαλλοντικές ανησυχίες, αφού βρίσκει όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή, συμβάλλοντας στο 11% της παγκόσμιας διαχείρισης αποβλήτων (FAO and UNEP, 2021).

Οι ποσότητες των ιατρικών αποβλήτων έχουν αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες, παράλληλα με τον παγκόσμιο πληθυσμό και την τάση χρήσης αναλώσιμου ιατρικού εξοπλισμού χάριν ευκολίας. Οι κίνδυνοι ρύπανσης του εδάφους από την ακατάλληλη διάθεση ή ανακύκλωση των ιατρικών αποβλήτων είναι οι ίδιοι με εκείνους των αστικών και των υγρών. Μελέτες σε αναπτυσσόμενες χώρες έχουν δείξει στοιχεία ότι τα ιατρικά απόβλητα αναμειγνύονται και συνδυάζονται συλλογικά με τα αστικά απόβλητα ή καίγονται στην ύπαιθρο (Janik-Karpinska et al., 2023). Υπολογίζεται ότι το 15% της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων ιατρικών αποβλήτων είναι επικίνδυνα και μπορεί να είναι μολυσματικά, τοξικά ή ραδιενεργά, με το ποσοστό περιεκτικότητάς τους σε χημικές και ραδιενεργές ουσίες να ανέρχεται σε 5%, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (FAO and UNEP, 2021; Janik-Karpinska et al., 2023).

Η ραδιενεργός ρύπανση μπορεί να είναι απόρροια και της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, όπως και ορισμένων βιομηχανικών διεργασιών, αυξάνοντας τη ραδιενέργεια του εδάφους πέρα από τα φυσικά επίπεδα υποβάθρου (Li, 2018). Οι ραδιενεργοί ρύποι μπορεί να έχουν μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία του εδάφους και να θέτουν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων και της άγριας πανίδας μέσω της άμεσης έκθεσης ή μέσω της ένταξής τους στην τροφική αλυσίδα (Li, 2018).

Τα ηλεκτρονικά απόβλητα είναι το ταχύτερα αυξανόμενο ρεύμα στερεών αποβλήτων στον κόσμο και δυνητικά προκαλούν έκθεση σε περισσότερες από 1.000 επιβλαβείς ουσίες, όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το νικέλιο, οι βρωμιούχοι επιβραδυντές φλόγας και οι πολυκυκλικοί

αρωματικοί υδρογονάνθρακες (WHO, 2021; WHO 2023). Για οικονομικούς λόγους, μεγάλο μέρος τους εξάγεται σε αναπτυσσόμενες χώρες, με μόνο το 20 % περίπου των ηλεκτρονικών αποβλήτων να έχει ανακτηθεί και ανακυκλωθεί σωστά σε παγκόσμιο επίπεδο, άρα το υπολειπόμενο 80 % των ηλεκτρονικών έχει καταλήξει σε αστικές ή μη χωματερές (FAO and UNEP, 2021). Στον αντίποδα, η παγκόσμια στατιστική σύμπραξη για τα ηλεκτρονικά απόβλητα (Global E-waste Statistics Partnership – GESP, 2020) διαπίστωσε ότι το 17,4% των ηλεκτρονικών αποβλήτων που συλλέχθηκαν κατάλληλα απέτρεψε την εκπομπή στην ατμόσφαιρα έως και 15 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα.

- Διαρροές

Οι τυχαίες διαρροές από σηπτικές δεξαμενές και καυσίμων, αγωγούς, αποχετεύσεις και χωματερές, συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση του εδάφους στις αστικές περιοχές και μπορούν να απελευθερώσουν μία μεγάλη γκάμα ρυπαντών, είτε εξαιτίας γεγονότων που πυροδοτούνται από τις φυσικές καταστροφές, είτε λόγω κακής συντήρησης (FAO and UNEP, 2021). Τα φαινόμενα αυτά δεν αφορούν μόνο την συγκράτηση των ρύπων στα εδάφη, αλλά ταυτόχρονα και τις επιφοβες συγκεντρώσεις στα υπόγεια ύδατα.

- Διάχυτη ρύπανση

Όπως σημειώθηκε στην αρχή της ενότητας, το συγκεκριμένο είδος ρύπανσης αποτελεί καίριο ρίσκο στη ρύπανση του εδάφους στις αστικές περιοχές, προερχόμενο από διάφορες απομακρυσμένες πηγές, όπως οι βιομηχανικές εκπομπές, η καύση αστικών αποβλήτων και οι εξορυκτικές δραστηριότητες στις γύρω περιοχές. Συνήθως οι ρύποι μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω της ατμοσφαιρικής απόθεσης πριν κατακαθίσουν στα αστικά εδάφη. Μελέτες έχουν δείξει ότι η συγκέντρωση των ρύπων στα αστικά εδάφη μειώνεται με την απόσταση από βιομηχανικές και εξορυκτικές εγκαταστάσεις, αποδεικνύοντας τη δράση της ατμοσφαιρικής μεταφοράς, παράλληλα άλλες πηγές είναι η απορροή από τη διάβρωση και οι πλημμύρες, μεταφέροντας οργανικούς ρύπους και ιχνοστοιχεία, οδηγώντας σε δευτερογενή κινητοποίηση των ρύπων υπό αναερόβιες συνθήκες (FAO and UNEP, 2021). Σε αρκετές βιομηχανικές ζώνες εμφανίζεται το φαινόμενο της εκτεταμένης ρύπανσης από βαρέα μέταλλα. Όταν αυτό συμβαίνει, η ταυτόχρονη παρουσία διάφορων στοιχείων στο έδαφος μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα προβλήματα για τους οργανισμούς ενός οικοσυστήματος, πέρα από τα προβλήματα που προκαλεί η παρουσία ενός μόνο στοιχείου (Antoniadis et al., 2019). Η συνύπαρξη πολλών βαρέων μετάλλων μπορεί επίσης να περιορίσει την ικανότητα αντοχής των οργανισμών σε αυτά τα μέταλλα (Antoniadis et al., 2017).

- Αστική ρύπανση υποβάθρου (urban background pollution)

Οι μεγάλες αστικές περιοχές συσσωρεύουν χαμηλά επίπεδα ρύπων από διάφορες πηγές, όπως οι προαναφερθείσες, και των φυσικών εμφανίσεων μετάλλων. Αυτή η συσσώρευση έχει ως αποτέλεσμα ένα βασικό επίπεδο ρύπανσης που μπορεί να είναι δύσκολο να διαφοροποιηθεί από πιο οξέα γεγονότα και περιπλέκει την αξιολόγηση της ρύπανσης του εδάφους που προέρχεται από συγκεκριμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Αυτός ο συνδυασμός των φυσικών συγκεντρώσεων των μετάλλων και των ανθρωπογενών εισροών, δημιουργεί ένα πολύπλοκο τοπίο ρύπανσης που απαιτεί διαφοροποιημένες προσεγγίσεις για την εξυγίανση και τη διαχείριση του εδάφους (United States Environmental Protection Agency, 2017). Όπως γίνεται αντιληπτό, οι προσπάθειες διάκρισης των ρυπαντών του αστικού υποβάθρου από εκείνους που προέρχονται από βιομηχανικά απόβλητα είναι ένα μείζον θέμα στην καταπολέμηση της αστικής ρύπανσης.

2.4. Ιχνοστοιχεία - Βαρέα μέταλλα και εν δυνάμει τοξικά στοιχεία

Τα βαρέα μέταλλα είναι εγγενή συστατικά του στερεού φλοιού της Γης και μαζί με τις ραδιενεργές ουσίες και τις συνθετικές οργανικές ουσίες αποτελούν τις τρεις κύριες ομάδες περιβαλλοντικών ρύπων (Χρυσοστομίδης, 2016). Συνήθως ορίζονται στην βιβλιογραφία ως τα ιχνοστοιχεία με πυκνότητα μεγαλύτερη των $5,0 \text{ g/cm}^3$ (Παπαδήμου, 2020; Aslanidis and Golia, 2021). Σε αυτά συγκαταλέγονται στοιχεία όπως ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), το αρσενικό (As), το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το κοβάλτιο (Co) και το μαγγάνιο (Mn), μεταξύ άλλων. Καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα συγκεντρώσεων, με ορισμένα, όπως το αλουμίνιο και ο σίδηρος, να είναι άφθονα λιθοσφαιρικά στοιχεία, ενώ άλλα εμφανίζονται ως ιχνοστοιχεία στα φυσικά συστήματα (Χρυσοστομίδης, 2016).

Ενώ αυτά τα μέταλλα ως ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα σε χαμηλές συγκεντρώσεις για τις βιολογικές διεργασίες, μπορούν να αποβούν ιδιαίτερα τοξικά όταν συσσωρεύονται σε υπερβολικές ποσότητες, επιφέροντας εν γένει αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Η μακροχρόνια εισροή μετάλλων στο έδαφος μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ρυθμιστικής ικανότητάς του και σε ρύπανση των υπόγειων υδάτων (Ljung et al., 2006). Κατά συνέπεια, συχνά αναφέρονται από αρκετούς επιστήμονες ως δυνητικά τοξικά στοιχεία (PTEs) ή δυνητικά επιβλαβή στοιχεία (PHEs) για να υπογραμμιστούν οι δυσμενείς επιπτώσεις τους στους οργανισμούς όταν οι συγκεντρώσεις τους υπερβαίνουν τα επιθυμητά όρια (Χαριζάνη, 2022). Παρότι γίνεται συζήτηση σχετικά με τον ακριβή ορισμό των βαρέων μετάλλων, όπως έχει παραθέσει η Golia (2003), εξακολουθούν να παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον λόγω της βιολογικής και βιομηχανικής τους σημασίας (Παπαδήμου, 2020).

Σύμφωνα με τους Kabata – Pendias (1992) και Golia (2003), βάσει των τοξικολογικών χαρακτηριστικών τους και της περιβαλλοντικής τους δράσης, τα μέταλλα και τα μεταλλοειδή χωρίζονται σε τρεις ομάδες, εκ των οποίων η πρώτη περιέχει τα λιγότερο επικίνδυνα, όπως τα Co, Cu, Mn, Zn, η δεύτερη τα επικίνδυνα, μέρος των οποίων και τα As, Cr, Ni και η τρίτη τα πλέον πολύ επικίνδυνα, Pb, Cd και Hg (Ασλανίδης, 2022; Χαριζάνη, 2022).

Η παρουσία τους, είτε ως αναπόσπαστο κομμάτι της φύσης, είτε ως δυνητικά επιζήμιος παράγοντας, αναδεικνύει τη λεπτή ισορροπία που απαιτείται για τη φυσιολογική λειτουργία των οργανισμών.

2.4.1. Βιοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Η βιοδιαθεσιμότητα στο πλαίσιο των βαρέων μετάλλων αναφέρεται στον βαθμό στον οποίο τα μέταλλα αυτά είναι προσβάσιμα για πρόσληψη από τα φυτά ή άλλους οργανισμούς στο εδαφικό περιβάλλον. Είναι μια σύνθετη δυναμική διαδικασία που ελέγχεται έντονα από τον τύπο του οργανισμού, τον τύπο της έκθεσης και τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε μετάλλου. Οι Kim et al. (2015) επισημαίνουν το συμπέρασμα στο οποίο έχουν καταλήξει ερευνητές της επιστημονικής κοινότητας, πως η βιοδιαθεσιμότητα περιλαμβάνει τρία στάδια. Αυτό της περιβαλλοντικής διαθεσιμότητας, η οποία αναφέρεται στη συνολική ποσότητα του μετάλλου που υπάρχει στο έδαφος, της περιβαλλοντικής βιοδιαθεσιμότητας που αντιπροσωπεύει το διαλυμένο κλάσμα που

είναι προσβάσιμο στους οργανισμούς, και της τοξικολογικής βιοδιαθεσιμότητας, η οποία υποδεικνύει τις φυσιολογικές επιπτώσεις που προκαλούν βιοσυσσώρευση ή άλλες δυσμενείς επιδράσεις εντός των οργανισμών.

Η βιοδιαθεσιμότητα διέπεται από ένα πλήθος παραγόντων, στους οποίους υπάγονται η χημική σύσταση των μετάλλων, οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους και η μικροβιακή δραστηριότητα σε αυτό (Παπαδήμου 2020; Kim et al., 2015). Πιο συγκεκριμένα, το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και η σύνθεση των ανόργανων συστατικών, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της κινητικότητας και της διαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων (Παπαδήμου, 2020; Vasile et al., 2021). Το pH αποτελεί τον βασικό παράγοντα, καθώς οι διαφορές στη διαλυτότητα και ως εκ τούτου η κινητικότητα στο έδαφος, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από αυτό. Σε συνήθεις τιμές pH του εδάφους, τα βαρέα μέταλλα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα Cd, Ni και Zn που παρουσιάζουν σχετικά υψηλή κινητικότητα και τα Cu, Cr και Pb που παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή κινητικότητα (Kim et al., 2015). Οι όξινες εδαφικές συνθήκες τείνουν να ενισχύουν την κινητικότητα ορισμένων βαρέων μετάλλων, ενώ τα αλκαλικά περιβάλλοντα μπορεί να περιορίζουν την προσβασιμότητά τους (Ασλανίδης, 2022; Παπαδήμου, 2020).

2.4.2. Μέταλλα τα οποία πραγματεύεται η παρούσα εργασία

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρατεθούν τα κυριότερα μέταλλα που εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία στην οποία στηρίχθηκε η εργασία και θα παρουσιαστούν στοιχεία για τις φυσικές και μη πηγές προέλευσής τους στο έδαφος, τις κύριες χρήσεις τους και τις επιδράσεις που αποδεδειγμένα έχουν τόσο στο περιβάλλον, όσο και στον άνθρωπο. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι ο υδράργυρος είναι το στοιχείο για το οποίο βρέθηκαν οι λιγότερες αναφορές στο σύνολο των άρθρων που μελετήθηκαν.

2.4.2.1. Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος είναι μέταλλο και ανήκει σε κύρια ομάδα του Περιοδικού Πίνακα, με πυκνότητα 11,3 g/cm³ (www.periodic-table.com). Είναι το 37^ο πιο άφθονο μέταλλο και απαντάται συνήθως στον γαληνίτη, ένα ορυκτό μέταλλευμα από 86,6% θειούχο μόλυβδο, μερικές φορές σε συνδυασμό με άργυρο, ψευδάργυρο και χαλκό, αλλά και στον κερουσίτη και στον ανγκλεσίτη. (Χρυσοστομίδης, 2016; Briffa et al., 2020). Διάφορες διεργασίες απελευθερώνουν μόλυβδο στην επιφάνεια της γης, όπως η αποσάθρωση, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η πρόσληψη από τα φυτά και η επακόλουθη απελευθέρωση, καθώς και οι δασικές πυρκαγιές (Χρυσοστομίδης, 2016).

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις στα εδάφη όμως, αποδίδονται καθαρά σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως οι μεταφορές, η χρήση μολυβδούχων καυσίμων, η καύση άνθρακα, οι βαριές βιομηχανίες, τα χυτήρια, τα εργοστάσια μπαταριών, η αποτέφρωση αποβλήτων, οι βιομηχανίες επεξεργασίας μετάλλων, η κατασκευή ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών και η παραγωγή μπαταριών (Παπαδήμου 2020; Χρυσοστομίδης, 2016). Οι διαρροές από τα οχήματα αποτελούν εξίσου σημαντική αστική πηγή του (Bourliva et al., 2017). Για την ακρίβεια, η ατμοσφαιρική απόθεση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εισροές στον βιογεωχημικό κύκλο

του μολύβδου και μπορεί να παρατηρηθεί ακόμη και σε απομακρυσμένα οικοσυστήματα (Παπαδήμου, 2020). Είναι αξιοσημείωτο πως παρουσιάζει παρατεταμένο χρόνο παραμονής στο περιβάλλον και εξαιρετικά υψηλή τάση συσσώρευσης στο έδαφος λόγω της χαμηλής διαλυτότητας και της ανθεκτικότητάς του στη μικροβιακή διάσπαση (Παπαδήμου, 2020).

Λόγω της ελαστικότητάς του, είναι ένα εύκολα επεξεργάσιμο μέταλλο και έχει χρησιμοποιηθεί ιστορικά σε ποικίλες εφαρμογές. Στην σύγχρονη εποχή, χαρακτηριστικά του όπως η κακή αγωγιμότητα, η χαμηλή θερμοκρασία τήξης και το γεγονός ότι είναι ανθεκτικός στη διάβρωση, τον καθιστούν ως ένα ευρύτατα χρησιμοποιούμενο υλικό στη βιομηχανία (Παπαδήμου, 2020). Οι χρήσεις του περιλαμβάνουν τις μπαταρίες μολύβδου σε αυτοκίνητα, τα προστατευτικά φύλλα έναντι της ακτινοβολίας, σε πυρομαχικά, φύλλα καλωδίων, αγωγούς, στην παραγωγή πλαστικών και στον αθλητικό εξοπλισμό, στα υλικά στέγης και άλλα. (Παπαδήμου, 2020; Briffa et al., 2020).

Όσον αφορά τους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς, ο μόλυβδος δεν αποτελεί ευεργετικό ιχνοστοιχείο, εντούτοις είναι το πιο συνηθισμένο τοξικό βαρύ μέταλλο που δεν είναι φυσιολογικά απαραίτητο και προκαλεί επιπλοκές στην υγεία των ζώων και των ανθρώπων (Bhattacharya, 2022). Μαζί με το κάδμιο (Cd) και τον υδράργυρο (Hg), θεωρούνται μη ουσιώδη ιχνοστοιχεία που όχι μόνο δεν έχουν κανένα γνωστό ουσιαστικό ρόλο στους ζωντανούς οργανισμούς, αλλά παρουσιάζουν ακραία τοξικότητα ακόμη και σε πολύ χαμηλά επίπεδα έκθεσης και έχουν αναγνωριστεί ως σημαντικότερες απειλές για όλες τις μορφές ζωής και ιδιαίτερα για τους ανθρώπους (Atobatele and Olutona, 2015). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις κατά την Golia (2003) μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στα φύλλα και να μειώσουν τα ριζικά συστήματα (Ασλανίδης, 2022).

Παρά την πολυχρηστικότητά του, ο μόλυβδος ενέχει σοβαρούς κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου, όπως υπέρταση, αποβολές, νεφρική δυσλειτουργία, εγκεφαλική βλάβη και γνωστικές διαταραχές. Ιδιαίτερα επιζήμιες επιπτώσεις παρατηρούνται στα παιδιά, επηρεάζοντας την ανάπτυξη του εγκεφάλου, τη νοημοσύνη, την εκπαιδευτική επίδοση, το εύρος της προσοχής και προωθώντας την αντικοινωνική συμπεριφορά (Briffa et al., 2020). Η έκθεση στον μόλυβδο μέσω της τροφής γίνεται κυρίως με την πρόσληψη από τα φρούτα, τα λαχανικά, τα δημητριακά, τα θαλασσινά, το κόκκινο κρέας, το κρασί και τα αναψυκτικά (Briffa et al., 2020). Όπως παραθέτει ο Ασλανίδης (2022), σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Κίνα, παρατηρήθηκε υψηλός κίνδυνος καρκινογένεσης από το μόλυβδο μέσω της διατροφής σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Επίσης, στην ίδια έρευνα τονίζει ότι συχνά οι παλαιωμένοι σωλήνες στα κτίρια μπορεί να περιέχουν επικίνδυνες ουσίες όπως ο μόλυβδος, με πιθανό αποτέλεσμα την ενίσχυση των βακτηριακών πληθυσμών εντός αυτών.

2.4.2.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος αποτελεί στοιχείο της ομάδας των μετάλλων μετάπτωσης και παρουσιάζει ατομική πυκνότητα 7,13 γραμμαρίων ανά κυβικό εκατοστό (g/cm^3) (www.periodic-table.com). Είναι το 24^ο πιο άφθονο μέταλλο και είναι γνωστό ότι αμαυρώνεται στον αέρα, γεγονός που υπογραμμίζει την αντιδραστική του φύση. Στο πλαίσιο της γεωχημικής προέλευσής του, κύριες πηγές Zn είναι τα θειούχα και ιζηματογενή πετρώματα, τα βασάλτικα πετρώματα, καθώς και τα εδάφη τύπου fluvisols και histosols (Χρυσοστομίδης, 2016). Αυτό το βασικό στοιχείο συναντάται συνήθως με τη μορφή μεταλλευμάτων όπως ο θειούχος ψευδάργυρος και ο πυριτικός ψευδάργυρος.

Η παρουσία του ψευδάργυρου στο έδαφος μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικές γεωχημικές διεργασίες όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η χρήση εδαφοβελτιωτικών, φυτοπροστατευτικών, και ιλύων από βιολογικούς καθαρισμούς, καθώς και διεργασίες εξόρυξης και τήξης (Παπαδήμου, 2020; Kaur and Garg, 2021). Παράλληλα, η ατμοσφαιρική απόθεση από την καύση ορυκτών καυσίμων και τις βιομηχανικές διεργασίες, καθώς και οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι δασικές πυρκαγιές, είναι υπαίτιες για τη συσσώρευση του ψευδάργυρου στα χερσαία οικοσυστήματα (Παπαδήμου, 2020; Kaur and Garg, 2021).

Όσον αφορά τις εφαρμογές του, ο ψευδάργυρος είναι πολύπλευρος, καθώς χρησιμοποιείται για γαλβανισμό για την προστασία άλλων μετάλλων από τη σκουριά και την παραγωγή μυριάδων προϊόντων, όπως χρώματα, καλλυντικά, σαπούνια, αποσμητικά, σαμπουάν κατά της πιτυρίδας, όπλα, ηλεκτρικός εξοπλισμός, μπαταρίες, πλαστικά, μελάνια, φαρμακευτικά προϊόντα, κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και καουτσούκ (Briffa et al., 2020). Επιπλέον, ο θειούχος ψευδάργυρος έχει εφαρμογές σε οθόνες ακτίνων Χ, φωσφορούχα χρώματα και φθορίζοντα φώτα (Briffa et al., 2020).

Αν και είναι ένα σημαντικό μικροθρεπτικό στοιχείο για τους ζώντες οργανισμούς, σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να βλάψει τα φυτά και να έχει τοξικές συνέπειες στο έδαφος και τους οργανισμούς που διαβιούν σε αυτό, επηρεάζοντας τελικά και τον άνθρωπο (Χαριζάνη, 2022). Συγκεκριμένα, στα φυτά, ο ψευδάργυρος επηρεάζει τις κυτταρικές λειτουργίες, όπως τον μεταβολισμό των πρωτεϊνών και τη φωτοσύνθεση, αλλά σε υψηλά επίπεδα μπορεί να αναστείλει την ανάπτυξη και τους μεταβολικούς ρυθμούς (Χαριζάνη, 2022).

Σχετικά με τις αρνητικές επιπτώσεις του στον άνθρωπο, η υπερβολική έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα υγείας όπως ναυτία, έμετο, στομαχικές κράμπες, αναιμία, μείωση της χοληστερόλης των λιποπρωτεϊνών υψηλής πυκνότητας (HDL), επιπλοκές στο πάγκρεας, κόπωση, επιγαστρικό πόνο, ανεπάρκεια χαλκού, διαταραχή της ανοσολογικής λειτουργίας και ουδετεροπενία (Briffa et al., 2020).

Παρά ταύτα, ο ψευδάργυρος είναι επίσης ένα απαραίτητο διατροφικό θρεπτικό συστατικό που βρίσκεται σε τρόφιμα όπως το αρνί, το μοσχάρι, το τυρί, η ρέγκα και οι ηλιόσποροι, αναδεικνύοντας τον διπλό ρόλο του στην ανθρώπινη υγεία και τη βιομηχανία (Briffa et al., 2020). Σε φυσιολογικές τιμές, κατατάσσεται ως ένα από τα πιο κρίσιμα ιχνοστοιχεία για την υγεία, αποτελώντας το μέταλλο με την δεύτερη μεγαλύτερη αφθονία στο ανθρώπινο σώμα, αμέσως μετά το σίδηρο (Fe) (Notova et al., 2022). Όπως επισημαίνει ο Ασλανίδης (2022), συμβάλλει στην ταχεία επούλωση των τραυμάτων και στην διατήρηση της υγείας του δέρματος, ενώ η έλλειψή του μπορεί να οδηγήσει σε ανορεξία ή ακόμη και σε καθυστέρηση της ανάπτυξης. Τέλος, κατά τους Chasapis et al. (2020), έχει την ικανότητα να συνδράμει στην αποτοξίνωση από βαρέα μέταλλα όπως το Cd, Pb, As και Hg και να παρέχει κάποιο βαθμό προστασίας από ασθένειες, όπως τη νόσο Αλτσχάιμερ.

2.4.2.3. Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο είναι στοιχείο μετάπτωσης, με πυκνότητα 7,15 g/cm³ (www.periodic-table.com). Είναι το 21^ο πιο άφθονο στοιχείο στην επιφάνεια της Γης και συνήθως λαμβάνεται από το μέταλλευμα του χρωμίτη, τον κροκοίτη, τον ουβαροβίτη, και τον βεντορίτη, είναι αρκετά ενεργό και αντιδρά εύκολα με τα περισσότερα οξέα (Χρυσοστομίδης, 2016; Briffa et al., 2020). Στο έδαφος

προέρχεται από μητρικό υλικό και παρατηρείται είτε σε τρισθενή είτε σε εξασθενή μορφή, ενώ η οξειδωσή του και η επακόλουθη μετατροπή από τρισθενές σε εξασθενές συμβαίνει λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Ασλανίδης, 2022). Αυτές είναι συνηθέστερα το φρενάρισμα των οχημάτων και άλλες δραστηριότητες τριβής τους, η εξόρυξη του χρωμίου ως χρωμίτης και από τη μεταλλουργία (Χρυσοστομίδης, 2016; Bourliva et al., 2017).

Βρίσκει εφαρμογές σε κράματα, μεταλλικά κεραμικά, στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, στη βυρσοδεψία δερμάτων και στην κατασκευή συνθετικών ρουμπινιών, βαφών και γυαλιού πράσινου χρώματος με τη χρήση αλάτων χρωμίου (Briffa et al., 2020).

Επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών διαταράσσοντας βασικές μεταβολικές διεργασίες, πιθανώς μέσω της δημιουργίας δραστικών ειδών οξυγόνου (ROS), οδηγώντας σε οξειδωτικό στρες (Sharma et al., 2020). Αυτές οι μεταβολές είναι αρκετά επικίνδυνες για το μεταβολισμό των φυτών και μπορούν να προκαλέσουν μη αναστρέψιμες βλάβες σε σημαντικά μακρομόρια, συμπεριλαμβανομένων των λιπιδίων, των πρωτεϊνών, των υδατανθράκων και του DNA (Abbas et al., 2018). Το εξασθενές χρώμιο είναι εξαιρετικά διαλυτό και η πιο επιβλαβής μορφή του στοιχείου. Δύναται να ρυπάνει τα υπόγεια ύδατα, θέτοντας σε κίνδυνο την τροφική αλυσίδα.

Η επικινδυνότητα του χρωμίου στην ανθρώπινη υγεία γίνεται προφανής από το γεγονός ότι έχει ταξινομηθεί ως το νούμερο ένα καρκινογόνο σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Έρευνας για τον Καρκίνο (International Agency for Research on Cancer). Ωστόσο, είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον ότι είναι καρκινογόνο μόνο μέσω της εισπνοής και όχι μέσω κατάποσης ή επαφής στο δέρμα (Briffa et al., 2020). Αναφορικά με τη συμπτωματολογία και τις ασθένειες που είναι δυνατόν να προκαλέσει, η από του στόματος πρόσληψη χρωμίου (VI) μπορεί να οδηγήσει σε οξεία δηλητηρίαση έως και θάνατο, ενώ η εισπνοή ή η επανειλημμένη επαφή του δέρματος οδηγεί σε χρόνια δηλητηρίαση, προκαλώντας αλλεργική δερματίτιδα εξ επαφής, έκζεμα και διάφορες ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος και των οργάνων, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου του πνεύμονα (Briffa et al., 2020).

Παρά τους κινδύνους αυτούς, το χρώμιο βρίσκεται εκ φύσεως στα φρούτα, τα λαχανικά, τα κρέατα, τα οστρακοειδή και τα δημητριακά (Briffa et al., 2020). Επειδή μπορεί να ενισχύσει τη δράση της ινσουλίνης, μελέτες έχουν εξετάσει εάν η αύξηση της πρόσληψης χρωμίου μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο μειωμένης ανοχής στη γλυκόζη. (U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health (NIH) Office of Dietary Supplements (ODS), 2022).

2.4.2.4. Αρσενικό (As)

Το αρσενικό κατατάσσεται στα μεταλλοειδή, στην ομάδα 15 του Περιοδικού Πίνακα, με πυκνότητα $5,75 \text{ g/cm}^3$ (www.periodic-table.com). Είναι το 55^ο πιο άφθονο μέταλλο και βρίσκεται σε διάφορα ορυκτά όπως ο αρσеноπυρίτης, η σανδαράχη και ο εναργίτης, παρουσιάζοντας ένα λαμπερό ασημί-γκρι χρώμα και εύθραυστες ιδιότητες (Briffa et al., 2020). Η εισροή του στο περιβάλλον μέσω φυσικών διεργασιών πραγματοποιείται μέσω της διάβρωσης ορυκτών πλούσιων σε As και της ηφαιστειακής δραστηριότητας (Abbas et al., 2018).

Το αρσενικό βρίσκει εφαρμογές στη συντήρηση ξύλου, στην κατασκευή ειδικών γυαλιών, σε σκευάσματα εντομοκτόνων και ως παράγοντας πρόσμιξης σε ημιαγωγούς όπως το αρσενιούχο γάλλιο, που ταυτόχρονα είναι και οι ανθρωπογενούς προέλευσης πηγές ρύπανσης, λόγω της

αλόγιστης χρήσης χημικών με βάση το As κυρίως στη γεωργία, στα υπόγεια ύδατα, στην εξόρυξη και στην τήξη (Abbas et al., 2018; Briffa et al., 2020; Sinha et al., 2023).

Θεωρείται μη απαραίτητο για τα φυτά και άλλους οργανισμούς (Sinha et al., 2023). Η υπερβολική έκθεση επηρεάζει αρνητικά τα φυτά σε βιοχημικό και μοριακό επίπεδο και δυσχεραίνει την πλειονότητα των φυσιολογικών αντιδράσεων, όπως η αναστολή των συνολικών διαδικασιών ανάπτυξης, η φωτοσυνθετική απόδοση και η συσσώρευση βιομάζας (Abbas et al., 2018). Τα φυτά που εκτίθενται σε As σε μια ελάχιστη συγκέντρωση είναι ικανά να προκαλέσουν βιοχημικές, μοριακές, φυσιολογικές και μορφολογικές αλλοιώσεις (Sinha et al., 2023).

Η Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) και η Διεθνής Υπηρεσία Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) έχουν κατατάξει το As και τις ενώσεις του ως καρκινογόνες για τον άνθρωπο. Η έκθεση σε ανόργανο αρσενικό μπορεί να οδηγήσει σε γαστρεντερικό και πνευμονικό ερεθισμό, δερματικές αλλαγές, μειωμένη παραγωγή κυττάρων του αίματος και δυνητικά αυξημένο κίνδυνο καρκίνου (Briffa et al., 2020). Επιπλέον, μπορεί να προκαλέσει στειρότητα, καρδιακά προβλήματα και εγκεφαλική βλάβη, μεταξύ άλλων προβλημάτων υγείας (Briffa et al., 2020). Το οργανικό αρσενικό, το οποίο βρίσκεται σε τρόφιμα όπως τα ψάρια, τα οστρακοειδή, το κρέας, τα πουλερικά, τα γαλακτοκομικά προϊόντα και τα δημητριακά, μπορεί να οδηγήσει σε στομαχικές διαταραχές και νευρικές βλάβες, αλλά δεν επηρεάζει το DNA και δεν ενέχει καρκινογενετικούς κινδύνους (Briffa et al., 2020). Οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στη διατροφική έκθεση στο ανόργανο αρσενικό, που είναι πιο τοξικό και είναι γνωστό καρκινογόνο για τον άνθρωπο, είναι το ρύζι και τα προϊόντα με βάση αυτό, άλλα δημητριακά και προϊόντα τους και το πόσιμο νερό (https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/contaminants/catalogue/arsenic_en).

2.4.2.5. Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός, με πυκνότητα 8,96 g/cm³, είναι το 26^ο πιο άφθονο μέταλλο, αναγνωρίζεται στα βασάλτικα και ηφαιστειογενή πετρώματα και συνήθως σε πυριτικά ορυκτά και σε εκείνα πλούσια σε Mn και Fe, όπως ο χαλκοπυρίτης και ο βορνίτης (www.periodic-table.com; Χρυσοστομίδης, 2016). Ο χαλκός δεν είναι πολύ κινητός στα εδάφη και τείνει να συσσωρεύεται στο ανώτερο έδαφος λόγω ειδικής προσρόφησης σε ορυκτά και οργανικά κλάσματα (Poggere et al., 2023). Μπορεί να απελευθερωθεί με τη μορφή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ή με τη μορφή διαλυμένων ενώσεων στο νερό, από φυσικές πηγές όπως τα ηφαίστεια, η σκόνη, η αποσύνθεση της βλάστησης και οι δασικές πυρκαγιές (<https://www.dcceew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/copper-and-compounds>).

Η καύση ξύλου, καυσίμων και αποτέφρωση αποβλήτων σε αστικές περιοχές, καθώς και η βιομηχανική χρήση χαλκού, καύσεις κάρβουνου, λαδιού, και αποβλήτων συνιστούν κύριες πηγές περιβαλλοντικής ρύπανσης από τον άνθρωπο, επιβαρύνοντας τα εδάφη με χαλκό 5 έως 10 φορές περισσότερο από τις αγροτικές περιοχές (Χρυσοστομίδης, 2016). Ειδικότερα, τα χυτήρια συχνά προκαλούν υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού στο έδαφος, οι οποίες μειώνονται αναλόγως με την απόσταση και την κατεύθυνση του ανέμου (Χρυσοστομίδης, 2016). Παρά τις ευεργετικές εφαρμογές του χαλκού στη γεωργία, η μη φυσική προσθήκη του στο έδαφος και η χρήση μυκητοκτόνων συμβάλλουν επίσης στη ρύπανση, με την ατμοσφαιρική απόθεση και την προσθήκη από λύ βιολογικών καθαρισμών να αποτελούν άλλες σημαντικές πηγές

(Χρυσοστομίδης 2016; Παπαδήμου 2020; Χαριζάνη, 2022). Ο Χρυσοστομίδης (2016) επισημαίνει ότι η ιλύς μετά την κατεργασία αστικών λυμάτων διατηρεί το 75% της αρχικής περιεκτικότητας σε χαλκό. Στα αστικά περιβάλλοντα, μπορεί να παρατηρηθούν αυξημένες συγκεντρώσεις του εν λόγω μετάλλου, κυρίως λόγω της συνεχούς κυκλοφορίας και φρεναρίσματος των οχημάτων, καθώς και από τη χρήση λιπαντικών σε αυτά (Ασλανίδης, 2022).

Η πλαστικότητα του χαλκού και η εξαιρετική αγωγιμότητα στη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό τον καθιστούν ανεκτίμητο σε διάφορες εφαρμογές. Χρησιμοποιείται για την παρασκευή κραμάτων χαλκού, όπως ο χαλκός και ο ορείχαλκος, καλωδίων χαλκού για ηλεκτρικούς σκοπούς, επιμεταλλώσεων, νομισμάτων, σωλήνων, ακόμη και σε λιπάσματα (Ασλανίδης, 2022; Παπαδήμου, 2020; Briffa et al., 2020). Ο χαλκός χρησιμοποιείται στη συντήρηση του ξύλου και των υφασμάτων, αποτελεί μέρος των κρεμών φραγμού και χρησιμοποιείται σε χημικές δοκιμές για την ανίχνευση σακχάρων, όπως στο διάλυμα Fehling (Briffa et al., 2020). Επιπλέον, ο θεικός χαλκός δρα ως αλγοκτόνο στον καθαρισμό του νερού και ως θεραπεία για το ωίδιο στη γεωργία (Briffa et al., 2020).

Για την χλωρίδα, ο χαλκός αποτελεί ένα σημαντικό ιχνοστοιχείο και τις βιολογικές διεργασίες όπως ο μεταβολισμός πρωτεϊνών και υδατανθράκων, η παραγωγή χλωροφύλλης και η αντιμετώπιση του οξειδωτικού στρες (Χαριζάνη, 2022). Όπως τονίζει ο Ασλανίδης (2022), παραθέτοντας την θέση της Γκόλια (2003), οι μικρότερες ποσότητες ενισχύουν την άμυνα των φυτών ενάντια σε παθογόνα μικρόβια, ενώ οι υψηλές ποσότητες Cu περιορίζουν την ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν διάφορες παθήσεις. Είναι κρίσιμο οι συγκεντρώσεις του χαλκού εντός των φυτικών κυττάρων να παραμένουν σε ελεγχόμενα επίπεδα, αφού η υπερβολική συσσώρευση μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στο DNA, μεταβολή της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης και αναστολή βασικών λειτουργιών όπως η αναπνοή και η φωτοσύνθεση, επηρεάζοντας τελικά την ανάπτυξη των φυτών (Χαριζάνη, 2022).

Για τον άνθρωπο, είναι το τρίτο πιο κοινό ζωτικής σημασίας μεταβατικό μέταλλο που απαντάται στο σώμα, με την πλειονότητά του να εντοπίζεται στον εγκέφαλο και στο ήπαρ. Ενεργεί ως βασικό στοιχείο σε διάφορα ενζυμικά συστήματα και συμμετέχει στον μεταβολισμό της ενέργειας, την αιμοποίηση σε συνεργασία με το σίδηρο, την πήξη του αίματος και την αντιοξειδωτική προστασία (Παπαδήμου, 2022). Προσλαμβάνεται μέσω των τροφίμων όπως το σικώτι, τα στρείδια, η σπιρουλίνα, στους ξηρούς καρπούς και τους σπόρους, στα φυλλώδη λαχανικά και τη μαύρη σοκολάτα, παίζοντας καθοριστικό ρόλο στη διατροφική πρόσληψη (Briffa et al., 2020).

Ο αντίκτυπος του χαλκού στην ανθρώπινη υγεία μπορεί να ποικίλλει ευρέως. Μπορεί να προκαλέσει μεταλλικό πυρετό, παρουσιάζοντας συμπτώματα που μοιάζουν με γρίπη, διάρροια, εμετό, ερεθισμό των ματιών, ζάλη και ερεθισμό της στοματικής κοιλότητας (Briffa et al., 2020). Η υπερβολική έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε ηπατοκυτταρικό εκφυλισμό, νέκρωση και είναι κυτταροτοξική για τα ερυθροκύτταρα οδηγώντας σε αιμόλυση, προκαλώντας δυνητικά ηπατική και νεφρική νόσο, αϋπνία, άγχος, διέγερση, ανησυχία και σε σοβαρές περιπτώσεις νόσο του Wilson (Briffa et al., 2020). Αυτή η κατάσταση προκύπτει από τη συσσώρευση χαλκού στα όργανα, προκαλώντας συμπτώματα όπως έλλειψη όρεξης, κόπωση, ίκτερο, δακτυλίους Kayser-Fleisher, διαταραχή της ομιλίας, δυσκολία στην κατάποση, εγκεφαλική βλάβη, απομυελίνωση, ηπατική κίρρωση, ακόμη και θάνατο (Briffa et al., 2020).

2.4.2.6. Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο ανήκει στα μέταλλα, με πυκνότητα $8,69 \text{ g/cm}^3$. Κατατάσσεται στην 64^η θέση των πιο άφθονων μετάλλων και βρίσκεται συχνά σε συνδυασμό με τον ψευδάργυρο, ενώ το μοναδικό ορυκτό του, ο γκρινοκίτης, αποτελείται από κάδμιο και θείο (Briffa et al., 2020). Στη φύση απαντάται σε ιζηματογενή, ηφαιστειακά και σχιστολιθικά πετρώματα, με τους ιζηματογενείς σχηματισμούς να φιλοξενούν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις (Παπαδήμου, 2020).

Είναι εξαιρετικά διαλυτό και ευκίνητο σε συνθήκες χαμηλού pH και προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η βιομηχανική τήξη, η παραγωγή μπαταριών νικελίου-καδμίου, η καύση άνθρακα, τα φρένα των οχημάτων και σε λιμενικές περιοχές, η όξινη βροχή, τα φωσφορικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα και τα απόβλητα από ορυχεία Zn-Pb (Χρυσοστομίδης, 2016; Bourliva, 2017; Bourliva, 2018; Haider et al., 2021). Οι πηγές του καδμίου στο έδαφος περιλαμβάνουν και την αποσάθρωση των πετρωμάτων, την ατμοσφαιρική απόθεση, τις γεωργικές πρακτικές και τα δημοτικά απόβλητα. Οι αστικές περιοχές σηκώνουν το κύριο βάρος της συσσώρευσης, που προωθείται από τους ανέμους από τις κοντινές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, με το μέταλλο τελικά να κατακάθεται στο έδαφος και στα ύδατα, να εισέρχεται στα φυτά και, στη συνέχεια, στα ζώα μέσω της τροφικής αλυσίδας (Παπαδήμου, 2020).

Παρότι πανταχού παρόν, δεν λαμβάνει μέρος σε καμία βιολογική λειτουργία και, συνεπώς, δεν αποτελεί αναγκαίο θρεπτικό συστατικό για τα φυτά (Haider et al., 2021). Η υψηλή συγκέντρωση Cd στις καλλιέργειες καθυστερεί την ανάπτυξή τους και τη φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα και, ως εκ τούτου, μειώνει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών (Haider et al., 2021). Εξαιτίας της χαμηλής κινητικότητάς του στο έδαφος, το κάδμιο συσσωρεύεται στα επιφανειακά στρώματα και, όταν μεταφέρεται στα καλλιεργούμενα φυτά, προκαλεί αυξημένη έκθεση του μετάλλου αυτού στον γενικό πληθυσμό (Παπαδήμου, 2020).

Οι δυσμενείς επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία είναι βαθιές, επηρεάζοντας κυρίως τα νεφρά, το αναπαραγωγικό σύστημα και την υγεία των οστών, οδηγώντας σε καταστάσεις όπως η νεφροτοξικότητα, η υπογονιμότητα, τα κατάγματα των οστών και η έκθεση συνδέεται επίσης με ψυχολογικές διαταραχές, γαστρεντερικά προβλήματα, ανεπάρκεια του ανοσοποιητικού συστήματος και καρκίνο (Παπαδήμου, 2020; Briffa et al., 2020). Η εισπνοή υψηλών επιπέδων καδμίου βλάπτει τους πνεύμονες των ανθρώπων και μπορεί να προκαλέσει θάνατο (Centers for Disease Control and Prevention, 2017). Η ημιζωή του καδμίου στον ανθρώπινο οργανισμό εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 10 έως 30 χρόνια, αλλά μέρος του αποβάλλεται μέσω των ούρων (Χρυσοστομίδης, 2016).

Οι τροφικές πηγές καδμίου περιλαμβάνουν οστρακοειδή, μύδια, αποξηραμένα φύκια, γαρίδες, μανιτάρια και το συκώτι (Briffa et al., 2020). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή πάνω στο θέμα της διατροφικής ασφάλειας, η μέση διατροφική έκθεση για τους ενήλικες σε όλη την Ευρώπη πλησιάζει ή υπερβαίνει ελαφρώς την ανεκτή εβδομαδιαία πρόσληψη (https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/contaminants/catalogue/mercury_en).

2.4.2.7. Υδράργυρος (Hg)

Ο υδράργυρος ταξινομείται στα μέταλλα του Περιοδικού Πίνακα, με πυκνότητα $13,5336 \text{ g/cm}^3$ (www.periodic-table.com). Σπανίζει στη φυσική του κατάσταση, επειδή είναι εξαιρετικά

αντιδραστικός, σχηματίζει εύκολα ενώσεις με άλλα στοιχεία και έχει σχετικά χαμηλό σημείο βρασμού, οπότε τείνει να εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα αντί να παραμένει σε υγρή κατάσταση στην επιφάνεια της Γης (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/80/mercury>). Ως αποτέλεσμα, ο καθαρός στοιχειακός υδράργυρος είναι σπάνιος στη φύση σε σύγκριση με τις ενώσεις του. Μπορεί να βρεθεί κυρίως με τη μορφή μεταλλευμάτων, όπως ο κινναβαρίτης (θειούχος υδράργυρος), ο λιβινγκστονίτης (θειούχος υδράργυρος και αντιμόνιο) και ο κορδεροίτης (χλωριούχος θειούχος υδράργυρος και αντιμόνιο), που συνήθως εξορύσσονται για την εξαγωγή του υδραργύρου

(<https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/mercury/index.cfm>; U.S. Geological Survey, 2020, Mineral commodity summaries, 2020). Επιπλέον, μπορεί να υπάρχει σε μικρές ποσότητες σε διάφορα ορυκτά και ιζήματα. Η διάβρωση των πετρωμάτων, οι εκρήξεις ηφαιστειών και η αποσάθρωση του εδάφους έχουν ως αποτέλεσμα την κυκλοφορία και αναδιανομή του στην ατμόσφαιρα και κατ' επέκταση την εισαγωγή του στην υδρόσφαιρα και την λιθόσφαιρα μέσω των φυσικών κύκλων (<https://scdhec.gov/environment/your-home/mercury/health-risks-mercury>).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου και οικιακών απορριμμάτων και η εξόρυξη μεταλλευμάτων, επιβαρύνουν το περιβάλλον με Hg. Επιπρόσθετα, πολλά κοινά προϊόντα που χρησιμοποιούμε καθημερινά περιέχουν υδράργυρο και προσθέτουν στο πρόβλημα, όταν απορρίπτονται εσφαλμένα μέσω της απόρριψης σκουπιδιών, της καύσης ή της αποχέτευσης και δεν πρέπει να παραλειφθούν ως πηγές τα βιομηχανικά απόβλητα και οι δημοτικές αποχετεύσεις που τον εισαγάγουν απευθείας στο νερό (<https://scdhec.gov/environment/your-home/mercury/health-risks-mercury>).

Χρησιμοποιείται εκτενώς σε διάφορες εφαρμογές, όπως βαρόμετρα, θερμόμετρα, στην παραγωγή χλωρίου, στην ανάκτηση χρυσού, σε σφραγίσματα δοντιών, σε συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, όπως και στην παραγωγή ενώσεων, όπως ο χλωριούχος υδράργυρος (i), που χρησιμοποιείται στη φωτοχημεία, και ο χλωριούχος υδράργυρος (ii), που χρησιμοποιείται ως εντομοκτόνο και ποντικοφάρμακο (Briffa et al., 2020).

Ο υδράργυρος δεν αποτελεί ωφέλιμη ουσία, ούτε για τα φυτά, ούτε για τους ανθρώπους, ακόμα και σε μικρές δόσεις. Στα φυτά οδηγεί σε διαταραχή των φυσιολογικών λειτουργιών τους και τοξικότητα (Santos and Boaretto, 2015).

Η έκθεση στον υδράργυρο εγκυμονεί σοβαρά προβλήματα υγείας, μέσα στα οποία περιλαμβάνονται ο ερεθισμός στους πνεύμονες και τα μάτια, οι νευρολογικές διαταραχές, τα θέματα αναπαραγωγής, ακόμη και θανατηφόρες καταστάσεις όπως η νόσος Μιναμάτα (Briffa et al., 2020). Αυτό το τοξικό μέταλλο, «κρύβεται» σε αρκετά θαλασσινά και μανιτάρια. Η περιεκτικότητα σε υδράργυρο ποικίλλει αρκετά μεταξύ των διαφορετικών ειδών ψαριών και είναι γενικά υψηλότερη στα αρπακτικά ψάρια (https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/contaminants/catalogue/mercury_en).

2.4.2.8. Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο ανήκει στα μέταλλα μετάπτωσης, με πυκνότητα $8,9 \text{ g/cm}^3$ (www.periodic-table.com). Είναι επίσης το 22^ο πιο άφθονο μέταλλο, με εμφανίσεις σε ορυκτά όπως ο πετλανδίτης (θειικός σίδηρος και νικέλιο) και ο γαρνιερίτης (υδροξίνος πυρίτης νικελίου), διαθέτει υψηλή

ανθεκτικότητα στη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες, αιτιολογώντας την παρουσία υψηλών επιπέδων του σε μετεωρίτες (Briffa et al., 2020). Εξίσου υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου παρατηρούνται στα υπερμαφικά πετρώματα.

Η φυσική προέλευση του νικελίου αποδίδεται στην αποσάθρωση πυριγενών πετρωμάτων. Όπως αναφέρει ο Χρυσοστομίδης (2016), «προσροφάται στην οργανική ύλη, τα αργιλικά ορυκτά και τα οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου, και έτσι απομακρύνεται από τα εδάφη, όμως το νικέλιο που περιέχεται στα οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου θεωρείται ότι είναι πιο εύκολα προσβάσιμο για τα φυτά». Η ανθρωπογενής ρύπανση προέρχεται από την μακροετή χρήση υλός ως εδαφοβελτιωτικό στην γεωργική παραγωγή, την κίνηση των οχημάτων και από περιοχές με λιμενικές δραστηριότητες (Παπαδήμου, 2020; Bourliva et al., 2018).

Οι ποικίλες εφαρμογές του περιλαμβάνουν την κοπή κερμάτων, μετάλλων, εργαστηριακών και βιομηχανικών συσκευών, στους κινητήρες των πυραύλων, καθώς και για τη γαλβανοπλαστική επικάλυψη άλλων μετάλλων (επινικέλωση), ενώ λόγω της υψηλής προσροφητικής του ισχύος για το υδρογόνο, χρησιμοποιείται και ως καταλύτης στη χημική βιομηχανία των υδρογονώσεων (Παπαδήμου, 2020; Briffa et al., 2020). Ακόμα, χρησιμοποιείται ως συστατικό για το σχηματισμό κραμάτων με σίδηρο, χαλκό, χρώμιο κ.ά, προκειμένου να βελτιωθούν οι μηχανικές τους ιδιότητες και η αντίστασή τους στη διάβρωση και στην κατασκευή ειδικών μπαταριών, αντικαθιστώντας τον μόλυβδο εντελώς (Παπαδήμου, 2020).

Σε μικρές ποσότητες, το νικέλιο είναι απαραίτητο για τη σωστή ανάπτυξη και ανάπτυξη των φυτών, ενεργώντας ως συμπράγοντας για ορισμένα ένζυμα, ομοίως για τον άνθρωπο, απαιτείται σε ιχνοστοιχεία για ορισμένες μεταβολικές λειτουργίες (Hassan et al., 2019).

Η πρόσληψη του νικελίου μπορεί να συμβεί μέσω της άμεσης δερματικής επαφής, της χρήσης προϊόντων από ανοξείδωτο ατσάλι και το κάπνισμα. Οι επιπτώσεις της έκθεσης μπορούν να είναι σε αλλεργικές αντιδράσεις (ιδίως με κοσμήματα), αναπνευστική ανεπάρκεια, καρδιακές παθήσεις, ζάλη και άσθμα (από έκθεση σε αέρια) και αυξημένο κίνδυνο καρκίνου (Briffa et al., 2020). Τα θειικά, το οξείδιο και τα διαλυτά άλατα του νικελίου είναι αποδεκτά καρκινογόνοι παράγοντες, επηρεάζοντας ιδιαίτερα τους εργαζόμενους στη βιομηχανία νικελίου που εισπνέουν το μέταλλο (Παπαδήμου, 2020; Briffa et al., 2020). Στα τρόφιμα, το νικέλιο συναντάται σε διάφορες ομάδες, όπως σε αρκετά όσπρια, στα προϊόντα σόγιας, σε κάποια δημητριακά, στο τσάι και στο κακάο και στα καρύδια (Briffa et al., 2020). Η ποσότητα νικελίου σε ένα τρόφιμο εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νικέλιο στο έδαφος στο οποίο καλλιεργήθηκε και επομένως, ακόμη και το ίδιο τρόφιμο μπορεί να διαφέρει σε περιεκτικότητα σε νικέλιο ανά περιοχή (<https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/nickel/>). Το μαγείρεμα όξινων τροφίμων σε ανοξείδωτα σκεύη μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητά τους σε νικέλιο (<https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/nickel/>).

2.4.2.9. Κοβάλτιο (Co)

Το κοβάλτιο είναι ένα από τα μέταλλα μετάπτωσης, με πυκνότητα 8.86 g/cm^3 (www.periodic-table.com). Είναι επίσης το 32° πιο κοινό μέταλλο, που βρίσκεται σε ορυκτά όπως ο κοβαλίτης, ο ερυθρίτης και ο σκουττερουδίτης, με υψηλές συγκεντρώσεις στα μαφικά πετρώματα (Χρυσοστομίδης, 2016; Briffa et al., 2020). Διαθέτει μαγνητικές ιδιότητες και όπως περιγράφει ο Χρυσοστομίδης (2016), συχνά ενώνεται με θείο, αρσενικό και σελήνιο για το σχηματισμό

ορυκτών, ενώ ο γεωχημικός κύκλος του έχει ομοιότητες με του σιδήρου και του μαγγανίου και μπορεί να συνδεθεί με πολλά ορυκτά αυτών των μετάλλων. Επιπρόσθετα, η ικανότητά του για απορρόφηση από οξείδια μαγγανίου, είτε βιογενούς είτε μη, είναι υψηλή και οι αλληλεπιδράσεις του με άλλα μέταλλα που συνδέονται γεωχημικά ή βιοχημικά με το σίδηρο επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του στο έδαφος και τη διαθεσιμότητά του στα φυτά (Χρυσοστομίδης, 2016).

Η ρύπανση του εδάφους με Co είναι κυρίως ανθρωπογενής λόγω δραστηριοτήτων όπως η καύση άνθρακα ή πετρελαίου ή η παραγωγή κραμάτων. Τα απόβλητα που παράγονται από την εξόρυξη κοβαλτίου και άλλων μετάλλων μπορούν να ρυπάνουν το νερό, τον αέρα και το έδαφος, οδηγώντας σε μειωμένες αποδόσεις καλλιεργειών, αυξημένες συγκεντρώσεις στα τρόφιμα και το νερό, καθώς και σε αναπνευστικά, δερματικά και αναπαραγωγικά προβλήματα (<https://news.northwestern.edu/stories/2021/12/understanding-cobalts-human-cost/>). Οι οξείες επιδράσεις περιλαμβάνουν συμφόρηση, οίδημα και αιμορραγία των πνευμόνων κατόπιν εισπνοής του μετάλλου, ενώ η χρόνια εισπνοή μπορεί να οδηγήσει σε συριγμό, άσθμα, μείωση της πνευμονικής λειτουργίας, ακόμη και σε καρδιακές παθήσεις (Χρυσοστομίδης, 2016; Briffa et al., 2020).

Οι εφαρμογές του κυμαίνονται από τη χρήση σε μαγνήτες, γεννήτριες αεροτουρμπίνων, ηλεκτρονική επιχρύσωση, μπαταρίες ιόντων λιθίου, μέχρι την παροχή του μπλε χρώματος σε διάφορα υλικά όπως βαφές, πορσελάνη και γυαλί (<https://news.northwestern.edu/stories/2021/12/understanding-cobalts-human-cost/>; Briffa et al., 2020). Επιπλέον, το ραδιενεργό 60-κοβάλτιο (^{60}Co), χρησιμοποιείται στη θεραπεία του καρκίνου και στη διατήρηση τροφίμων μέσω ακτινοβολίας (Briffa et al., 2020).

Το κοβάλτιο είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για τους προκαριωτικούς οργανισμούς, τον άνθρωπο και άλλα θηλαστικά, αλλά δεν έχει θεωρηθεί απαραίτητο μικροθρεπτικό συστατικό για τα φυτά και η ουσιαστικότητα της ύπαρξής του σε αυτά παραμένει ασαφής (Hu et al., 2021). Σε αυξημένες συγκεντρώσεις είναι τοξικό για εκείνα και προκαλεί έλλειψη σιδήρου. Η κύρια λειτουργία του Co στον άνθρωπο βασίζεται στο ρόλο της στη βιταμίνη B12 (κοβαλαμίνη), απαραίτητη για τη δημιουργία ερυθρών αιμοσφαιρίων καθώς και τον μεταβολισμό των λιπών και των πρωτεϊνών, συμβάλλοντας στην παραγωγή ενέργειας στο σώμα (Genchi et al., 2023). Εντοπίζεται σε κοινές πηγές τροφίμων όπως η σοκολάτα, το βούτυρο, το τυρί, το κρέας, σε αρκετά πράσινα λαχανικά και πληθώρα μπαχαρικών (Briffa et al., 2020; Genchi et al., 2023).

2.4.2.10. Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο είναι επίσης μέταλλο μετάπτωσης, με πυκνότητα $7,3 \text{ g/cm}^3$ (www.periodic-table.com). Κατατάσσεται ως το 5^ο πιο άφθονο μέταλλο και είναι ευρέως διαδεδομένο σε πετρώματα, ορυκτά, έδαφος, νερό και αέρα, ενώ απαντάται φυσικά σε διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς. Λεπτομερέστερα, συναντάται στα μαφικά και υπερμαφικά πετρώματα και τα χαρακτηριστικά ορυκτά που περιέχουν Mn είναι ο πυρολουσίτης και ο ροδοχρωσίτης (Χρυσοστομίδης, 2016; Briffa et al., 2020). Ο Χρυσοστομίδης (2016) αναφέρει πως σημαντικές συγκεντρώσεις Mn παρατηρούνται σε εδάφη πλούσια σε σίδηρο και οργανική ύλη, καθώς και σε εκείνα που βρίσκονται σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές. Αναφορικά με τις ανθρωπογενείς πηγές, το Mn προέρχεται από διαρροές των οχημάτων και σε περιοχές πλησίον λιμανιών, όπου και έχει παρατηρηθεί αυξημένη συγκέντρωση του μετάλλου (Bourliva et al., 2017; Bourliva et al., 2018).

Αυτό το ευπροσάρμοστο στοιχείο υπάρχει σε έξι καταστάσεις οξείδωσης και βρίσκει εκτεταμένη χρήση σε κράματα για την ενίσχυση της σκληρότητας, της αντίστασης στη διάβρωση, ιδίως σε δοχεία πόσιμου νερού (Χρυσοστομίδης, 2016; Briffa et al., 2020). Το διοξείδιο του μαγγανίου χρησιμεύει ως καταλύτης σε χημικές αντιδράσεις και χρησιμοποιείται ως πρόσθετο για ελαστικά (Χρυσοστομίδης, 2016; Briffa et al., 2020). Άλλες εφαρμογές που βρίσκει είναι στα λιπάσματα, τα πυροτεχνήματα τα φυτοφάρμακα και τα καλλυντικά. Το Mn παίζει καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή μπαταριών και χρησιμεύει ως μαγνητικό κράμα όταν συνδυάζεται με αντιμόνιο, χαλκό και αλουμίνιο.

Θεωρείται ιχνοστοιχείο ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά, εφόσον απαιτείται για την ανάπτυξη, την εξέλιξη και τη διατήρηση της υγείας όλων. Κατέχει κρίσιμο ρόλο στις βιολογικές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που εμπλέκονται στη φυσιολογική ανάπτυξη, στην ενεργοποίηση ορισμένων μεταλλοενζύμων, στον ενεργειακό μεταβολισμό, στη λειτουργία του ανοσολογικού και του νευρικού συστήματος, στη λειτουργία των αναπαραγωγικών ορμονών και στα αντιοξειδωτικά ένζυμα που προστατεύουν τα κύτταρα από βλάβες που οφείλονται στις ελεύθερες ρίζες (Avila et al., 2013).

Σε υπερβολικές ποσότητες, το Mn καταλήγει να προκαλεί φυτοτοξικότητα, διαταράσσοντας τη φωτοσύνθεση και τη δραστηριότητα των ενζύμων στα φυτά και αποτελεί τροχοπέδη στην ανάπτυξη και παραγωγή τους, ιδιαίτερα στα όξινα εδάφη (Ασλανίδης, 2022; Li et al., 2019). Εκτός αυτού, η περίσσεια Mn μπορεί να επηρεάσει την αναπνοή και το μεταβολισμό των μικροοργανισμών στο έδαφος και να προκαλέσει μείωση του οργανικού άνθρακα (Wu et al., 2022).

Στους ανθρώπους, η έκθεση λαμβάνει χώρα κυρίως μέσω της διαιτητικής πρόσληψης, της απορρόφησης από το δέρμα και της εισπνοής του μετάλλου. Οι τροφές που είναι πλούσιες σε μαγγάνιο περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τα δημητριακά, το ρύζι, το τσάι και τα βότανα, τους ξηρούς καρπούς και τα στρείδια (Briffa et al., 2020). Η υπερβολική έκθεση εκδηλώνεται με την εμφάνιση νευρολογικών ασθενειών που έχουν παρεμφερή συμπτωματολογία με την νόσο του Πάρκινσον (Avila et al., 2013; Briffa et al., 2020;). Ωστόσο οι Avila et al. (2013), επισημαίνουν ότι η κύρια πηγή δηλητηρίασης από Mn στον άνθρωπο οφείλεται στην επαγγελματική έκθεση, όπως σε ανθρακωρύχους, μεταλλουργούς, συγκολλητές και εργαζόμενους σε εργοστάσια. Πολυάριθμες μελέτες συμφωνούν στην συσχέτιση της αυξημένης περιβαλλοντικής έκθεσης σε Mn και της επιδείνωσης της εμφάνισης νευρολογικών ασθενειών, παρότι οι ακριβείς μηχανισμοί που διέπουν τις νευροτοξικές επιδράσεις του Mn στον οργανισμό παραμένουν δυσνόητοι (Avila et al., 2013).

2.5. Βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης της ρύπανσης του εδάφους

Τα τελευταία έτη, η ρύπανση του εδάφους έχει κλιμακωθεί αισθητά, προκαλώντας αυξημένη παγκόσμια ανησυχία και καθιστώντας την προστασία του περιβάλλοντος ύψιστη προτεραιότητα. Κατά συνέπεια, η αντιμετώπιση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα έχει αναδειχθεί ως κατάλληλη προσέγγιση.

Η προώθηση πρακτικών αειφόρου γεωργίας, όπως η βιολογική γεωργία, η ολοκληρωμένη φυτοπροστασία και η αμειψισπορά, μειώνουν την εξάρτηση από χημικές εισροές και

ελαχιστοποιούν τους κινδύνους ρύπανσης του εδάφους, όπως και η ισορροπημένη διαχείριση θρεπτικών στοιχείων και άρδευσης.

Οι βιομηχανίες πρέπει να εφαρμόζουν προηγμένες τεχνολογίες ελέγχου της ρύπανσης, όπως φίλτρα αέρα, συστήματα επεξεργασίας λυμάτων και κατάλληλες μεθόδους διάθεσης αποβλήτων. Επιπλέον, η ορθή διαχείριση και διάθεση των επικίνδυνων αποβλήτων είναι καθοριστική για την πρόληψη της ρύπανσης του εδάφους, απαιτώντας την τήρηση αυστηρών κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών. Δεν πρέπει να παραλείπεται η τακτική περιβαλλοντική παρακολούθηση και η υποβολή εκθέσεων σχετικά με τις εκπομπές, την παραγωγή αποβλήτων και τα επίπεδα ρύπων, ώστε να αξιολογούνται οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις και να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα.

Οι τεχνικές αποκατάστασης του εδάφους μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες, τις φυσικές (αντικατάσταση, απομόνωση, υαλοποίηση, ηλεκτροκινητική), τις χημικές (ακινητοποίηση και πλύση) και τις βιολογικές (φυτοσταθεροποίηση, φυτοεξάτμιση και φυτοεκχύλιση) (Hanfi et al., 2020). Οι φυσικές μέθοδοι αποκατάστασης, όπως η αντικατάσταση του εδάφους και η θερμική εκρόφηση, απομακρύνουν ή εξουδετερώνουν με φυσικό τρόπο τους ρύπους στο έδαφος. Η αντικατάσταση του εδάφους περιλαμβάνει είτε την απομάκρυνση και αντικατάσταση του ρυπασμένου εδάφους, είτε την απομόνωσή του με ένα καθαρό εδαφικό κάλυμμα, αποτρέποντας αποτελεσματικά την περαιτέρω ρύπανση (Hanfi et al., 2020). Η θερμική εκρόφηση, από την άλλη πλευρά, εξατμίζει τους ρύπους με θέρμανση του εδάφους, διαχωρίζοντάς τους από το μητρικό υλικό (Hanfi et al., 2020). Η ηλεκτροκινητική αποκατάσταση χρησιμοποιεί ηλεκτρικά ρεύματα για να απομακρύνει τους ρύπους από τα αμμώδη και αργιλώδη εδάφη, ενώ οι χημικές μέθοδοι, όπως η έκπλυση του εδάφους και η προσρόφηση, αποπλένουν τους ρύπους ή τους σταθεροποιούν στη θέση τους με τη χρήση ειδικών αντιδραστηρίων, εξασφαλίζοντας την απομάκρυνση ή την ακινητοποίησή τους (Hanfi et al., 2020).

Η βιοεξυγίανση αξιοποιεί μικροοργανισμούς όπως βακτήρια, μύκητες και φυτά για να διασπάσει τους ρύπους που υπάρχουν στο έδαφος, μετατρέποντάς τους σε λιγότερο επιβλαβείς ουσίες μέσω φυσικών βιολογικών διεργασιών (FAO and UNEP, 2021). Η μέθοδος αυτή μπορεί να ενισχυθεί εισάγοντας εξειδικευμένους μικροοργανισμούς, ή με τη φυτοεξυγίανση, η οποία χρησιμοποιεί φυτά για την εξαγωγή, τη σταθεροποίηση ή την αποικοδόμηση των ρύπων, καθιστώντας την μια ευέλικτη προσέγγιση για την επεξεργασία των ρυπασμένων εδαφών. Η αποτελεσματική βιολογική αποκατάσταση βασίζεται στη δημιουργία βέλτιστων συνθηκών για τη μικροβιολογική αποικοδόμηση, οι οποίες επηρεάζονται από παράγοντες όπως το pH, η θερμοκρασία, η εδαφική υγρασία, η συγκέντρωση οξυγόνου και η βιοδιαθεσιμότητα του ρύπου στους μικροοργανισμούς (FAO and UNEP, 2021).

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής εξαρτάται από παράγοντες όπως η έκταση της ρύπανσης, οι ειδικές συνθήκες της περιοχής και οι κανονιστικές απαιτήσεις. Η επιτυχής αποκατάσταση του εδάφους απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και τακτική παρακολούθηση για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της επιλεγμένης τεχνικής και η αποκατάσταση της ποιότητας του εδάφους σε αποδεκτά επίπεδα.

Πρόσφατα, η φυτοεξυγίανση παρουσιάζεται ως μια ιδανικότερη εναλλακτική λύση αποκατάστασης, κυρίως λόγω των αντιληπτών περιορισμών των υφιστάμενων τεχνικών, οι οποίες να μεν μπορεί να είναι αποτελεσματικές, είναι δε αρκετά δαπανηρές και προϋποθέτουν αυστηρούς ελέγχους για να εκτελεστούν εις πέρας. Εκτός αυτού, η εφαρμογή τους μπορεί να ενέχει περιβαλλοντικούς κινδύνους και να οδηγήσει σε οπτικές διαταραχές του τοπίου λόγω αισθητικών αλλοιώσεων (Vasilou et al., 2024). Αντιθέτως η φυτοεξυγίανση είναι μια οικονομική

μέθοδος, φιλική προς το περιβάλλον και αισθητικά ευχάριστη που μπορεί να εφαρμοστεί σε ιδιαίτερα υποβαθμισμένες περιοχές (Paradimou et al., 2023). Είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί υπερσυσσωρευτικά φυτά για τον μετριασμό, τη σταθεροποίηση, τη μεταφορά ή την αποικοδόμηση ρύπων από το έδαφος, τα ιζήματα, τα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα (Vasilou et al., 2023). Τα φυτά αυτά μπορούν να συνδράμουν εύστοχα στην απορρύπανση του εδάφους, αφού έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν και να αποθηκεύουν ρύπους μέσω του ριζικού τους συστήματος και των φύλλων τους, μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωση στο έδαφος. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα να διευκολύνουν την αποσύνθεση των ρύπων μέσω φυσικών διεργασιών ή να δημιουργήσουν συνθήκες που υποστηρίζουν τη μικροβιακή δραστηριότητα, η οποία με τη σειρά της βοηθά στις προσπάθειες βιοεξυγίανσης. Η φυτοεξυγίανση αναφέρεται σε επιτόπιες τεχνικές που από τη μία σταθεροποιούν τους ρύπους, μειώνοντας την κινητικότητα και επομένως τη διαθεσιμότητά τους και τους απομακρύνει διευκολύνοντας την αποικοδόμησή τους ή μεταφέροντάς τους σε άλλα μέσα. Ανάλογα με τον μηχανισμό των φυτών στη διαδικασία αποκατάστασης και τον τύπο του ρύπου, η φυτοεξυγίανση μπορεί να χωριστεί σε διάφορες τεχνικές: φυτοσυσσώρευση, φυτοδιάσπαση, φυτοεξαέρωση, φυτοσταθεροποίηση, ριζοδιάσπαση και ριζοδιήθηση.

Οι Hanfi et al. (2020) συμπεριλαμβάνουν στις πρακτικές καταπολέμησης της αστικής ρύπανσης και τον έλεγχο των ιζημάτων των αστικών δρόμων, που εξαρτάται από τα επίπεδα ρύπων τους και του τρόπου με τον οποίο μετακινούνται, με τις πλέον αποτελεσματικές στρατηγικές να συνοψίζονται (προσαρμοσμένες πάντα στις ανάγκες) στον εξ'αρχής μετριασμό των ρύπων, με βελτίωση του οδικού ιστού και τον περιορισμό της ασύμφορης κυκλοφορίας. Ωστόσο, η αποκατάσταση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα στο αστικό περιβάλλον είναι δύσκολο να επιτευχθεί, λόγω του υψηλού κόστους που συνεπάγεται και του σχετικά μεγάλου χρονικού διαστήματος που απαιτεί.

Τέλος, η υιοθέτηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη οδό για την καταπολέμηση της ρύπανσης του εδάφους και προωθεί ένα πιο βιώσιμο και εύρωστο εδαφικό οικοσύστημα. Δίνοντας έμφαση στην αποδοτικότητα των πόρων, την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση των υλικών, τον σχεδιασμό προϊόντων και συστημάτων με γνώμονα το μέλλον, μειώνεται η ανάγκη για νέους πόρους και κατ' επέκταση μετριάζεται η δημιουργία ρύπανσης.

Κεφάλαιο 3. Η προστασία του εδάφους στην Νομοθεσία

Στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διαχείρισης, το έδαφος αποτελεί καθοριστική συνιστώσα που υποστηρίζει τα οικοσυστήματα, τη γεωργία και τις αστικές υποδομές. Ο κομβικός ρόλος του στη διαφύλαξη της ζωής υπογραμμίζει την αναγκαιότητα αποτελεσματικών στρατηγικών προστασίας και διαχείρισής του. Με την εμφάνιση των προκλήσεων του 21ου αιώνα, όπως η κλιματική αλλαγή, η επισιτιστική ασφάλεια και η απώλεια της βιοποικιλότητας, η επιτακτική ανάγκη διαφύλαξης των εδαφικών πόρων έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία και έχει οδηγήσει παγκοσμίως τις χώρες στην λήψη απαραίτητων μέτρων για να επιτευχθεί η βιωσιμότητά του.

3.1. Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει επιδείξει δέσμευση για την αντιμετώπιση των ζητημάτων που σχετίζονται με το έδαφος μέσω της εφαρμογής οδηγιών και κανονισμών που αποσκοπούν στη βιώσιμη και υπεύνη διαχείρισή του. Αυτά τα νομοθετικά μέτρα παρέχουν ένα δομημένο πλαίσιο για τη διατήρηση της ποιότητας του εδάφους, τον μετριασμό της υποβάθμισης και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας έναντι περιβαλλοντικών παραγόντων πίεσης.

Εκτός από τον αγροτικό τομέα, η διαχείριση των αστικών εδαφών έχει αναδειχθεί σε κρίσιμο τομέα εστίασης στο πλαίσιο της ατζέντας της ΕΕ για τη βιωσιμότητα. Αναγνωρίζοντας τη σημασία του εδάφους στα αστικά περιβάλλοντα για τις οικοσυστημικές υπηρεσίες, τις πράσινες υποδομές και την κλιματική ανθεκτικότητα, οι οδηγίες της ΕΕ περιλαμβάνουν και μέτρα που για την αντιμετώπιση ζητημάτων ποιότητας και διαχείρισης του εδάφους σε αστικά περιβάλλοντα. Αν και αρκετές από τις παρακάτω οδηγίες και πολιτικές δεν απευθύνονται άμεσα στο έδαφος, είναι σημαντικό να τονιστούν, καθώς το έδαφος είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με άλλους φυσικούς πόρους, για παράδειγμα την υδρόσφαιρα και την ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα (eur-lex.europa.eu; commission.europa.eu):

Habitats Directive (92/43/EEC): Η Οδηγία αυτή επικεντρώνεται στην προστασία των φυσικών οικοτόπων και της άγριας πανίδας και χλωρίδας. Θεσπισμένη το 1992, καθιερώνει ένα δίκτυο προστατευόμενων περιοχών, γνωστό ως Natura 2000, με στόχο τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και τη διασφάλιση της βιώσιμης χρήσης των φυσικών πόρων. Διασφαλίζοντας τα οικοσυστήματα και τις λειτουργίες τους, η οδηγία για τους οικοτόπους συμβάλλει έμμεσα στην προστασία του εδάφους, αποτρέποντας την καταστροφή και την υποβάθμισή του.

Nitrates Directive (91/676/EEC): Η Οδηγία για τη νιτρορύπανση, που θεσπίστηκε το 1991, αφορά τη ρύπανση των υδάτων που προκαλείται από γεωργικές πηγές. Στόχος της είναι η πρόληψη και η μείωση της νιτρορύπανσης στα υδάτινα σώματα μέσω της ρύθμισης των γεωργικών πρακτικών, όπως η εφαρμογή λιπασμάτων και η διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων. Με τον μετριασμό της υπερβολικής χρήσης αζωτούχων ενώσεων, περιλαμβάνει μέτρα που αποσκοπούν στην πρόληψη της υποβάθμισης του εδάφους.

Water Framework Directive (2000/60/EC): Εκδοθείσα το 2000 και παρότι στοχεύει πρωτίστως στην ποιότητα των υδάτων, επηρεάζει έμμεσα και την ποιότητα του εδάφους, καθώς τα υγιή υδάτινα οικοσυστήματα υποστηρίζουν την υγεία του εδάφους και το αντίστροφο. Ρυθμίζοντας τους ρύπους και προωθώντας βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης των υδάτων, η οδηγία συμβάλλει στη συνολική περιβαλλοντική υγεία.

Environmental Liability Directive (2004/35/EC): Εκδόθηκε το 2004 και θεσπίζει ένα πλαίσιο περιβαλλοντικής ευθύνης με βάση την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Θέτει τους φορείς εκμετάλλευσης προ των ευθυνών τους για τις περιβαλλοντικές ζημιές και τους υποχρεώνει να λαμβάνουν προληπτικά και επανορθωτικά μέτρα. Η Οδηγία καλύπτει διάφορες περιβαλλοντικές πτυχές, συμπεριλαμβανομένης της ρύπανσης του εδάφους, και αποσκοπεί στην πρόληψη και αποκατάσταση εδαφικών ζημιών που προκαλούνται από βιομηχανικές δραστηριότητες και ατυχήματα.

Soil Framework Directive (2006/21/EC): Η Οδηγία αυτή, η οποία τέθηκε σε ισχύ το 2006, θεσπίζει ένα πλαίσιο για την προστασία και τη διαχείριση της ποιότητας του εδάφους στην ΕΕ. Στόχος της είναι να αποτρέψει ή να μειώσει την υποβάθμιση του εδάφους και να διασφαλίσει τη βιώσιμη χρήση των εδαφικών πόρων. Αντιμετωπίζει ζητήματα όπως η διάβρωση του εδάφους, η ρύπανση και η απώλεια οργανικής ύλης, προωθώντας τη διατήρηση της εδαφικής υγείας και τις πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης της γης.

Directive 2008/50/EC: Γνωστή και ως Οδηγία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (Ambient Air Quality Directive), καλύπτει κυρίως τα πρότυπα και τους στόχους ποιότητας για διάφορους ρύπους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αν και δεν αφορά άμεσα τη διαχείριση του εδάφους, η ποιότητα του αέρα και οι ρύποι μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την ποιότητά του μέσω διαδικασιών όπως η ατμοσφαιρική απόθεση και μεταφορά. Ως εκ τούτου, οι προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα είναι απαραίτητες και για την διατήρηση της ακεραιότητας του εδάφους.

Directive 86/278/EEC: Εξετάζει τη χρήση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία και καθορίζει μέτρα για τον έλεγχο της χρήσης της ως λίπασμα και βελτιωτικό εδάφους, ώστε να αποτραπεί η ρύπανση και να εξασφαλιστούν οι ασφαλείς γεωργικές πρακτικές.

Waste Framework Directive (2008/98/EC): Θεσπίστηκε το 2008 και καθορίζει τις αρχές και τους στόχους της διαχείρισης των αποβλήτων στην ΕΕ. Ενώ εστιάζει κυρίως στην πρόληψη, την ανακύκλωση και τη διάθεση των αποβλήτων, περιλαμβάνει διατάξεις για την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης του εδάφους από δραστηριότητες διάθεσης αποβλήτων. Με την προώθηση ορθών πρακτικών διαχείρισης τους, η οδηγία συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του εδάφους και στην προστασία της ποιότητάς του.

Directive 2011/92/EU: Η Οδηγία αυτή, επίσης γνωστή ως οδηγία για την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment Directive - EIA), συμβάλλει έμμεσα στην προστασία του εδάφους, απαιτώντας από τα κράτη μέλη να αξιολογούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ορισμένων δημόσιων και ιδιωτικών έργων πριν από την έγκρισή τους. Η αξιολόγηση αυτή εγγυάται ότι οι υπεύθυνοι σχεδιασμού έργων λαμβάνουν υπόψη και μετράζουν τυχόν δυσμενείς συνέπειες στο έδαφος κατά τα στάδια τόσο του σχεδιασμού όσο και της υλοποίησης.

Circular Economy Action Plan: Το σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία δρομολογήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Δεκέμβριο του 2015. Περιλαμβάνει πρωτοβουλίες και πολιτικές που αποσκοπούν στην προώθηση της αποδοτικότητας των πόρων, της πρόληψης της δημιουργίας αποβλήτων και της ανακύκλωσης. Αν και δεν αποτελεί ειδική οδηγία, συμβάλλει έμμεσα στην προστασία του εδάφους με τη μείωση της εξόρυξης πόρων, την ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων και την προώθηση βιώσιμων προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης, που θα μπορούσαν με την σειρά τους να συνδράμουν στον μετριασμό της εδαφολογικής επιδείνωσης.

Industrial Emissions Directive (2010/75/EC): Η Οδηγία εκδόθηκε το 2010 και αποβλέπει στην πρόληψη ή τη μείωση των εκπομπών στον αέρα, το νερό και το έδαφος από βιομηχανικές εγκαταστάσεις εντός της ΕΕ. Ρυθμίζοντας τις εκπομπές ρύπων και προωθώντας τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές για τις βιομηχανικές διαδικασίες, επιδιώκει να συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση και της ρύπανσης του εδάφους.

Common Agricultural Policy (CAP): Η Κοινή Γεωργική Πολιτική εισήχθη το 1962 ως μία από τις θεμελιώδεις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας (ΕΟΚ), η οποία αργότερα εξελίχθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Έκτοτε, έχει γνωρίσει πολυάριθμα αξιοσημείωτα στάδια όμως παρέμεινε θεμέλιο της γεωργικής πολιτικής της ΕΕ, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του γεωργικού τοπίου, στη στήριξη των αγροτικών οικονομιών και στη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας για τους ευρωπαίους πολίτες. Ενσωματώνει διάφορους κανονισμούς και μέτρα που αποσκοπούν στην προώθηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών που μπορούν να συμβάλουν στην προστασία της ποιότητας της γης και στην πρόληψη της υποβάθμισης. Οι συνεχιζόμενες μεταρρυθμίσεις της CAP αντανακλούν τη δέσμευση της ΕΕ να εξισορροπήσει τις ανάγκες των γεωργών, των καταναλωτών και του περιβάλλοντος σε ένα ταχέως μεταβαλλόμενο παγκόσμιο πλαίσιο.

Η Υγεία του Εδάφους και των Τροφίμων είναι μία από τις πέντε λεγόμενες «Αποστολές» του μεγάλου προγράμματος έρευνας και καινοτομίας «Ορίζοντας Ευρώπη» (Horizon Europe) της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την περίοδο 2021-2027 (Lal et al., 2021). Μέσω της χρηματοδότησης για την προστασία και αποκατάσταση των εδαφικών πόρων και παράλληλα εισάγοντας τις κοινωνικές επιστήμες για την ενημέρωση του κοινού ως προς την σημασία του εδάφους, το πρόγραμμα στοχεύει να ενισχύσει ακόμα περισσότερο την προώθηση της εδαφικής βιωσιμότητας και ανθεκτικότητάς του ενάντια στις αναδυόμενες προκλήσεις (EU Mission: A Soil Deal for Europe https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-health_en#publications).

Τέλος, τον Ιούλιο του 2023, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπέβαλε ως πρόταση την Νομοθεσία για την παρακολούθηση του εδάφους (Soil Monitoring Law), η οποία παρουσιάζεται ως κύριο μέσο για να εκπληρωθεί το όραμα για υγιή εδάφη έως το 2050 (Soil health - European Commission (europa.eu)). Διαμορφώνει ένα συνεκτικό νομικό πλαίσιο παρακολούθησης για όλα τα εδάφη στην ΕΕ, απαιτώντας από τα κράτη μέλη να λάβουν μέτρα για την αναγέννηση των ρυπασμένων εδαφών, με καθορισμένες πρακτικές ώστε να παρακολουθείται η πορεία τους και την προώθηση της βιώσιμης διαχείρισής τους (Soil health - European Commission (europa.eu)). Παρότι πρόκειται προς το παρόν για πρωτοβουλία που δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα ως νόμος, δεν παύει να αποτελεί ακόμα ένα μεγαλόπνοο βήμα της ΕΕ προς την αντιστροφή της ρύπανσης και υπενθύμιση για άμεση δράση.

3.2. Ελλάδα

Όπως επισημαίνουν οι Ζώττα (2018), Μπορμπότης (2023), Χαριζάνη (2022) και Ψαρομιχαλάκης (2015), ενώ υπάρχουν διάσπαρτες διατάξεις για την προστασία του εδάφους στην ελληνική νομοθεσία, δεν υπάρχει ολοκληρωμένη και ενιαία πολιτική για το έδαφος σε εθνικό επίπεδο. Συνολικά, η εθνική νομοθεσία παρουσιάζει ελλείψεις και δεν είναι σαφής σχετικά με το φλέγον αυτό ζήτημα, με την απουσία καθορισμένων επιπέδων ρύπανσης και οριακών τιμών, παρά την αναγνωρισμένη ανάγκη για προστασία του εδάφους. Οι ισχύουσες διατάξεις, έστω και αν

υλοποιηθούν εξ' ολοκλήρου, προσφέρουν μόνο αποσπασματική και ελλιπή προστασία του εδάφους, καθώς δεν καλύπτουν όλες τις πιθανές απειλές ή τα τρωτά σημεία (Μπορμπότης, 2023). Παρακάτω σημειώνονται τα σημαντικότερα σημεία της εθνικής νομοθεσίας εντός των οποίων βρίσκονται αναφορές για την ορθή διαχείριση του εδάφους (Ζώττα, 2018; Μπορμπότης, 2023; <https://www.e-nomothesia.gr/>; Intergeo, 2012):

Νόμος 1650/1986, που αφορά γενικότερα την προστασία του περιβάλλοντος. Δεν εστιάζει ειδικά στη διαχείριση του εδάφους, περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν την προστασία και τη διατήρησή του ως μέρος των ευρύτερων περιβαλλοντικών στόχων.

Νόμος 2204/1994, η κύρωση σύμβασης για τη βιολογική ποικιλότητα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ασχολείται με διάφορες περιβαλλοντικές πτυχές, όπως ο έλεγχος της ρύπανσης, η διαχείριση των αποβλήτων και η διατήρηση των φυσικών πόρων, οι οποίες συμβάλλουν στην προστασία και τη διαχείριση των εδαφικών πόρων, ωστόσο επίσης δεν περιλαμβάνει ειδικές διατάξεις αποκλειστικά αφιερωμένες στη διαχείριση του εδάφους.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 16190/1335/1997, που λαμβάνει υπ' όψιν την αντίστοιχη Οδηγία 91/676/ΕΟΚ για την προστασία των νερών από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 26857/553/88, περιέχει μέτρα και περιορισμούς για την προστασία των υπόγειων νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών.

Νόμος 3199/2003 αναφορικά με την προστασία και τη διαχείριση των υδάτων και την ενσωμάτωση της Οδηγίας 200/60/ΕΚ.

Νόμος 3937/2011 για την διαχείριση της βιοποικιλότητας και την αειφόρο αξιοποίηση των φυσικών πόρων.

Νόμος 4014/2011: Ο νόμος αυτός ενσωματώνει στο ελληνικό εθνικό δίκαιο την οδηγία 2011/92/ΕΕ σχετικά με την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων δημόσιων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον. Επομένως, καθιερώνει τις διαδικασίες για τη διενέργεια εκτιμήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων για έργα που ενδέχεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των πιθανών επιπτώσεων στην ποιότητα του εδάφους.

Νόμος 4042/2012 που πραγματεύεται την ποινική προστασία του περιβάλλοντος και την εναρμόνιση των οδηγιών 2008/99/ΕΚ και 2008/98/ΕΚ. Περιλαμβάνει θεματικές όπως το πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων και τη ρύθμιση ζητημάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

Προεδρικό Διάταγμα 148/2009: Θεσπίζει το εθνικό νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση της λυματολάσπης στην Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης της στη γεωργία. Προβλέπει μέτρα για την ασφαλή εφαρμογή της ιλύος λυμάτων στο έδαφος ως λίπασμα ή βελτιωτικό εδάφους, με στόχο την πρόληψη της ρύπανσης του εδάφους και την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τα περιβαλλοντικά και υγειονομικά πρότυπα.

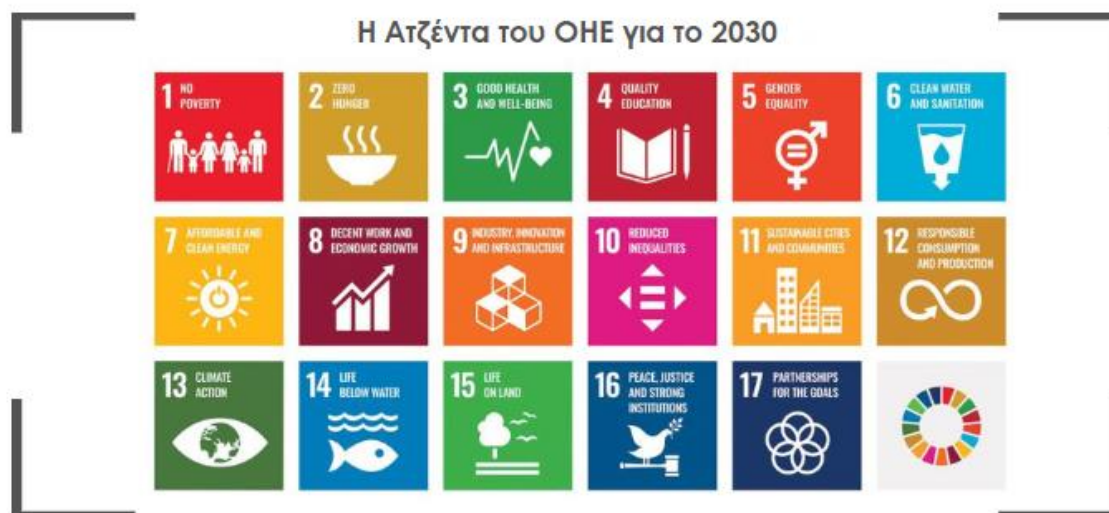
Κοινή Υπουργική απόφαση 15787/2009: Η απόφαση αυτή περιγράφει συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις και πρότυπα για τη χρήση της λυματολάσπης στη γεωργία στην Ελλάδα. Καθορίζει τα επιτρεπόμενα επίπεδα ρύπων στην ιλύ λυμάτων και καθορίζει ποσοστά και μεθόδους εφαρμογής για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου.

Νόμος 4685/2020 για τον εκσυγχρονισμό της υπάρχουσας περιβαλλοντικής νομοθεσίας με παράλληλα την μεταφορά των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου στο εθνικό δίκαιο.

Κοινή Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΔΑ/41828/630/2023: Καταπιάνεται με θέματα που σχετίζονται με την χρησιμοποίηση επεξεργασμένης ιλύος στον γεωργικό τομέα και στην αποκατάσταση των εδαφών. Επίσης, γίνεται συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 86/278/ΕΟΚ που αναλόγως αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα του εδάφους κατά τη χρήση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία.

Κεφάλαιο 4. Το έδαφος και η αστική βιωσιμότητα υπό το πρίσμα των Στόχων της Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ

Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ), που εγκρίθηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη το 2015, αποτελούν μια παγκόσμια έκκληση για δράση σχετικά με ένα ευρύ φάσμα κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης και η ανθρωπότητα, με ορίζοντα επίτευξής τους το 2030. Αποτελούμενοι από 17 αλληλένδετους σκοπούς και 169 στόχους, βασίζονται στην επιτυχία των Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας (ΑΣΧ), ενώ παράλληλα αντιμετωπίζουν τους περιορισμούς τους και διευρύνουν το πεδίο εφαρμογής τους ώστε να συμπεριλάβουν θέματα όπως η κλιματική αλλαγή, η ανισότητα και η βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή. Κάθε στόχος στοχεύει σε συγκεκριμένους τομείς ανησυχίας, με μετρήσιμους στόχους για την παρακολούθηση της προόδου με την πάροδο του χρόνου. Οι ΣΒΑ παρέχουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για παγκόσμια δράση, ενθαρρύνοντας τη συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, επιχειρήσεων, της κοινωνίας των πολιτών και ατόμων για την επίτευξη ενός πιο βιώσιμου και δίκαιου κόσμου για τις σημερινές και τις μελλοντικές γενιές.



Σχήμα 2: Οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ (Επεξεργασία από <https://education.nationalgeographic.org/resource/sustainable-development-goals/>).

Τα Ηνωμένα Έθνη χρησιμοποιούν ένα σύστημα βαθμίδων για την ταξινόμηση των δεικτών που σχετίζονται με κάθε στόχο. Το σύστημα βαθμίδων κατηγοριοποιεί τους δείκτες με βάση τη μεθοδολογική τους ανάπτυξη, τη διαθεσιμότητα δεδομένων και τη δυνατότητα μέτρησης. Υπάρχουν τρεις βαθμίδες στο πλαίσιο των δεικτών των SDG (Bouma et al., 2019):

Βαθμίδα Ι: Δείκτες με καθιερωμένες μεθοδολογίες και παγκόσμια πρότυπα που είναι ευρέως διαθέσιμοι και παράγονται τακτικά από τα εθνικά στατιστικά συστήματα. Αυτοί οι δείκτες θεωρούνται οι πιο ισχυροί και αξιόπιστοι για την παρακολούθηση της προόδου προς την επίτευξη των στόχων.

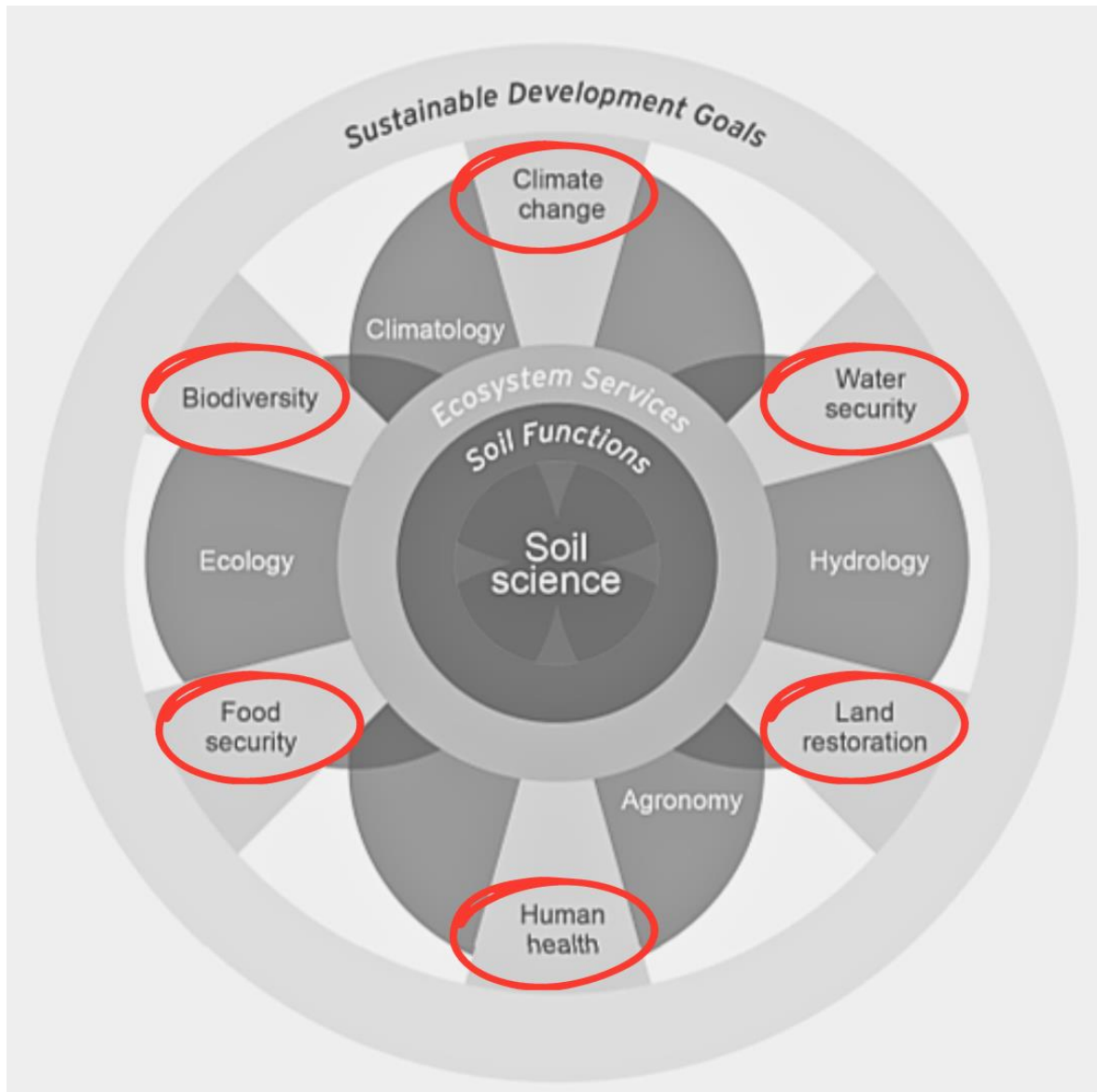
Βαθμίδα ΙΙ: Δείκτες που έχουν καθιερωμένη μεθοδολογία αλλά δεν έχουν κάλυψη των δεδομένων ή δεν υπάρχει κανονικότητα στην παραγωγή δεδομένων σε εθνικό επίπεδο. Αυτοί οι

δείκτες ενδέχεται να απαιτούν πρόσθετες προσπάθειες για τη βελτίωση της διαθεσιμότητας και της ποιότητας των δεδομένων προτού θεωρηθούν ως δείκτες της βαθμίδας Ι.

Βαθμίδα ΙΙΙ: Δείκτες για τους οποίους οι μεθοδολογίες βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη ή η διαθεσιμότητα δεδομένων είναι περιορισμένη. Αυτοί οι δείκτες θεωρούνται ότι βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης και ενδέχεται να απαιτούν περαιτέρω έρευνα, δοκιμές ή προσπάθειες για την ανάπτυξη ικανοτήτων προκειμένου να βελτιωθεί η μέτρηση και η συλλογή δεδομένων τους.

Με την πάροδο του χρόνου, οι βαθμίδες ΙΙΙ και ΙΙ θα μεταφερθούν τελικά στην βαθμίδα Ι (Bouma et al., 2019). Το σύστημα βαθμίδων βοηθά στην ιεράρχηση των προσπαθειών για τη βελτίωση της ποιότητας και της διαθεσιμότητας των δεδομένων, διασφαλίζοντας ότι υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα για την παρακολούθηση της προόδου προς την επίτευξη των ΣΒΑ. Επιπρόσθετα, στον εντοπισμό των τομέων στους οποίους ενδέχεται να απαιτούνται πρόσθετοι πόροι και στήριξη για την ενίσχυση των συστημάτων δεδομένων και των ικανοτήτων μέτρησης.

Η αστική βιωσιμότητα και το έδαφος αποτελούν θέμα πολλών ΣΒΑ. Παρόλο που δεν υπάρχει ένας που ανήκει αποκλειστικά στο έδαφος, υπάρχουν επτά στόχοι που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τα εδάφη, ή δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς αυτά.



Σχήμα 3: Τα μείζονα παγκόσμια ζητήματα των ΣΒΑ, η λύση των οποίων είναι η κοινή συνιστώσα της εύρυθμης λειτουργίας των εδαφών και τα αντίστοιχα ερευνητικά πεδία τους (Επεξεργασία από Keesstra et al., 2016)

Το έδαφος αναφέρεται στους στόχους 2.4, 3.9, 12.4 και 15.3, αλλά σε κανέναν από τους δείκτες δεν έχει καθοριστεί μέχρι στιγμής, εκτός από τον στόχο 15.3 (Bouma et al., 2019). Παραθέτονται οι ΣΒΑ και οι επιμέρους στόχοι τους που μπορούν να συνδεθούν με την διαχείριση του εδάφους (<https://sdgs.un.org/goals>; ISSD, 2018; sustainablesoils.org; www.fao.org, United Nations University, 2018):



Σχήμα 4: Επισκόπηση των ΣΒΑ με ισχυρή συνάφεια με το έδαφος (Επεξεργασία από <https://www.eea.europa.eu/signals-archived/signals-2019-content-list/infographics/soil-and-united-nations-sustainable/view>).

Στόχος 2: Καταπολέμηση της Πείνας (Zero Hunger)

Η γονιμότητα και η υγεία του εδάφους είναι απαραίτητες για τη γεωργική παραγωγικότητα και την επισιτιστική ασφάλεια. Ο συγκεκριμένος στόχος θέτει στο προσκήνιο τα ζητήματα της εξάλειψης της πείνας, της επίτευξης της επισιτιστικής ασφάλειας, της βελτίωσης της διατροφής και της προώθησης της βιώσιμης γεωργίας, υπογραμμίζοντας τη σημασία της εύρυθμης λειτουργίας των εδαφών για τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων. Οι δύο πιο συναφείς επιμέρους στόχοι αναλυτικότερα:

- Στόχος 2.1: Αποσκοπεί στην καταπολέμηση της πείνας και του υποσιτισμού, με ταυτόχρονη προσπάθεια για ίση πρόσβαση όλων σε επαρκή, ασφαλή και θρεπτικά τρόφιμα όλο το χρόνο. Είναι ιδιαίτερης σημασίας, εφόσον τα φαινόμενα της πείνας και

του υποσιτισμού είναι θεμελιώδεις προκλήσεις τις οποίες αντιμετωπίζουν εκατομμύρια άνθρωποι ανά την υφήλιο. Η επίτευξή του θα συμβάλλει στην συνολική υγεία, την παραγωγικότητα και την ευημερία της ανθρωπότητας. Οι δράσεις που ορίζονται είναι η προώθηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών για την αύξηση της παραγωγής τροφίμων, η βελτίωση των συστημάτων διανομής τροφίμων για την εξασφάλιση ισότιμης πρόσβασης και η αντιμετώπιση της σπατάλης και της απώλειας τροφίμων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού.

- Στόχος 2.4: Επικεντρώνεται στην προώθηση της βιώσιμης γεωργίας και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των συστημάτων τροφίμων, ώστε να αυξηθεί η παραγωγικότητά τους. Η βιώσιμη γεωργία αποτελεί αναπόσπαστη πρακτική για να προστατευθεί η υγεία του εδάφους, να διατηρηθεί η ποιότητά του στα κατάλληλα επίπεδα και να εξασφαλιστεί η παραγωγή ποιοτικών και υγιεινών τροφίμων (Gil et al., 2019). Η βέλτιστη διαχείριση του εδάφους οδηγεί με την σειρά της και στην αειφορία της γεωργίας, καθώς προστατεύεται η βιοποικιλότητα και η παραγωγικότητά του και αποφεύγεται η εξάντληση των φυσικών πόρων (Gil et al., 2019; Su et al., 2022). Τα ανθεκτικά επισιτιστικά συστήματα έχουν την ικανότητα να ανταπεξέλθουν στις κρίσεις, χωρίς να διακυβεύεται η διαθεσιμότητα της τροφής. Ο στόχος περιλαμβάνει την εφαρμογή κλιματικά «έξυπνων» γεωργικών πρακτικών, την στήριξη των μικροκαλλιεργητών και την ενίσχυση της παραγωγικότητάς τους και την διαφοροποίηση των καλλιεργειών, μέσω της προώθησης της αγροοικολογικής προσέγγισης.

Στόχος 3: Καλή υγεία και ευημερία (Good health and well-being)

Ο στόχος αυτός επιδιώκει να διασφαλίσει ότι η υψηλής ποιότητας υγειονομική περίθαλψη, η προστασία από επικίνδυνες ασθένειες και η ψυχοκοινωνική ευημερία, θα είναι προσβάσιμες από κάθε πολίτη. Παρότι η σύνδεση μεταξύ της ανθρώπινης υγείας και της κατάστασης του εδάφους δεν μοιάζει πάντα προφανής, υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους συσχετίζονται. Η πρώτη και κύρια σχέση μεταξύ των δύο είναι η διαθεσιμότητα της τροφής και η ποιότητα των καλλιεργειών, που επηρεάζει άμεσα την υγεία των καταναλωτών. Ακόμα, το έδαφος είναι πάροχος των πρώτων υλών για την κατασκευή φαρμάκων και άλλων ιατρικών προϊόντων. Όπως έχει αναφερθεί πολλάκις, το έδαφος είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την ποιότητα των υπόγειων υδάτων και την παρουσία επιβλαβών ουσιών σε αυτά, που δύνανται να καταλήξουν στις πηγές τροφίμων και νερού. Οι επιμέρους στόχοι που θα μπορούσαν να συνδυαστούν με τον ρόλο του εδάφους λεπτομερέστερα, είναι:

- Στόχος 3.2: Αφορά τη μείωση της παιδικής θνησιμότητας και την πρόληψη των πρόωρων θανάτων παιδιών, παράλληλα με την βελτίωση της υγείας τους. Η κακή ποιότητα του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη γεωργική παραγωγικότητα, επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα τροφίμων και τη διατροφή των παιδιών κάτω των 5 ετών και έτσι τα ποσοστά παιδικής θνησιμότητας.
- Στόχος 3.3: Με γνώμονα κυρίως την πρόληψη και καταπολέμηση των λοιμωδών νόσων, η ποιότητα του εδάφους μπορεί να επηρεάσει έμμεσα τον επιπολασμό ορισμένων εξ αυτών, εφόσον οι μολυσμένες πηγές εδάφους και νερού μπορούν να συμβάλουν στη μετάδοση ασθενειών που μεταδίδονται μέσω αυτών των οδών, επηρεάζοντας τα αποτελέσματα της δημόσιας υγείας στα οποία απευθύνεται ο στόχος αυτός.

- Στόχος 3.4: Πραγματοεύεται τη μείωση κατά ένα τρίτο της πρόωρης θνησιμότητας από μη μεταδοτικές ασθένειες μέσω της πρόληψης και της θεραπείας και την προώθηση της ψυχικής υγείας και ευεξίας. Η έκθεση σε ρύπους και άλλες βλαπτικές ουσίες του εδάφους μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο εμφάνισης μη μεταδοτικών ασθενειών, όπως ο καρκίνος και οι αναπνευστικές ασθένειες, επηρεάζοντας έτσι τα ποσοστά πρόωρης θνησιμότητας. Αξίζει να σημειωθεί πως στο πλαίσιο της ψυχοκοινωνικής ευημερίας, ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, οι πράσινοι χώροι μοιάζουν ολοένα να εκλείπουν. Σε αρκετές έρευνες διαπιστώνεται ότι οι αστικοί χώροι πράσινου αποτελούν πρωταρχικό πυλώνα για βιώσιμους αστικούς τόπους και την ανθρώπινη ευημερία, με ιδιαίτερα θετικές συσχετίσεις (Jabbar et al., 2022; Kwon et al., 2021; Reyes-Riveros et al., 2021). Οι Kwon et al. (2021) μάλιστα στην έρευνά τους για το αστικό πράσινο και την ευτυχία στις αναπτυσσόμενες χώρες, καταλήγουν στο ότι η διαβίωση σε μια αστική περιοχή με χώρους πράσινου έχει μακροχρόνιες θετικές επιπτώσεις στην ψυχική ευημερία των κατοίκων. Περί των αναπτυσσόμενων οικονομιών, όπου οι νέες πόλεις και προαστιακές περιοχές επεκτείνονται με ταχείς ρυθμούς, οι συγγραφείς προτείνουν ο γενικός σχεδιασμός για πάρκα και πράσινη ανάπτυξη να εξεταστεί πιο ενδελεχώς, αφού η ίδια θετική σχέση ισχύει, μολοντί σε μικρότερο βαθμό.
- Στόχος 3.9: Ίσως ο πιο άμεσα συνδεδεμένος με τη ρύπανση του εδάφους, διότι αφορά τις βλέψεις για ουσιαστική μείωση του αριθμού των θανάτων και των ασθενειών από επικίνδυνες χημικές ουσίες και ρύπανση και μόλυνση του αέρα, του νερού και του εδάφους. Ο στόχος αυτός αναφέρει ρητά τη ρύπανση και τη μόλυνση του εδάφους ως παράγοντες που συμβάλλουν σε ασθένειες και θανάτους. Στις δράσεις συγκαταλέγονται η εφαρμογή κανονισμών και πολιτικών για τον έλεγχο και τη μείωση της απελευθέρωσης επικίνδυνων χημικών ουσιών στο περιβάλλον, η ενίσχυση των μηχανισμών παρακολούθησης και επιβολής για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα περιβαλλοντικά πρότυπα και τους κανονισμούς και η προώθηση της χρήσης καθαρότερων μεθόδων και τεχνολογιών παραγωγής για την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης και της μόλυνσης από βιομηχανικές δραστηριότητες. Επιπρόσθετα, η διενέργεια εκτιμήσεων επικινδυνότητας, η εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης για τον καθαρισμό και η πρόληψη της έκθεσης σε επιβλαβείς ουσίες. Δεν παραλείπεται η συνεργασία με τα ενδιαφερόμενα μέρη για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της ρύπανσης και της μόλυνσης του εδάφους.

Στόχος 6: Καθαρό Νερό και Υγιεινή (Clean Water and Sanitation)

Στοχεύει στην εξασφάλιση της διαθεσιμότητας και της βιώσιμης διαχείρισης του νερού και της αποχέτευσης για όλους, αναγνωρίζοντας τη διασύνδεση μεταξύ της υγείας του εδάφους και της ποιότητας του νερού, υπενθυμίζοντας πως η αειφόρος διαχείριση του εδάφους συμβάλλει στην προστασία των υδάτινων πόρων. Ακολουθεί παρουσίαση του ΣΒΑ 6 και της σημασίας του για το έδαφος:

- Στόχος 6.3: Το έδαφος λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο, μειώνοντας τις εισροές ρύπανσης στα υδάτινα σώματα. Η σωστή διαχείρισή του αποτρέπει τη διάβρωση του εδάφους και τη μόλυνση των υδάτινων σωμάτων. Ο στόχος προβλέπει έως το 2030 την βελτίωση της ποιότητας των υδάτων με τη μείωση της ρύπανσης, την εξάλειψη της απόρριψης και την

ελαχιστοποίηση της απελευθέρωσης επικίνδυνων χημικών ουσιών και υλικών στους υδροφόρους.

- Στόχος 6.4: Η υγεία του εδάφους επηρεάζει τη συγκράτηση και τη διαθεσιμότητα του νερού και συμβάλλει στην αποδοτικότητα της χρήσης του. Σε αυτόν τον στόχο επισημαίνεται η ανάγκη της ουσιαστικής αύξησης της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού σε όλους τους τομείς και η διασφάλιση της βιώσιμης απόληψης και παροχής γλυκού νερού, με σκοπό να αντιμετωπιστεί η λειψυδρία και οι επιπτώσεις αυτής. Τα υγιή εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία έχουν καλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού, μειώνοντας την απορροή και ενισχύοντας τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων.
- Στόχος 6.6: Μέχρι το 2020, προστασία και αποκατάσταση των οικοσυστημάτων που σχετίζονται με το νερό, συμπεριλαμβανομένων των βουνών, των δασών, των υγροτόπων, των ποταμών, των υδροφόρων οριζόντων και των λιμνών. Η προστασία και η αποκατάσταση της υγείας του εδάφους μέσω βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης της γης και αναδάσωσης, μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση και αποκατάσταση των οικοσυστημάτων που σχετίζονται με το νερό. Τα υγιή εδάφη ενισχύουν την ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων και συμβάλλουν στην παροχή καθαρού νερού, υποστηρίζοντας την επίτευξη του στόχου.

Στόχος 11: Βιώσιμες Πόλεις και Κοινότητες (Sustainable Cities and Communities)

Στον στόχο 11 των Βιώσιμων Στόχων Ανάπτυξης γίνεται λόγος για τις Βιώσιμες Πόλεις και Κοινότητες. Αποβλέπει στο να καταστήσει αυτές περιβαλλοντικά βιώσιμες, ασφαλείς, ανθεκτικές και χωρίς αποκλεισμούς. Ενώ και πάλι το έδαφος δεν αποτελεί το άμεσο αντικείμενο συζήτησης, η διαχείρισή του στις αστικές περιοχές διαδραματίζει σημαντικό ρόλο λόγω της σημασίας του στα αστικά οικοσυστήματα.

- Στόχος 11.3, για την συμπεριληπτική και βιώσιμη αστικοποίηση: Αφορά την βελτίωση της συμπεριληπτικής και βιώσιμης αστικοποίησης και της ικανότητας για συμμετοχικό, ολοκληρωμένο και βιώσιμο σχεδιασμό και διαχείριση ανθρώπινων οικισμών σε όλες τις χώρες. Η διαχείριση του εδάφους είναι αναπόσπαστο μέρος του βιώσιμου αστικού σχεδιασμού και της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Τα αστικά εδάφη υποστηρίζουν διάφορες οικοσυστημικές υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των ομβρίων υδάτων, της δέσμευσης άνθρακα και της διατήρησης της βιοποικιλότητας. Η εφαρμογή πράσινων υποδομών και λύσεων με βάση τη φύση σε αστικές περιοχές, όπως πράσινες στέγες, αστικά δάση και διαπερατά πεζοδρόμια, μπορεί να ενισχύσει την υγεία και την ανθεκτικότητα του εδάφους, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των κατοίκων.
- Στόχος 11.4: Δίνεται βάση στην προστασία και τη διαφύλαξη της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς του κόσμου. Η ευρύτερη προστασία του εδάφους συνδέεται με την προστασία των οικοσυστημάτων και των φυσικών τοπίων που συμπεριλαμβάνονται στις εν λόγω περιοχές.
- Στόχος 11.7: Αφιερώνεται στην εξασφάλιση καθολικής πρόσβασης σε ασφαλείς, χωρίς αποκλεισμούς και προσβάσιμους πράσινους και δημόσιους χώρους. Οι χώροι πρασίνου, όπως τα πάρκα, οι αστικοί κήποι και οι χώροι αναψυχής, βασίζονται στο έδαφος για την ανάπτυξη των φυτών τους και τις υπηρεσίες του τοπικού οικοσυστήματος. Πέραν του περιβαλλοντικού οφέλους, οι πράσινοι δημόσιοι χώροι προσφέρουν μία διαφορετική

αισθητική και ανακουφίζουν τους κατοίκους από την συνεχή παρουσία των αδρανών υλικών, επιδρώντας θετικά και στην ψυχολογία τους, όπως προειπώθηκε στον ΣΒΑ 3.

- Στόχος 11.β: Υπογραμμίζει την ανάγκη για ενίσχυση του εθνικού και περιφερειακού αναπτυξιακού σχεδιασμού για τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, με ολοκληρωμένες πολιτικές και σχέδια σχετικά με την ένταξη, την αποδοτικότητα των πόρων, τον μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και την ανθεκτικότητα στις καταστροφές. Τα υγιή εδάφη μπορούν να συμβάλουν στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, δεσμεύοντας τον άνθρακα, μειώνοντας τις επιπτώσεις της αστικής θερμικής νησίδας και βελτιώνοντας τη διήθηση και τη συγκράτηση του νερού. Η ενσωμάτωση των παραπάνω μέτρων στον αστικό σχεδιασμό σε συνδυασμό με τις στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου καταστροφών είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τις πόλεις και τους οικισμούς που εμφανίζουν επιρρέπεια στους κινδύνους που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, όπως τα αποτελέσματα των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Στόχος 12: Υπεύθυνη Κατανάλωση και Παραγωγή (Responsible Consumption and Production)

Ο συγκεκριμένος στόχος καταπιάνεται με τα βιώσιμα πρότυπα κατανάλωσης και παραγωγής παγκοσμίως, δίνοντας έμφαση στην ανακύκλωση, τη βιώσιμη χρήση των πόρων, την διαχείριση των αποβλήτων, επομένως και έμμεσα με το έδαφος, το οποίο συνδέεται στενά με αυτά. Οι επιμέρους στόχοι στους οποίους ενδέχεται να αντικατοπτρίζεται:

- Στόχος 12.3: Αναφέρεται στη μείωση κατά το ήμισυ των παγκόσμιων κατά κεφαλήν αποβλήτων τροφίμων έως το 2030. Η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης του εδάφους, όπως η βιολογική γεωργία και οι αγροοικολογικές προσεγγίσεις, μπορούν να ενισχύσουν τη γονιμότητα του εδάφους, να μειώσουν τη διάβρωση και να βελτιώσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών, μειώνοντας έτσι τη σπατάλη τροφίμων και τις απώλειες κατά μήκος των αλυσίδων παραγωγής και εφοδιασμού.
- Στόχος 12.4: Θέτοντας ως ορίζοντα το 2020, να επιτευχθεί η περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση των χημικών ουσιών και όλων των αποβλήτων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, σύμφωνα με τα συμφωνηθέντα διεθνή πλαίσια και να μειωθεί σημαντικά η απελευθέρωσή τους στον αέρα, το νερό και το έδαφος, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης του εδάφους και πρόληψης της ρύπανσης, όπως η φυτοεξυγίανση, οι τροποποιήσεις του εδάφους και οι κανονισμοί διαχείρισης αποβλήτων, μπορούν να συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση της απελευθέρωσης ρύπων στο έδαφος και στον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεών τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.
- Στόχος 12.5: Μέχρι το 2030, ουσιαστική μείωση της παραγωγής αποβλήτων μέσω της πρόληψης, της μείωσης, της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης. Η κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων, μπορεί να εμπλουτίσει την οργανική ουσία του εδάφους, να βελτιώσει τη δομή του και να μειώσει την ανάγκη για συνθετικά λιπάσματα, προωθώντας τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Επιπλέον, η εφαρμογή στρατηγικών βιώσιμου σχεδιασμού της χρήσης γης και αστικού σχεδιασμού, όπως η ανάπτυξη εγκαταλελειμμένων χώρων και οι πράσινες υποδομές, μπορεί να ελαχιστοποιήσει την υποβάθμιση της γης και την αστική εξάπλωση, διατηρώντας τους πολύτιμους εδαφικούς πόρους.

Στόχος 13: Δράση για το Κλίμα (Climate Action)

Τονίζει την ανάληψη επείγουσας δράσης για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της. Ενώ η πρωταρχική εστίαση είναι στον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην ενίσχυση της προσαρμοστικής ικανότητας, η διαχείριση του εδάφους διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη πολλών στόχων του, λόγω της δυνατότητάς του να δεσμεύει άνθρακα και να μετριάσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

- Στόχος 13.1: Ενέχει την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της προσαρμοστικής ικανότητας σε κλιματικούς κινδύνους σε όλες τις χώρες. Τα υγιή εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και καλή δομή του εδάφους είναι σε θέση να απορροφούν και να συγκρατούν καλύτερα τον όγκο του νερού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμυρών και διάβρωσης κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων.
- Στόχος 13.2: Περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των μέτρων για την κλιματική αλλαγή στις εθνικές πολιτικές, στρατηγικές και σχεδιασμό. Τα εδάφη λειτουργούν ως αποθήκη άνθρακα, δεσμεύοντας το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα μέσω διαδικασιών όπως η φωτοσύνθεση και η αποσύνθεση οργανικής ύλης, επομένως η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης, αναπόσπαστο μέρος των στρατηγικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να ενισχύσει την αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος και να μετριάσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στις εθνικές προσπάθειες για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.
- Στόχος 13.3: Θίγει το θέμα της εκπαίδευσης, της ευαισθητοποίησης και της ανθρώπινης και θεσμικής ικανότητας για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, την προσαρμογή, τη μείωση των επιπτώσεων και την έγκαιρη προειδοποίηση. Οι ορθές πρακτικές απαιτούν την ανάπτυξη ικανοτήτων μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, συμπεριλαμβανομένων των γεωργών, των ιδιοκτητών γης, των φορέων χάραξης πολιτικής και των κοινοτήτων. Τα προγράμματα εκπαίδευσης και κατάρτισης σχετικά με την υγεία του εδάφους, τον έλεγχο της διάβρωσης και την κλιματικά έξυπνη γεωργία μπορούν να ενδυναμώσουν τα άτομα και τα ιδρύματα να υιοθετήσουν πρακτικές που ενισχύουν την ανθεκτικότητα του εδάφους και μετριάσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η ενσωμάτωση των αρχών διατήρησης του εδάφους στα σχολικά προγράμματα σπουδών και στα προγράμματα επαγγελματικής κατάρτισης μπορεί επίσης να προωθήσει μια κουλτούρα αειφορίας και κλιματικής ανθεκτικότητας από νεαρή ηλικία.

Στόχος 15: Ζωή στη Στεριά (Life on Land)

Λαμβάνει υπόψη την προστασία, αποκατάσταση και προώθηση της βιώσιμης χρήσης των χερσαίων οικοσυστημάτων, τη βιώσιμη διαχείριση των δασών, την καταπολέμηση της ερημοποίησης, την ανάσχεση και αντιστροφή της υποβάθμισης της γης και την ανάσχεση της απώλειας της βιοποικιλότητας. Συνοπτικά οι στόχοι που ξεχωρίζουν αναφορικά με το έδαφος:

- Στόχος 15.1 για την διασφάλιση της διατήρησης, αποκατάστασης και βιώσιμης χρήσης των χερσαίων οικοσυστημάτων και των οικοσυστημάτων εσωτερικών γλυκών υδάτων και των υπηρεσιών τους, ιδίως των δασών, των υγροτόπων, των βουνών και των ξηροτόπων, σύμφωνα με τις υποχρεώσεις που απορρέουν από διεθνείς συμφωνίες. Η εφαρμογή

μέτρων διατήρησης του εδάφους, όπως η αναδάσωση, η αγροδοασοπονία και ο έλεγχος της διάβρωσης του εδάφους, μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των χερσαίων οικοσυστημάτων.

- Στόχος 15.3, σχετικά με την καταπολέμηση της ερημοποίησης, την αποκατάσταση της υποβαθμισμένης γης και του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της γης που πλήττεται από την ερημοποίηση, την ξηρασία και τις πλημμύρες, και προσπάθεια για την επίτευξη ενός κόσμου ουδέτερου από την υποβάθμιση της γης. Η αποκατάσταση των υποβαθμισμένων εδαφικών περιοχών μπορεί να μετριάσει τις επιπτώσεις της ερημοποίησης, της ξηρασίας και των πλημμυρών και να προωθήσει την ανάκαμψη των οικοσυστημάτων. Η εφαρμογή μέτρων διατήρησης του εδάφους σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές μπορεί να συμβάλει στη σταθεροποίηση των εδαφών, στην ενίσχυση της συγκράτησης του νερού και στη βελτίωση της παραγωγικότητας της γης, συμβάλλοντας στην επίτευξη ενός κόσμου χωρίς υποβάθμιση του εδάφους έως το 2030.
- Στόχος 15.5: αναφέρεται στην ανάληψη επείγουσας και σημαντικής δράσης για τη μείωση της υποβάθμισης των φυσικών οικοτόπων, την ανακοπή της απώλειας της βιοποικιλότητας και την προστασία και την πρόληψη της εξαφάνισης των απειλούμενων ειδών. Η υποβάθμιση του εδάφους και η απώλεια οικοτόπων απειλούν την επιβίωση πολλών φυτικών και ζωικών ειδών, οδηγώντας σε απώλεια της βιοποικιλότητας και κατάρρευση των οικοσυστημάτων. Η προστασία και η αποκατάσταση της υγείας του μπορεί να δημιουργήσει ενδιαιτήματα για την άγρια ζωή, να προωθήσει την ποικιλομορφία των ειδών και κατ' αυτόν τον τρόπο να υποστηρίξει την ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων και να συμβάλει στην ανάσχεση της απώλειας της βιοποικιλότητας και στην αποτροπή της εξαφάνισης απειλούμενων ειδών.



Σχήμα 5: Ο αντίκτυπος των εδαφών στην επίτευξη των ΣΒΑ (Επεξεργασία από *The Role of Soils in Achieving the SDGs* - UNU - Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources).

4.1. Προκλήσεις

Οι προκλήσεις για ένα βιώσιμο μέλλον δεν παύουν να είναι πολύπλευρες και μπορούν να εντοπιστούν στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης, που προϋποθέτουν συντονισμένες και καινοτόμες προσπάθειες από όλες τις χώρες. Ωστόσο, Οι ΣΒΑ αποτελούν όχι μόνο μια παγκόσμια φιλοδοξία αλλά και μια περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική αναγκαιότητα.

Το World Economic Forum (2015), καταδεικνύει ως υψίστης σημασίας για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής εφαρμογής των ΣΒΑ και την πρόοδο προς ένα βιώσιμο και δίκαιο μέλλον, τις προκλήσεις της διακυβέρνησης. Η δοκιμασία έγκειται στο συντονισμό των πολυάριθμων ενδιαφερόμενων μερών που δραστηριοποιούνται σε διάφορες κλίμακες, άρα κρίνεται απαραίτητη η ουσιαστική σύμπλευση μεταξύ κυβερνήσεων, επιχειρήσεων, ΜΚΟ και κοινοτήτων. Οι αδύναμες δομές διακυβέρνησης, η διαφθορά και η αναποτελεσματική εφαρμογή πολιτικών

μπορούν να εμποδίσουν την πρόοδο προς τους ΣΒΑ, υπονομεύοντας την εμπιστοσύνη στους θεσμούς και αναστέλλοντας τις προσπάθειες για βιώσιμη ανάπτυξη. Ακόμα, η πολιτική αστάθεια και οι ανθρωπιστικές κρίσεις διαταράσσουν τις όποιες προσπάθειες έχουν γίνει έως ώρας, άρα και των καρπών που έχουν αποφέρει. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εμπόλεμες περίοδοι, από τις οποίες αναδύονται επείγοντες τομείς ανησυχίας όπως η παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, η πείνα, οι κίνδυνοι για την πρόοδο στη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια και διακυβεύεται η αποτελεσματικότητα της συνεργατικής προσέγγισης της παγκόσμιας διακυβέρνησης (IISD, 2022).

Η κατάκτηση των στόχων είναι επίσης εξαιρετικά περίπλοκη λόγω των πολλών σημείων, των συμβιβασμών και των διεπιστημονικών πτυχών, όπως και της συμπερίληψης πιο άμεσων διασυνδέσεων μεταξύ των στόχων και πρακτικών εφαρμογών (Yamaguchi et al., 2023). Η αλληλεξάρτηση αυτή συνεπάγεται αυξημένη ευαισθησία, αφού η ανεπάρκεια σε έναν τομέα έχει τη δύναμη να επηρεάσει την πρόοδο στην Ατζέντα στο σύνολό της και να την θέσει εκτός τροχιάς του καθορισμένου χρονοδιαγράμματος. Οι Mishra et al. (2023) στην μελέτη τους για την ανάλυση των τάσεων, της πορείας και των προοπτικών των ΣΒΑ από την παγκόσμια κοινότητα για το χρονικό διάστημα 2015-2022, αποφαινόμενοι πως η Ατζέντα του 2030 εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω των πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ των διαφόρων στόχων και σκοπών. Επισημαίνουν ότι ορισμένοι από τους στόχους που θέτουν οι ΣΒΑ είναι υπερβολικά φιλόδοξοι και δεν παραλείπουν να σχολιάσουν το γεγονός ότι όχι μόνο οι ανεπτυγμένες χώρες διεξάγουν περισσότερη έρευνα για τους ΣΒΑ σε σχέση με τις αναπτυσσόμενες και υποανάπτυκτες, αλλά εστιάζουν και σε διαφορετικούς τομείς έρευνας. Το συμπέρασμα αυτό έρχεται να προστεθεί στις προκλήσεις, αφού η ανισότητα στην προτεραιοποίηση των στόχων αναδεικνύει την έλλειψη ενοποίησης και ενότητας μεταξύ των ΣΒΑ, υποδεικνύοντας πιθανές διαιρέσεις στην εφαρμογή τους.

Πολλές χώρες, δεν βρίσκονται σε θέση να εξασφαλίσουν τους οικονομικούς, ανθρώπινους και τεχνολογικούς πόρους που προστάζει η αποτελεσματική εφαρμογή των ΣΒΑ. Ως αποτέλεσμα, οι προσπάθειες μπορεί να εμφανίζονται κατακερματισμένες, με ορισμένες περιφέρειες να δίνουν προτεραιότητα σε στόχους που ευθυγραμμίζονται περισσότερο με τις άμεσες ανάγκες και τις δυνατότητές τους. Η απουσία συμμετοχής ή τρόπων συμβολής στην έρευνα για τους παγκόσμιους στόχους θα μπορούσε να οδηγήσει τις χώρες να παραμένουν απληροφόρητες για τις παγκόσμιες εξελίξεις και ενδεχομένως καθιστά τους ΣΒΑ ανέφικτους (Mishra et al., 2023). Ως εκ τούτου, η εφαρμογή καθολικών στόχων με ταυτόχρονη συνεκτίμηση των τοπικών διαφοροποιήσεων (διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά πλαίσια και επίπεδα τεχνολογικής προόδου) είναι πολύ σημαντική για την ομοιόμορφη επιδίωξη της βιωσιμότητας (<https://sdgs.un.org/gsdg>).

Τέλος, τα ανεπαρκή συστήματα συλλογής δεδομένων, παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων εμποδίζουν τις προσπάθειες παρακολούθησης της προόδου προς την επίτευξη των ΣΒΑ, καθιστώντας δύσκολη την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων και την αποτελεσματική κατανομή των πόρων. Οι προκλήσεις αυτές οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των ανισοτήτων στη διαθεσιμότητα, την ποιότητα και την κάλυψη των δεδομένων σε διάφορες περιοχές και τομείς (UN DESA, 2019). Με την πλήρωση των ελλείψεων δεδομένων και τη βελτίωση των συστημάτων παρακολούθησης, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι ενδιαφερόμενοι φορείς θα μπορούν να παρακολουθούν καλύτερα την πρόοδο των στόχων και να εντοπίζουν κενά και τομείς που χρήζουν των κατάλληλων ενεργειών για να προαχθούν περαιτέρω οι στόχοι.

4.2. Εξέλιξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης

Τα Ηνωμένα Έθνη δημοσιεύουν κάθε τέσσερα χρόνια την Παγκόσμια Έκθεση για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (Global Sustainable Development Report - GSDR), στην οποία γίνεται η αξιολόγηση της προόδου προς την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο. Μέσω της ανάλυσης των δεδομένων, παρέχει μια τεκμηριωμένη ανάλυση των τάσεων, των προκλήσεων και των ευκαιριών που σχετίζονται με τη βιώσιμη ανάπτυξη, με έμφαση στην εφαρμογή της Ατζέντας 2030 και των ΣΒΑ, που ευθυγραμμίζεται με σημαντικές διεθνείς διασκέψεις και διαδικασίες αναθεώρησης που σχετίζονται με το θέμα.

Η έκθεση συντάσσεται από μια ανεξάρτητη ομάδα επιστημόνων (Independent Group of Scientists - IGS) που διορίζεται από τον Γενικό Γραμματέα και αποτελείται από 15 εμπειρογνώμονες που εκπροσωπούν διαφορετικά υπόβαθρα, επιστημονικούς κλάδους και ιδρύματα, εξασφαλίζοντας γεωγραφική και έμφυλη ισορροπία ([Global Sustainable Development Report \(GSDR\) | Department of Economic and Social Affairs \(un.org\)](#)). Υποστηρίζεται από ομάδα εργασίας έξι φορέων του ΟΗΕ: United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA), United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), United Nations Development Programme (UNDP), United Nations Environment Programme (UNEP), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) και την Παγκόσμια Τράπεζα ([Global Sustainable Development Report \(GSDR\) | Department of Economic and Social Affairs \(un.org\)](#)).

Η έκθεση χρησιμεύει ως πολύτιμος παράγοντας για την καθοδήγηση της διαμόρφωσης πολιτικής, της λήψης αποφάσεων και της δράσης σε εθνικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την αντιμετώπιση πιεστικών παγκόσμιων προκλήσεων.

Η πιο πρόσφατη των εκθέσεων, που δημοσιεύτηκε τον Σεπτέμβριο του 2023, μετατοπίζει την βαρύτητα στην επιτάχυνση των μετασχηματισμών με τον εντοπισμό κρίσιμων σημείων εισόδου και την αξιοποίηση της επιστήμης για τη διευκόλυνση της προόδου προς την αειφόρο ανάπτυξη. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της για τους στόχους που παρουσιάστηκαν πρωτίτερα και εμφανίζουν συνάφεια με τη βιωσιμότητα του εδάφους (GSDR, 2023):

CURRENT STATE OF PROGRESS TOWARD THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS BASED ON SELECT TARGETS

GOAL	INDICATOR	DISTANCE FROM TARGET (2023) ¹	TREND OF SDG PROGRESS (2023) ¹	CHANGE IN TREND OF SDG PROGRESS BETWEEN 2020 AND 2023 ²
				
2 ZERO HUNGER	2.1.2 Achieve food security		Deterioration	None
				
3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING	3.2.1 End preventable deaths under 5		Fair progress but acceleration needed	Backward
	3.3.3 End malaria epidemic		Limited or no progress	None
				
6 CLEAN WATER AND SANITATION	6.1.1 Universal safe drinking water		Limited or no progress	None
	6.2.1 Universal safe sanitation and hygiene		Fair progress but acceleration needed	None
				
13 CLIMATE ACTION	13.2.2 Reduce global greenhouse gas emissions		Deterioration	None
				
15 LIFE ON LAND	15.1.2 Conserve terrestrial key biodiversity areas		Limited or no progress	None
	15.4.1 Conserve mountain key biodiversity areas		Limited or no progress	N/A
	15.5.1 Prevent extinction of species		Deterioration	None

Σχήμα 6: Τρέχουσα κατάσταση της προόδου προς την κατεύθυνση των ΣΒΑ, με βάση επιλεγμένους στόχους και τους δείκτες τους, συγκριτικά με την υφιστάμενη απόσταση από τον τελικό στόχο, την τάση προόδου και την μεταβολή της τάσης προόδου μεταξύ του 2020 και την μεταβολή της τάσης προόδου μεταξύ του 2020 και του 2023 (Επεξεργασία από [Global Sustainable Development Report \(GSDR\) | Department of Economic and Social Affairs \(un.org\)](#))

Όσον αφορά τον ΣΒΑ 2, το παγκόσμιο τοπίο της επισιτιστικής ασφάλειας βίωσε σημαντικές προκλήσεις και οπισθοχωρήσεις την τελευταία τετραετία, με το ποσοστό ανθρώπων που υφίστανται πείνα και υποσιτισμό να έχει αυξηθεί. Η πανδημία COVID-19 επιδείνωσε τις υφιστάμενες ευπάθειες, διαταράσσοντας τα συστήματα παραγωγής και διανομής τροφίμων. Επιπλέον, οι συγκρούσεις και οι γεωπολιτικές εντάσεις, όπως ο πόλεμος στην Ουκρανία, έχουν επιβαρύνει περαιτέρω τον εφοδιασμό με τρόφιμα, επηρεάζοντας εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως, αφού η Ρωσία και η Ουκρανία είναι μεταξύ των μεγαλύτερων εξαγωγών δημητριακών. Η έκθεση τονίζει τον επείγοντα χαρακτήρα της αντιμετώπισης αυτών των προκλήσεων, με την ενίσχυση των επισιτιστικών συστημάτων, της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή και της ιεράρχησης της στήριξης των ευάλωτων πληθυσμών.

Για τον δείκτη που έχει να κάνει με την καλή υγεία και ευημερία (ΣΒΑ 3), υπογραμμίζεται πως με τον σημερινό ρυθμό προόδου, πολλοί δείκτες, όπως η πρόωγη θνησιμότητα από μη μεταδοτικές ασθένειες, είναι απίθανο να φθάσουν τους στόχους μέχρι το 2030. Επιπρόσθετα, γίνεται λόγος για τους κινδύνους που είναι συνυφασμένοι με την ρύπανση και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, 6,7 εκατομμύρια θάνατοι συμβαίνουν παγκοσμίως λόγω της έκθεσης στην ατμοσφαιρική και οικιακή ρύπανση, ενώ η πλειονότητα του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί σε περιοχές όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση υπερβαίνει τα κατευθυντήρια

όρια που έχει θεσπίσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Επομένως αυτές οι περιβαλλοντικές προκλήσεις αποτελούν συνεχείς απειλές για την παγκόσμια δημόσια υγεία.

Για το καθαρό νερό και την υγιεινή, πάνω από τις μισές χώρες του κόσμου δεν προβλέπεται να επιτύχουν βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων έως το 2030. Από τα 153 έθνη που μοιράζονται διασυννοριακά ύδατα, μόλις 24 έχουν αναφέρει λειτουργικές ρυθμίσεις συνεργασίας που καλύπτουν όλους τους κοινούς ποταμούς, λίμνες και υδροφόρους ορίζοντες, οι οποίες είναι απαραίτητες για την πρόληψη των συγκρούσεων και την προώθηση της περιφερειακής βιώσιμης ανάπτυξης. Επί του παρόντος, 733 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε χώρες που αντιμετωπίζουν υψηλή ή κρίσιμα υψηλή υδατική πίεση, με εκείνους που βρίσκονται σε ασταθή περιβάλλοντα να είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι, καθώς συχνά δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό. Ενώ έχει σημειωθεί πρόοδος στην επέκταση της πρόσβασης σε πόσιμο νερό με ασφαλή διαχείριση, με αύξηση 12% από το 2000 έως το 2020, οι ανισότητες εξακολουθούν να υφίστανται, με 2,2 δισεκατομμύρια ανθρώπους να εξακολουθούν να μην έχουν τέτοια πρόσβαση. Η κλιματική αλλαγή, οι ανταγωνιστικές προτεραιότητες στη γεωργία και την οικολογία και οι απειλές για την ποιότητα του νερού θέτουν περαιτέρω σε κίνδυνο την πρόοδο στις προσπάθειες διαχείρισης του νερού και της αειφορίας.

Στο πλαίσιο των βιώσιμων πόλεων και κοινοτήτων υπογραμμίζεται πως οι αστικές περιοχές εξακολουθούν να βρίσκονται αντιμέτωπες με πολυάριθμες προκλήσεις, οι οποίες επιδεινώνονται από τον κεντρικό τους ρόλο στην παγκόσμια οικονομική δραστηριότητα και στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς αντιπροσωπεύουν πάνω από το 80% και 70% αντίστοιχα. Καθ' όλη τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, οι πόλεις αντιμετώπισαν σοβαρές επιπτώσεις, με οικονομικές μειώσεις λόγω των μέτρων αποκλεισμού, σε συνδυασμό με ανεπαρκή πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες, όπως ασφαλές νερό, αποχέτευση και χώρους πρασίνου, ιδίως σε άτυπους οικισμούς που χαρακτηρίζονται από υπερπληθυσμό και περιορισμένη υποστήριξη. Ενώ οι καλά σχεδιασμένες και συμπαγείς πόλεις μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του περιβάλλοντος και την ανθρώπινη ευημερία, η ταχεία και κακώς διαχειριζόμενη αστικοποίηση συχνά επιδεινώνει τις ανισότητες.

Η αρμονική συνύπαρξη με το περιβάλλον τοποθετείται στον πυρήνα της Ατζέντας για το 2030, καθώς χωρίς τη βιώσιμη χρήση των πόρων θα είναι αδύνατον να καταπολεμηθούν οι επιβαρύνσεις στο κλίμα και τα χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα. Οι έρευνες στις οποίες βασίστηκε η έκθεση δείχνουν ότι μέχρι το 2015 οι χώρες είχαν την τάση να υπερβαίνουν τα βιοφυσικά όρια με ταχύτερο ρυθμό από ό,τι επιτυγχάνονταν τα κοινωνικά όρια, γεγονός που υποδηλώνει ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο περιβαλλοντικά μη βιώσιμων κοινωνικών αναπτυξιακών κεκτημένων. Η υπερβολική και αναποτελεσματική χρήση των φυσικών πόρων, έχει προκαλέσει μια τριπλή πλανητική κρίση, η οποία περιλαμβάνει την κλιματική αλλαγή, την απώλεια της βιοποικιλότητας και τη ρύπανση. Η ακατάλληλη διαχείριση των ηλεκτρονικών και χημικών αποβλήτων επιδεινώνει περαιτέρω το πρόβλημα. Υπογραμμίζεται ότι υπάρχει επιτακτική ανάγκη για την ευθυγράμμιση της παραγωγής και της κατανάλωσης σε παγκόσμιο επίπεδο, ωστόσο οι περιφερειακές και εθνικές ανισότητες εξακολουθούν να υφίστανται, με δυσανάλογα μεγαλύτερα αποτυπώματα κατανάλωσης να παρατηρούνται στον Παγκόσμιο Βορρά. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι, έως το 2050, η παγκόσμια παραγωγή στερεών αποβλήτων θα εκτοξευθεί σε 3,40 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως.

Αναφορικά με το κλίμα, η έκθεση υπενθυμίζει την ολοένα αυξανόμενη εμφάνιση πρωτοφανών περιβαλλοντικών φαινομένων που έχουν άμεσο αντίκτυπο στην γεωργική παραγωγή και τα οικοσυστήματα στα οποία στηρίζεται η παγκόσμια διατροφή. Υποστηρίζει πως οι φυσικές λύσεις

για το κλίμα, σε συνδυασμό με την πρόοδο των τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, την επαρκή χρηματοδότηση για την κλιμάκωση των πρωτοβουλιών και άλλες προσπάθειες που αποσκοπούν στην απαλλαγή των οικονομιών από τον άνθρακα, αναδεικνύονται σε καίριες στρατηγικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Οι προτάσεις περιλαμβάνουν επενδύσεις σε χώρους πρασίνου για τον μετριασμό της αύξησης της θερμοκρασίας, τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και την εφαρμογή γεωργικών πρακτικών για την ενίσχυση της επισιτιστικής ασφάλειας.

Τα υπό εξαφάνιση είδη αυξάνονται με ανησυχητικούς ρυθμούς, οι οποίοι οφείλονται σε παράγοντες όπως η υπεραλίευση, οι γεωργικές πρακτικές, η υλοτομία και η αποψίλωση των δασών για την επέκταση της γεωργίας. Οι δραστηριότητες αυτές προκαλούν μη αναστρέψιμη βλάβη στην παγκόσμια βιοποικιλότητα και εκτός αυτού, οι αλλαγές στη χρήση γης, η υποβάθμιση και τα καταναλωτικά πρότυπα έντασης πόρων δημιουργούν μονοπάτια για την εμφάνιση μολυσματικών ασθενειών. Η GSDR υποστηρίζει ότι η ευκαιρία που παρουσιάστηκε από την περίοδο ανάκαμψης από την πανδημία και τα πακέτα κινήτρων COVID-19 για αλλαγή πορείας έχει σπαταληθεί σε μεγάλο βαθμό. Πέντε στόχοι στο πλαίσιο του στόχου 15, που αποσκοπούν στη διατήρηση και αποκατάσταση των χερσαίων οικοσυστημάτων, είχαν προγραμματιστεί να επιτευχθούν έως το 2020, αλλά έχουν παρέλθει με ανεπαρκή πρόοδο.

Κεφάλαιο 5. Υλικά και Μέθοδοι

5.1. Μεθοδολογία προσέγγισης της βιβλιογραφίας

Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό και την επιλογή της σχετικής βιβλιογραφίας για την ανασκόπηση σχετικά με τη βιώσιμη διαχείριση των αστικών ρύπων και την παρακολούθηση της ρύπανσης του αστικού εδάφους στην Ελλάδα κατά την τελευταία δεκαετία. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη βιβλιογραφική αναζήτηση είχε ως στόχο τον ολοκληρωμένο εντοπισμό και την ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας σχετικά με τη ρύπανση του αστικού εδάφους στην Ελλάδα. Με την εφαρμογή συγκεκριμένων όρων αναζήτησης, κριτηρίων επιλογής και μέτρων αξιολόγησης της ποιότητας, συγκεντρώθηκε ένα ισχυρό σώμα βιβλιογραφίας για ανασκόπηση και ανάλυση.

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τη στρατηγική για την διεξαγωγή της έρευνας, πραγματοποιήθηκε συστηματική αναζήτηση σε ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των Google Scholar, Scopus και ScienceDirect. Χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες λέξεις-κλειδιά και όροι αναζήτησης: «αστική ρύπανση εδάφους Ελλάδα», «βιώσιμη διαχείριση αστικών ρύπων», «αστική περιβαλλοντική παρακολούθηση Ελλάδα», «ρύπανση εδάφους», «βαρέα μέταλλα», «δυσνητικά τοξικά στοιχεία», «αστική εδαφική ρύπανση» και παραλλαγές αυτών, συμπεριλαμβανομένων των αντίστοιχων αγγλικών όρων για διεύρυνση των επιλογών. Για την βελτίωση των αναζητήσεων και των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές “and”, “or” και εφαρμόστηκαν φίλτρα ώστε να περιοριστούν οι επιλογές σε άρθρα που έχουν δημοσιευτεί από το 2013 και μετά, μόνο σε ελληνικές πόλεις, ώστε να πληρείται η προϋπόθεση της δεκαετίας και η τοποθεσία ενδιαφέροντος.

Η τελική επιλογή των ερευνών που τελικά συγκαταλέχθηκαν στην ανασκόπηση, έγινε με βάση τη συνάφειά τους με το θέμα της και την τήρηση των ακόλουθων κριτηρίων: αφορούν την Ελλάδα, η ημερομηνία δημοσίευσής τους ανήκει στο χρονικό διάστημα 2013-2023, συντάχθηκαν στην ελληνική ή την αγγλική γλώσσα, εστιάζουν στην αστική ρύπανση των εδαφών, ή τη βιώσιμη διαχείριση των ρύπων στα εδάφη της χώρας. Αποκλείστηκε η βιβλιογραφία η οποία δεν εμφανίζει τα παραπάνω χαρακτηριστικά, καθώς και εκείνη που σχετίζεται αποκλειστικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση ή επικεντρώνεται σε ρύπους κυρίως σε βιομηχανικές περιοχές. Ο αποκλεισμός αυτών ενδέχεται να περιορίσει το πεδίο εφαρμογής της ανασκόπησης. Ωστόσο, συμπεριλήφθηκαν έρευνες στις οποίες αυτά τα δύο είδη πηγών ρύπανσης συνδέονται άρρηκτα με την υγεία του εδάφους στο αστικό περιβάλλον, όπως μελέτες για την οδική σκόνη και εκείνες που πραγματεύονται βιομηχανικές εκροές σε μικρή εμβέλεια από τις πόλεις, που μπορούν να συσσωρευτούν στο έδαφός τους.

Κατόπιν, οι επιλεγμένες δημοσιεύσεις επανεξετάστηκαν για την εξαγωγή βασικών ευρημάτων, μεθοδολογιών και δεδομένων σχετικών με τη ρύπανση του αστικού εδάφους και τις πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης στην Ελλάδα. Οι πληροφορίες που εξήχθησαν περιλάμβαναν τους στόχους της μελέτης, τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, τις συγκεντρώσεις των ρύπων που ερευνήθηκαν, τις τοποθεσίες δειγματοληψίας και τα βασικά ευρήματα. Η ποιότητα και η συνάφεια κάθε επιλεγμένης εργασίας αξιολογήθηκαν με βάση το σχεδιασμό της μελέτης, τη μεθοδολογία, το μέγεθος του δείγματος και τη συνάφεια με το θέμα της ανασκόπησης. Προτεραιότητα δόθηκε σε μελέτες με αξιόπιστες μεθοδολογίες και σαφή συνάφεια με τους ερευνητικούς στόχους.

Τα δεδομένα που εξήχθησαν από τις επιλεγμένες μελέτες συντέθηκαν και αναλύθηκαν για τον εντοπισμό τάσεων, προτύπων και κενών στην υπάρχουσα έως τώρα βιβλιογραφία σχετικά με τη ρύπανση του αστικού εδάφους στην Ελλάδα. Πραγματοποιήθηκε θεματική ανάλυση για τον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων θεμάτων και αναδυόμενων ζητημάτων. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι αναγνωρίζεται το γεγονός ενδεχόμενης γλωσσικής μεροληψίας και εξάρτησης από διαδικτυακές βιβλιοθήκες, λόγω των περιορισμών της στρατηγικής αναζήτησης.

Οι έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανασκόπηση είναι στο σύνολό τους 27, για την Αθήνα, το Θριάσιο Πεδίο, το Λαύριο, τη Θεσσαλονίκη, την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας αλλά και για την πόλη του Βόλου και του Αλμυρού και την Θήβα. Οι περισσότερες μελέτες έχουν γίνει για την Αθήνα, την Θεσσαλονίκη και τον Βόλο. Η γεωγραφική τους κατανομή παρουσιάζεται στο ακόλουθο γράφημα.



Σχήμα 7: Οι περιοχές μελέτης και η κατανομή τους με βάση τον αριθμό των μελετών που βρέθηκαν για κάθε μία.

5.2. Μεθοδολογία προσδιορισμού των μετάλλων στα εδαφικά δείγματα

Το πρώτο βήμα είναι η λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από την εκάστοτε περιοχή μελέτης, εξασφαλίζοντας ότι καλύπτουν ποικιλία θέσεων και βάθους για να καταγραφούν πιθανές μεταβολές και να πραγματοποιηθούν οι ανάλογες συσχετίσεις. Στις περισσότερες μελέτες, η δειγματοληψία έγινε σε σημεία εντός του αστικού ιστού και συγκεκριμένα σε κοινωφελείς χώρους πρασίνου και σε εδαφικές περιοχές πλησίον του οδικού δικτύου.

Ακολουθεί η προετοιμασία των δειγμάτων στο εργαστήριο, που περιλαμβάνει μεθόδους ξήρανσης, άλεσης και κοσκίνισματος του ολικού υλικού με στόχο την αποκόμιση ομοιογενούς δείγματος. Στη συνέχεια, γίνεται ο καθορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των δειγμάτων, σχετικά με το pH τους, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), οργανικής ύλης και εχύλιση των διαθέσιμων ιχνοστοιχείων με βασιλικό νερό (*aqua regia*) για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων. Η χημική ανάλυση πραγματοποιείται με τις

κατάλληλες τεχνικές, που συνηθέστερα είναι η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectrometry –AAS). Σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η φασματομετρία μάζας πλάσματος με επαγωγική σύζευξη (ICP-MS) ή φθορισμό ακτίνων Χ (XRF) για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων.

Αφού λαμβάνει χώρα και ο ποιοτικός έλεγχος με την εφαρμογή μέτρων για τη διασφάλιση της ακρίβειας των αναλυτικών αποτελεσμάτων, όπως η χρήση πιστοποιημένων υλικών και δειγμάτων αναφοράς, γίνεται η ερμηνεία των αναλυτικών δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι συγκεντρώσεις υποβάθρου, τα πρότυπα χωρικής κατανομής και οι πιθανές πηγές ρύπανσης. Έπειτα εφαρμόζονται στατιστικές μέθοδοι για την ανάλυση των δεδομένων, όπως περιγραφική στατιστική, αναλύσεις συσχέτισης και τεχνικές που περιλαμβάνουν την χρήση πολλαπλών μεταβλητών για να εντοπιστούν οι σχέσεις μεταξύ αυτών και να είναι ορθή η αξιολόγηση της ερμηνείας των ευρημάτων.

Τελικό βήμα αποτελεί η αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων που συνδέονται με τη ρύπανση από βαρέα μέταλλα, με έμφαση στους τρόπους έκθεσης σε αυτά, τα όρια τοξικότητας και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Η παρουσίαση των ερευνητικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων είναι συνοπτική, αλλά σαφής, ώστε να διευκολύνεται η διάδοση και κατανόησή τους από τα ενδιαφερόμενα μέρη.

Κεφάλαιο 6. Περιοχές μελέτης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστούν οι αστικές περιοχές στις οποίες μελετήθηκαν τα βαρέα μέταλλα στα ανάλογα άρθρα, στα οποία βασίστηκε η παρούσα ανασκόπηση. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν οι βασικές πληροφορίες για το κάθε άρθρο και τα σημαντικότερα σημεία στα οποία δίνουν έμφαση οι συγγραφείς. Κατόπιν, θα γίνει ανάλυση και συζήτηση των αποτελεσμάτων που προκύπτει από τις μεταξύ τους συγκρίσεις.

Καθώς η γεωλογία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη και κατανομή των βαρέων μετάλλων, πρέπει σε αυτό το σημείο να τονιστεί πως γενικά τα ελληνικά εδάφη είναι φυσικά εμπλουτισμένα σε Cr, Ni, Co και Mn ως αποτέλεσμα της ευρείας εμφάνισης βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων και οι αυξημένες συγκεντρώσεις As στο έδαφος και στα φυσικά ύδατα έχουν συνδεθεί με μεταμορφωμένα πετρώματα στην χώρα (Argyaki and Kelepertzis, 2015).

6.1. Αττική

Σύμφωνα με τη βάση CORINE για τα δεδομένα κάλυψης της γης, το 44% της συνολικής περιφερειακής έκτασης καταλαμβάνεται από δάση και ημιφυσικές περιοχές, το 36% αντιστοιχεί σε γεωργική γη και το 20% καλύπτεται από τεχνητές επιφάνειες, συμπεριλαμβανομένου του συνεχούς και ασυνεχούς αστικού ιστού (14%) (Argyaki et al., 2018).

Η γεωλογία της αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα, που εμφανίζονται κυρίως στο ορεινό ανάγλυφο στο βόρειο, ανατολικό και νότιο τμήμα της, και μη μεταμορφωμένα πετρώματα που εμφανίζονται στο δυτικό τμήμα (Argyaki et al., 2018). Οι κυρίαρχοι λιθολογικοί τύποι είναι τα ανθρακικά πετρώματα του Μεσοζωικού (ασβεστόλιθοι, τα μάρμαρα και τα δολομιτικά μάρμαρα, σχηματισμοί σχιστόλιθου πλούσιοι σε αργιλοπηριτικά ορυκτά (Argyaki et al., 2018). Μετα-ορογενετικά, ασβεστολιθικά και κροκαλοπαγή ιζήματα και αλλουβιακά ιζήματα που περιέχουν διαβρωμένο υλικό προερχόμενο από τα βασικά πετρώματα απαντώνται στις πεδιάδες της Αττικής (Argyaki et al., 2018).

6.1.1. Αθήνα

Δεδομένου ότι η πόλη φιλοξενεί πάνω από το 1/3 του ελληνικού πληθυσμού, κυριαρχείται από άναρχη δόμηση και πυκνοκατοικημένες περιοχές, με ταυτόχρονα περιορισμένους χώρους πρασίνου, αποτελεί το ιδανικό παράδειγμα μιας μητρόπολης που αναπτύχθηκε χωρίς κάποιο ολοκληρωμένο σχεδιασμό, αλλά από κύματα ανεξέλεγκτης αστικής ανάπτυξης (Κατρίτσης 2016; Argyaki et al., 2018; Kokkoris et al., 2019). Παρουσιάζει υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εξαιτίας πολλών πηγών, όπως είναι η κυκλοφορία, οι βιομηχανικές και μη εκπομπές και οι οικιακές πρακτικές. Η κυκλοφορία στο μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε, εμφανίζεται ως η κυριότερη πηγή ρύπανσης, με τα Pb, Zn, Cu, Cd να είναι τα βαρέα μέταλλα που πρωταγωνιστούν στα εδάφη. Οι Argyaki and Kelepertzis (2015) σημειώνουν πως το φυσικό έδαφος εντός της πόλης είναι γενικά λεπτό (thin). Στην ίδια έρευνά τους, οι συγγραφείς λαμβάνουν σημαντικά υπόψη την γεωλογία της περιοχής ως σημαντική συνιστώσα στον

καθορισμό των δυνητικά επιβλαβών ιχνοστοιχείων στο αστικό έδαφος, καθώς στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας υπάρχει ιστορική απουσία βαριάς βιομηχανίας.

Όσον αφορά το κλίμα, η Αθήνα χαρακτηρίζεται από τυπικό μεσογειακό υποτροπικό κλίμα με κρύους και υγρούς χειμώνες και ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, με περιστασιακές καταιγίδες (Κατρίτσης 2016; Argyraki et al., 2018). Το ποσοστό ηλιοφάνειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι πολύ υψηλό, ενώ οι άνεμοι είναι ως επί το πλείστον μέτριας έντασης (Κατρίτσης 2016). Τα φαινόμενα ταχείας αστικοποίησης των τελευταίων δεκαετιών έχουν οδηγήσει στην δημιουργία ενός αστικού μικροκλίματος (Κατρίτσης, 2016).

Πίνακας 1. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στην Αθήνα

Συγγραφείς	Έτος	Έρευνα	Δειγματοληψία	Βαρέα Μέταλλα
Kokkoris et al.	2019	Accumulation of heavy metals by wild edible mushrooms with respect to soil substrates in the Athens metropolitan area (Greece)	Δείγματα από διαφορετικές τάξεις εδάφους	Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Mn
Argyraki et al.	2018	Environmental availability of trace elements (Pb, Cd, Zn, Cu) in soil from urban, suburban, rural and mining areas of Attica, Hellas	Επιφανειακά εδάφη	Pb, Zn, Cu, Cd
Papazotos et al.	2017	Heavy Metals in Urban Park Soils From Athens, Greece	Επιφανειακά εδάφη σε περιοχές άλσους	Pb, Zn, Ni, Cu, Mn, Cr
Φλίγκος	2017	Γεωχημική διασπορά μολύβδου και ψευδαργύρου σε επιφανειακά αστικά εδάφη των Αθηνών	Επιφανειακά εδάφη με προτεραιότητα σε παιδικές χαρές, σχολεία και αστικά πάρκα	Pb, Zn

Κατρίτσης	2016	Κινητικότητα και βιοπροσβασιμότητα δυνητικά τοξικών στοιχείων σε επιφανειακά εδάφη του λεκανοπεδίου Αθηνών	Επιφανειακά εδάφη	Pb, Cd, Zn, Cu, As, Co, Cr, Ni
Χρυσοστομίδης	2016	Διασπορά Βαρέων Μετάλλων σε Αστικά Εδάφη : η Περίπτωση του Πάρκου Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης Αντώνης Τρίτσης	Επιφανειακά εδάφη από πολυσύχναστες παιδικές χαρές του πάρκου «Αντώνης Τρίτσης»	Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Co, Mn
Kelepertzis et al.	2016	Metal(loid) distribution and Pb isotopic signatures in the urban environment of Athens, Greece	Δείγματα επιφανειακού εδάφους, οδική και οικιακή σκόνη	Pb
Kelepertzis and Argyraki	2015	Mercury in the Urban Topsoil of Athens, Greece	Δείγματα επιφανειακού εδάφους από πεζοδρόμια, πάρκα και δασικές έκταση, αδόμητους χώρους και δημόσιους χώρους (πλατείες – παιδικές χαρές – σχολικές αυλές)	Pb, Zn
Kelepertzis and Argyraki	2015	Geochemical associations for evaluating the availability of potentially harmful elements in urban soils: Lessons learnt from Athens, Greece	Επιφανειακά εδάφη	Pb, Zn, Cr, As, Cu, Cd, Ni, Co, Mn

Argyrazi and Kelepertzis	2014	Urban soil geochemistry in Athens, Greece: The importance of local geology in controlling the distribution of potentially harmful trace elements	Δείγματα επιφανειακού εδάφους σε στοχευμένες περιοχές (πάρκια, χώροι αναψυχής, παιδικές χαρές και αυλές σχολείων)	Pb, Zn, Cr, As, Cu, Cd, Ni, Co, Mn
--------------------------	------	--	---	------------------------------------

6.1.2. Θριάσιο Πεδίο

Τις τελευταίες πέντε δεκαετίες, ο Θριάσιος κάμπος έχει βιώσει έντονη εκβιομηχάνιση και έχει εξελιχθεί από οικιστική-γεωργική περιοχή σε περιοχή με μικτές χρήσεις γης, με γεωργικές, οικιστικές και βιομηχανικές λειτουργίες (Massas et al., 2013). Οι κάτοικοι της περιοχής καλλιεργούν φυτά για δική τους κατανάλωση που συνεπάγεται ένα αξιοσημείωτο επίπεδο φυτοκομικής δραστηριότητας. Ο Ασπρόπυργος και η Ελευσίνα είναι οι δύο μεγαλύτερες πόλεις της περιοχής, όμως υπάρχουν και πολλοί οικισμοί προσωρινού χαρακτήρα, από τους πολίτες που βιοπορίζονται από τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τον χώρο υγειονομικής ταφής (Antoniadis et al., 2017).

Πιο πρόσφατα, η περιοχή έχει προσελκύσει πολλά βιομηχανικά εργοστάσια διαχείρισης απορριμμάτων, αποβλήτων και ανακυκλώσιμων υλικών και επίσης εργοστάσια που αποθηκεύουν και επεξεργάζονται σίδηρα και χρωστικές ουσίες, λόγω της γειτνίασης με την κύρια χωματερή της Αθήνας, στη βορειοανατολική πλευρά της πεδιάδας (Gasparatos et al., 2015). Αυτά έρχονται να προστεθούν στην υφιστάμενη βαριά βιομηχανία (διυλιστήρια πετρελαίου, βιομηχανίες επεξεργασίας τσιμέντου και χάλυβα) της χώρας στην περιοχή, με την περιβαλλοντική ανησυχία να ενισχύεται από την σιδηροδρομική γραμμή υψηλών ταχυτήτων και τον μεγάλο αυτοκινητόδρομο που διασχίζουν την πεδιάδα (Antoniadis et al. 2017). Οι Antoniadis et al. (2017) δίνουν έμφαση στα πολυάριθμα ατυχήματα που έχουν λάβει χώρα, που αφορούσαν την εκδήλωση πυρκαγιάς σε εργοστάσια και απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες ρύπων που εν συνεχεία εναποτίθενται εύκολα στο έδαφος κοντά στις σημειακές πηγές ρύπανσης. Αυτά τα γεγονότα επηρεάζουν κυρίως τα φυτά και τους ανθρώπους, με δύο πιθανές οδούς ρύπανσης ΡΤΕs, την εισροή των ρύπων από το έδαφος στα φυτά και δεύτερον την άμεση εισπνοή της ιπτάμενης σκόνης του εδάφους από τους ανθρώπους (Antoniadis et al., 2017). Ο Θριάσιος κάμπος, σύμφωνα όσα παραθέτουν οι Massas et al. (2013), παρουσιάζει πιθανώς ταυτόχρονα την υψηλότερη συγκέντρωση βιομηχανικών δραστηριοτήτων, κατανάλωση καυσίμων και ρύπανση που σχετίζεται με τις παραγωγικές διαδικασίες, σε όλη την Ελλάδα.

Η τοπογραφία είναι κυρίως επίπεδη, με ήπια κλίση προς τη θάλασσα, το κλίμα μεσογειακό με μέση ετήσια βροχόπτωση 390 mm και μέση θερμοκρασία 18 °C, με επικρατούντες τους βόρειους ανέμους (Antoniadis et al., 2017; Gasparatos et al., 2015; Massas et al., 2013).

Πίνακας 2. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στο Θριάσιο Πεδίο

Συγγραφείς	Έτος	Έρευνα	Δειγματοληψία	Βαρέα Μέταλλα
Antoniadis et al.	2017	Bioavailability and health risk assessment of potentially toxic elements in Thriassio Plain, near Athens, Greece	Εδάφη στις άκρες των δρόμων	Pb, Zn, Cr, As, Cu, Cd, Ni, Co, Mn
Gasparatos et al.	2015	Fractionation of heavy metals and evaluation of the environmental risk for the alkaline soils of the Thriassio plain: a residential, agricultural, and industrial area in Greece	Δείγματα επιφανειακών εδαφών που βρίσκονται μακριά από αξιοσημείωτες πηγές ρύπανσης	Pb, Zn, Cr, Cu, Ni
Massas et al.	2013	Total and available heavy metal concentrations in soils of the Thriassio plain (Greece) and assessment of soil pollution indexes	Δείγματα επιφανειακού εδάφους	Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Co, Mn

6.1.3. Λαύριο

Το Λαύριο βρίσκεται στην νοτιοανατολική Αττική, όπου υπάρχουν αρκετά εγκαταλελειμμένα ορυχεία αργύρου και μολύβδου και συγκαταλέγεται μεταξύ των παλαιότερων μεταλλευτικών περιοχών παγκοσμίως, με σχετικές δραστηριότητες να έχουν καταγραφεί από την κλασική περίοδο της αρχαίας Ελλάδας (Antoniadis et al., 2022). Οι δραστηριότητες εξόρυξης και τήξης αναζωπυρώθηκαν πριν από περίπου 170 χρόνια, με τις μεταλλουργικές εταιρείες να στοχεύουν στα υπάρχοντα αποθέματα των ορυχείων, τα οποία ήταν αρκετά πλούσια σε Pb και Ag και συνεχίστηκαν διακοπτόμενα μέχρι το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, σταματώντας οριστικά τη δεκαετία του 1970 (Antoniadis et al., 2022).

Στην περιοχή εντοπίζεται πολυμεταλλική θειούχος μεταλλοφορία, η οποία συνδέεται με γρανιτοειδείς διεισδύσεις από την εποχή του Μειόκαινου (Argyaki et al., 2018). Οι διεργασίες διάβρωσης που επενεργούν στα μεταλλευτικά κοιτάσματα του Λαυρίου οδήγησαν στο

σηματισμό σημαντικών υπεργενών μεταλλευτικών σωμάτων πλούσιων σε ψευδάργυρο, συμβάλλοντας σε σημαντικούς πόρους ψευδαργύρου και σιδήρου (Argyaki et al., 2018) Τα υποκείμενα πετρώματα περιέχουν αυξημένες συγκεντρώσεις μιας σειράς ορυκτών που περιέχουν ΡΤΕ, τα οποία περιέχουν κυρίως τεράστιες ποσότητες As, Cd, Sb, Zn και Ag (Antoniadis et al., 2022). Η πόλη έχει επίσης μεσογειακό κλίμα, με μέση ετήσια θερμοκρασία 17,3 °C και μέση ετήσια βροχόπτωση περίπου 360 mm.

Η (μοναδική) έρευνα συμπεριλαμβάνεται στην παρούσα ανασκόπηση λόγω της δειγματοληψίας των ερευνητών, που αφορά συλλογή δειγμάτων από ανοιχτούς χώρους εντός της αστικής περιοχής. Παρότι οι τιμές που σημειώθηκαν είναι σχεδόν για όλα τα μέταλλα ακραία υψηλές σε σχέση με τις υπόλοιπες έρευνες, αξίζει να αναφερθεί, καθώς είχε ως στόχο την ενδελεχή παρακολούθηση της αστικής περιοχής του Λαυρίου που δεν έχει μελετηθεί προηγουμένως. Αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα αστικής ρύπανσης στην ιδιαίτερη κατηγορία των περιοχών με πλούσια ιστορία μεταλλευτικών δραστηριοτήτων και των τρόπων με τους οποίους το παρελθοντικά εμπλουτισμένο υπόβαθρο εξακολουθεί να επηρεάζει την μελλοντική εικόνα του εδάφους.

Πίνακας 3. Στοιχεία μελέτης που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στο Λαύριο

Συγγραφείς	Έτος	Έρευνα	Δειγματοληψία	Βαρέα Μέταλλα
Antoniadis et al.	2022	Hazardous enrichment of toxic elements in soils and olives in the urban zone of Lavrio, Greece, a legacy, millennia-old silver/lead mining area and related health risk assessment	Κενές εκτάσεις, πάρκα και σχολικές αυλές	Pb, Zn, Cr, As, Cu, Cd, Ni, Co

6.2. Θεσσαλονίκη

Η Θεσσαλονίκη είναι ένα από τα κρισιμότερα εμπορικά κέντρα των Βαλκανίων, που χαρακτηρίζεται από υψηλό συντελεστή δόμησης και έντονη οδική κυκλοφορία, που συχνά καταλήγει σε συμφόρηση, ιδιαίτερα στο κέντρο της πόλης. Οι αστικές δραστηριότητες, οι λιμενικές εγκαταστάσεις και η βιομηχανική ζώνη στο δυτικό τμήμα της πόλης, είναι οι κυριότερες τοπικές πηγές ρύπανσης (Bourliva et al., 2021).

Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι τυπικά μεσογειακό, επηρεάζεται έντονα από τη θαλάσσια αύρα και χαρακτηρίζεται από χαμηλά επίπεδα βροχόπτωσης, κατά το 33% του έτους) και χαμηλές τιμές ταχύτητας ανέμου (Bourliva et al., 2017; Bourliva et al., 2018). Η μέση ετήσια βροχόπτωση αγγίζει τα 490 mm, ενώ η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 5,5 °C και 28 °C (Bourliva et al., 2017). Σε σχέση με τη γεωλογική προέλευση, οι Psimoulis et al. (2007) παραθέτουν πως η σημερινή πεδιάδα της Θεσσαλονίκης σχηματίστηκε τα τελευταία 2.500 χρόνια σε μια νεογενή-τεταρτογενή τάφρο στα δυτικά της πόλης, διαδικασία που ορίστηκε από την απόθεση δελταϊκών και ποτάμιων ιζημάτων, κυρίως ιλύος και άμμου, που μεταφέρθηκαν από τους κοντινούς ποταμούς (Βαρδάρης και Αλιάκμονας, Γαλλικός και Λουδίας). Η Χαριζάνη

(2022) τονίζει ότι οι χώροι πρασίνου μέσα στο αστικό τοπίο της πόλης προέρχονται περισσότερο από επιχωματώσεις παρά από φυσική βλάστηση ή άλλες φυσικές διεργασίες.

Πίνακας 4. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στη Θεσσαλονίκη

Συγγραφείς	Έτος	Έρευνα	Δειγματοληψία	Βαρέα Μέταλλα
Golia et al.	2023	Assessment of Cu and Zn contamination and associated human health risks in urban soils from public green spaces in the city of Thessaloniki, Northern Greece	Δημόσιοι χώροι πρασίνου	Cu, Zn
Bourliva et al.	2021	Levels, oral bioaccessibility and health risk of sand-bound potentially harmful elements (PHEs) in public playgrounds: Exploring magnetic properties as a pollution proxy	Παιδικές χαρές	Pb, Zn, Cr, As, Cu, Cd, Ni, Co, Mn
Bourliva et al.	2018	Seasonal and spatial variations of magnetic susceptibility and potentially toxic elements (PTEs) in road dusts of Thessaloniki city, Greece: A one-year monitoring period.	Οδική σκόνη	Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Ni, Mn

Bourliva et al.	2017	Characterization, heavy metal content and health risk assessment of urban road dusts from the historic center of the city of Thessaloniki, Greece.	Δείγματα σκόνης	Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Ni, Mn
-----------------	------	--	-----------------	----------------------------

6.3. Θεσσαλία

Η Θεσσαλία αποτελεί μία περιοχή στο κεντρικό τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας, κυρίως πεδινή, που περικλείεται από βουνά, συμπεριλαμβανομένου του υψηλότερου της χώρας, τον Όλυμπο. Το υψόμετρο κυμαίνεται από 1 έως 200 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και παρουσιάζει έντονες κλίσεις από 10 έως 25% (Golia et al., 2015). Εξαιτίας της εντατικής καλλιέργειας και των αγροτικών πρακτικών, εμφανίζει ενδιαφέρον για την εκτίμηση της επίδρασης αυτών στην ρύπανση του εδάφους. Επιπρόσθετα, η ταχεία αστική επέκταση και η άνοδος της βιομηχανίας, πιθανόν να συνεισφέρουν επιπλέον στην ρύπανση από PTEs σε διάφορους βαθμούς στην περιοχή.

Το κλίμα χαρακτηρίζεται ως θερμό ηπειρωτικό, με θερμοκρασία που κυμαίνεται από 14 έως 24 °C και βροχοπτώσεις έως 423 mm (Golia et al., 2015; Golia et al. 2019; Golia and Diakouloukas, 2022). Η περιοχή υπόκειται σε ασθενείς έως μέτριους ανέμους που πνέουν κυρίως από τα ανατολικά (Golia et al., 2015).

Πίνακας 5. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στη Θεσσαλία, εκ των οποίων οι αντίστοιχες για τον Βόλο και τον Αλμυρό

Συγγραφείς	Έτος	Έρευνα	Δειγματοληψία	Βαρέα Μέταλλα
Golia	2023	The impact of heavy metal contamination on soil quality and plant nutrition. Sustainable management of moderate contaminated agricultural and urban soils, using low cost materials and promoting circular economy	Επιφανειακά εδάφη	Pb, Zn, Cu, Cd

Aslanidis and Golia	2022	Urban Sustainability at Risk Due to Soil Pollution by Heavy Metals—Case Study: Volos, Greece	Μικρά πάρκα, παιδικές χαρές, παρτέρια, χώροι που γειτνιάζουν με το λιμάνι, τον σιδηροδρομικό σταθμό και τους δύο σταθμούς λεωφορείων	Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Ni, Co, Mn
Golia and Diakouloukas	2022	Soil parameters affecting the levels of potentially harmful metals in Thessaly area, Greece: a robust quadratic regression approach of soil pollution prediction	Δείγματα από διαφορετικές εδαφικές τάξεις	Pb, Zn, Cd, Co, Cu, Mn, Ni
Golia et al.	2021	Level of Contamination Assessment of Potentially Toxic Elements in the Urban Soils of Volos City (Central Greece)	Ποικίλοι χώροι πρασίνου, πλατείες κοντά στο λιμάνι, παρτέρια που βρίσκονται κοντά σε κεντρικούς δρόμους και μια γειτονιά δίπλα σε εργοστάσιο τσιμέντου	Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Ni, Co, Mn
Kelepertzis et al.	2020	Metal(loid) and isotopic tracing of Pb in soils, road and house dusts from the industrial area of Volos (central Greece)	Επιφανειακά εδάφη και οδική σκόνη	Pb, Zn, Cr, As, Cu, Cd, Ni, Mn
Golia et al.	2019	Pollution assessment of potentially toxic elements in soils of different taxonomy orders in central Greece	Δείγματα από διαφορετικές εδαφικές τάξεις	Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Ni, Co, Mn
Golia et al.	2015	Spatial monitoring of arsenic and heavy metals in the Almyros area, Central Greece	Επιφανειακά εδάφη	Pb, Zn, Cd, Cr, Cu, As, Hg, Ni, Co, Mn

6.3.1. Βόλος

Η πόλη του Βόλου, παρότι μεσαίου μεγέθους, είναι σημαντικής εμπορικής και τουριστικής σημασίας και περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό βιομηχανικών και εμπορικών δραστηριοτήτων, καθώς και λιμάνι με διαρκή κίνηση πλοίων. Λόγω των έντονων ρυθμών που προαναφέρθηκαν και των στενών δρόμων εντός του αστικού ιστού, η κυκλοφορία συχνά είναι αυξημένη. Στη δυτική πλευρά, σε μία απόσταση των 12-14 χλμ. από το κέντρο της πόλης, βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή που αφορά εργοστάσια χάλυβα και άλλες βιομηχανίες που ασχολούνται με γεωργικά, μεταλλουργικά, πλαστικά προϊόντα και τροφίμων, ενώ στα ανατολικά λειτουργεί επίσης τσιμεντοβιομηχανία (Golia et al., 2021; Kelepertzis et al., 2020).

Η τοπογραφία που κυριαρχεί είναι σύνθετη, καθώς βρίσκεται πλησίον λόφων και στους πρόποδες του Πηλίου (Kelepertzis et al., 2020). Το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής του Βόλου περιλαμβάνει κυρίως μεταμορφωμένα πετρώματα που αποτελούνται από γνεύσιους, σχιστόλιθους με παρεμβολές μαρμάρων, βασικά ηφαιστειακά πετρώματα, κροκαλοπαγή ιζηματογενή πετρώματα, ασβεστόλιθους και εμφανίσεις σερπεντινίτη (Kelepertzis et al., 2020). Στα χαμηλότερα υψόμετρα, ειδικά κοντά στα όρια της πόλης με εκείνη του Αλμυρού, επικρατούν οι ιζηματογενείς αποθέσεις νεότερης γεωλογικής ηλικίας (Kelepertzis et al., 2020). Το κεντρικό τμήμα της πόλης καλύπτεται από χαλαρά κροκαλοπαγή και αλλουβιακές αποθέσεις, με χαμηλό ποσοστό χονδρόκοκκου υλικού (Kelepertzis et al., 2020). Σχετικά με το κλίμα, είναι μεσογειακού τύπου, έχοντας υγρούς ήπιους χειμώνες και ζεστά ξηρά καλοκαίρια και οι επικρατούντες άνεμοι πνέουν από βόρεια κατεύθυνση νωρίς την άνοιξη, το φθινόπωρο και το χειμώνα και από νότια κατεύθυνση αργά την άνοιξη, το καλοκαίρι και νωρίς το φθινόπωρο (Kelepertzis et al., 2020). Οι μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο Βόλο θα μπορούσαν να περιγραφούν ως ιδιόμορφες και ιδιαίτερες ταυτόχρονα (Aslanidis and Golia, 2022).

6.4. Θήβα

Η πόλη της Θήβας, βρίσκεται αρκετά κοντά στην βιομηχανική ζώνη της Περιφερειακής Ενότητας της Βοιωτίας, όπου λειτουργούν πάνω από 1000 βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες που ασχολούνται με μεταλλουργικές δραστηριότητες, βυρσοδεψία, βαφεία, παραγωγή τροφίμων και αλουμινίου (Αντωνοπούλου, 2020). Αυτές είναι και αιτία σοβαρής υποβάθμισης του περιβάλλοντος, λόγω μη ορθής διαχείρισης όλων των ειδών αποβλήτων. Η Αντωνοπούλου (2020) δίνει ιδιαίτερη έμφαση στις βιομηχανίες αλουμινίου και των φθοριούχων ενώσεων που διοχετεύουν στο περιβάλλον. Επίσης, επισημαίνει την ύπαρξη Χώρου Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων με λειτουργία άνω των 20 ετών, τον οποίο αντικατέστησε ο νέος ΧΥΤΑ και την ύπαρξη ακόμα δύο ανενεργών ΧΑΔΑ.

Όσον αφορά την τοπογραφία, γενικότερα η Βοιωτία είναι πεδινή, με μικρές ορεινές εκτάσεις. Στις πεδινές περιοχές της πόλης το κλίμα τον χειμώνα είναι ήπιο με έντονες βροχοπτώσεις και το καλοκαίρι επικρατούν οι υψηλές θερμοκρασίες με αυξημένο ποσοστό υγρασίας (Αντωνοπούλου, 2020). Στον αντίποδα, οι ορεινές τοποθεσίες υπόκεινται σε πιο ψυχρούς χειμώνες αλλά και πιο ψυχρά καλοκαίρια που οδηγούν την ετήσια υγρασία σε υψηλές τιμές κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους και το μέσο ύψος βροχής να φθάνει τα 600 mm (Αντωνοπούλου, 2020). Σχετικά με την γεωλογία της λεκάνης των Θηβών, οφείλει την δημιουργία της σε τεκτονική δραστηριότητα με κατακόρυφες μετατοπίσεις επί του Κατώτερου Μειόκαινου που εξακολουθούν να λαμβάνουν χώρα και έχουν ως αποτέλεσμα την λιθολογική ποικιλομορφία σε όλη την έκτασή της (Αντωνοπούλου, 2020). Το έδαφος εντός της πόλης είναι γενικά ομοιογενές

και περιλαμβάνει αλλουβιακές αποθέσεις τεταρτογενούς ηλικίας και ιζήματα Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου, με μάργες, αργίλους, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (Kelepertzis and Stathopoulou, 2013). Τα μητρικά πετρώματα του υποβάθρου εμφανίζονται βόρεια της πόλης και περιλαμβάνουν κυρίως σχιστόλιθους, ανθρακικά και υπερμαφικά πετρώματα (Kelepertzis and Stathopoulou, 2013).

Πίνακας 6. Στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν για την αστική εδαφική ρύπανση στην πόλη της Θήβας

Συγγραφείς	Έτος	Έρευνα	Δειγματοληψία	Βαρέα Μέταλλα
Αντωνοπούλου	2020	Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών αστικών πάρκων της Θήβας	Επιφανειακά εδάφη αστικών πάρκων	Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Mn
Kelepertzis and Stathopoulou	2013	Availability of geogenic heavy metals in soils of Thiva town (central Greece)	Επιφανειακά εδάφη από ανοιχτούς χώρους, πάρκα, κήπους και κατοικημένες περιοχές	Ni, Cr, Co, Mn

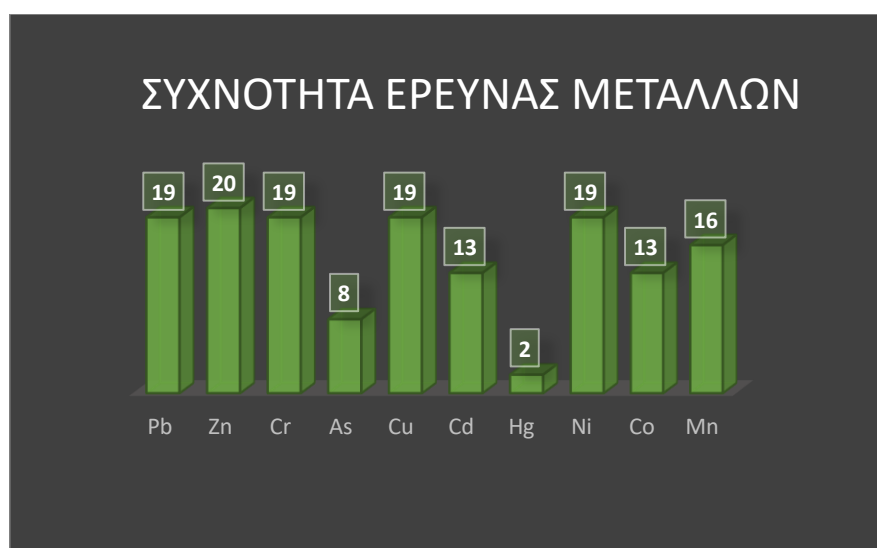
Κεφάλαιο 7. Ανάλυση αποτελεσμάτων και συζήτηση

Η εκτίμηση της επιρροής μιας πόλης στη ρύπανση του εδάφους γίνεται με τη σύγκριση των δεδομένων που λαμβάνονται είτε με νομοθετικά όρια είτε με τιμές υποβάθρου που λαμβάνονται από συγκρίσιμα φυσικά εδάφη (Biasioli et al., 2006). Προτού συγκριθούν λοιπόν τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξαν οι υπό μελέτη έρευνες, είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν οι οριακές τιμές (regulatory limits), όπως έχουν οριστεί το 1986 από την Οδηγία 86/278/ΕΟΚ για τα εδάφη και χρησιμοποιούνται συχνά στη βιβλιογραφία ως σημείο αναφοράς. Ωστόσο, πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι αυτά τα ρυθμιστικά όρια αναφέρονται στις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ορισμένων βαρέων μετάλλων στα γεωργικά εδάφη προτού χρησιμοποιηθεί ιλύς καθαρισμού λυμάτων, ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση.

Πίνακας 7: Όρια επιτρεπτών συγκεντρώσεων για τα Cu, Zn, Cd, Pb και Ni στο έδαφος, σύμφωνα με την οδηγία 86/278/ΕΟΚ

Στοιχείο	Οριακές τιμές της 86/278/ΕΕΚ (mg/kg)
Cu	50-140
Zn	150-300
Cd	1,0-3,0
Pb	50-300
Ni	30-75
Cr	200

Όσον αφορά τα μέταλλα που ήταν παρόντα ως αντικείμενο μελέτης, στην πλειονότητα των ερευνών συναντήθηκαν τα Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Mn, Cd και Co. Το As βρέθηκε μόνο στα 8 εξ αυτών και το Hg μονάχα σε δύο.



Σχήμα 8: Τα εν δυνάμει τοξικά στοιχεία και ο αριθμός των ερευνών στις οποίες απαντήθηκαν.



Σχήμα 9: Συνολικό ποσοστό ερευνών στις οποίες βρέθηκαν τιμές άνω των θεσμοθετημένων ορίων της ΕΕ και κάτω από αυτά (65% και 35% αντίστοιχα), για τα συνήθη βαρέα μέταλλα (Pb, Zn, Cu, Ni, Cr).

7.1. Αποτελέσματα ανά περιοχή μελέτης

7.1.1. Αττική

7.1.1.1. Αθήνα

Η τοπική γεωλογία θεωρήθηκε κρίσιμος παράγοντας για τον καθορισμό της κατανομής των ιχνοστοιχείων, ενώ η κυκλοφορία των οχημάτων σημειώθηκε ως η πιο σημαντική πηγή ρύπανσης του αστικού εδάφους. Τα ευρήματα αυτά τονίζουν την πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των φυσικών γεωλογικών διεργασιών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στη διαμόρφωση της κατανομής και της διαθεσιμότητας των δυνητικά επιβλαβών ιχνοστοιχείων στα αστικά εδάφη. Πιο συγκεκριμένα:

Οι Argyraki and Kelepertzis (2014), ανίχνευσαν τα πιο αυξημένα επίπεδα των αστικών ρύπων (Pb, Zn, Cu, Cd, Sb, Sn) σε επιφανειακά εδάφη κατά μήκος των δρόμων, εντός των παλαιότερων τμημάτων της πόλης και σε πυκνοκατοικημένες γειτονιές. Παράλληλα στην έρευνά τους μια ενδιαφέρουσα πτυχή της χημείας του εδάφους της πόλης είναι η αξιοσημείωτη παρουσία Pb και As σε πάρκα και δασικές περιοχές. Το πρότυπο των δυνητικά επιβλαβών στοιχείων (PHEs) έδειξε αύξηση των συγκεντρώσεων αυτών των μετάλλων που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δράση προς το κέντρο της πόλης και την περιοχή του λιμανιού του Πειραιά. Αντίθετα, στοιχεία προερχόμενα από φυσικές πηγές (Ni, Cr, Co), βρέθηκαν κυρίως σε υψηλότερα επίπεδα γύρω από τα προάστια του λεκανοπεδίου της Αθήνας.

Κατά μέσο όρο, οι συγκεντρώσεις μετάλλων στην περιοχή μελέτης ήταν χαμηλότερες ή συγκρίσιμες με εκείνες που αναφέρθηκαν σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις, αλλά υψηλότερες από τα τυπικά επίπεδα που βρίσκονται στα ιζηματογενή πετρώματα της γης. Είναι ενδιαφέρον ότι οι συγκεντρώσεις Ni και Co ήταν σταθερά υψηλότερες σε όλες τις περιοχές σε σύγκριση με άλλες χώρες, ενώ το Cr ήταν επίσης αυξημένο σε ορισμένες περιοχές, γεγονός που υποδηλώνει

γεωγενή προέλευση λόγω της φυσικής περιεκτικότητας του εδάφους στην Αθήνα, όπως υποστηρίζει ο Χρυσοστομίδης (2016).

Υπήρξε για ακόμη μια φορά σαφής συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων Pb και Zn και διαφόρων δεικτών αστικοποίησης, όπως οι συγκοινωνίες, η ένταση των χρήσεων γης, η πυκνότητα του πληθυσμού και το ιστορικό της αστικής ανάπτυξης (Φλίγκος, 2017). Στην μελέτη του Χρυσοστομίδα το 2016, η ανάλυση δεν οδήγησε στην ύπαρξη σημαντικών επιπέδων ρύπανσης στις παιδικές χαρές που μελετήθηκαν.

Όσον αφορά τον εμπλουτισμό των εδαφών σε υδράργυρο, οι Kelepertzis and Argyraki στην έρευνά τους το 2015, επισημαίνουν ότι οφείλεται κυρίως στις τοπικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες, σε αντίθεση με τους τυπικούς αστικούς ρύπους (Pb, Zn, Cu, Sb) που συνήθως συνδέονται με τις εκπομπές οχημάτων. Η δεύτερη μελέτη τους ανέδειξε επίσης ότι ενώ τα γεωγενή στοιχεία (Ni, Cr, As, Co) ήταν παρόντα σε αυξημένες ψευδο-ολικές συγκεντρώσεις, η βιοδιαθεσιμότητά τους ήταν περιορισμένη λόγω της ενσωμάτωσής τους σε σταθερές ορυκτές φάσεις και ότι η κύρια επίδραση στη διαθεσιμότητα των ανθρωπογενώς εισαγόμενων στοιχείων (Pb, Zn, Cu, Cd) ήταν η ολική περιεκτικότητά τους.

Οι Kelepertzis et al. (2016) στο άρθρο τους αναφέρουν ότι ο μόλυβδος στα εδάφη της πρωτεύουσας είναι ένα μείγμα από Pb τοπικού εδαφικού υποβάθρου και Pb που προέρχεται από την επαναιώρηση σωματιδίων που εναποτέθηκαν από παλαιότερες εκπομπές καυσαερίων οχημάτων μολυβδούχου βενζίνης. Επιπρόσθετα τονίζουν πως η συμβολή των γεωγενών μητρικών υλικών στο συνολικό Pb του εδάφους μπορεί να είναι πιο σημαντική από ό,τι θεωρούνταν προηγουμένως στην περίπτωση μέτρια αυξημένων συνολικών συγκεντρώσεων Pb.

7.1.1.2. Θριάσιο πεδίο

Οι αναλύσεις των Massas et al. (2013), Gasparatos et al. (2015) και Antoniadis et al. (2017), έδειξαν ότι παρότι οι συνολικές συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος δεν θεωρήθηκαν ανησυχητικά υψηλές, τοπικές περιοχές παρουσίασαν μέτριο έως έντονο εμπλουτισμό του εδάφους σε βαρέα μέταλλα. Αυτή η μεταβλητότητα φανερώνει ότι, ενώ ορισμένες περιοχές μπορεί να μην παρουσιάζουν εκτεταμένη ρύπανση, συγκεκριμένες θέσεις, ιδίως εκείνες που βρίσκονται κοντά σε ανθρωπογενείς πηγές, παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα PTEs.

Πιο συγκεκριμένα, η αυξημένη διαθεσιμότητα μετάλλων όπως Pb, Zn, Cu, Cr και Ni σε ορισμένα μέρη της περιοχής μελέτης ενέχει σημαντικούς περιβαλλοντικούς και υγειονομικούς κινδύνους. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων μετάλλων σε συγκεκριμένες θέσεις δειγματοληψίας, ενδεικτική πρόσφατων επεισοδίων ρύπανσης, υποδηλώνει ότι τόσο οι ιστορικές όσο και οι τρέχουσες δραστηριότητες εξακολουθούν να επηρεάζουν την ποιότητα του εδάφους. Το ενδεχόμενο αυξημένης διαθεσιμότητας μετάλλων υπό ορισμένες εδαφικές συνθήκες επιδεινώνει περαιτέρω τον κίνδυνο εξάπλωσης της ρύπανσης, επηρεάζοντας τους υπόγειους υδάτινους πόρους και την χλωρίδα.

Ειδικότερα, τα Cd, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn αναδείχθηκαν ως παράγοντες που συμβάλλουν στους κινδύνους για την υγεία, ενώ μόνο το As αντιπροσωπεύει το πιο σημαντικό μέρος του κινδύνου (περισσότερο από το 50 % του συνολικού κινδύνου για την υγεία που σχετίζεται ως επί το πλείστον με την άμεση κατάποση του εδάφους, δηλαδή την από του στόματος πρόσληψη μέσω της σκόνης) (Antoniadis et al., 2017).

7.1.1.3. Λαύριο

Η έρευνα των Antoniadis et al. (2022) σε μία περιοχή γνωστή για τα αρχαία ορυχεία αργύρου και μολύβδου, έδωσε τα αναμενόμενα αποτελέσματα για την ρύπανση του εδάφους από βαρέα μέταλλα. Τα Ag, As, Cd, Pb, Sb, Tl και Zn βρέθηκαν σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα με σημαντικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Επισημαίνεται ότι δεν υπάρχει επαρκής βιβλιογραφία που να περιγράφει λεπτομερώς παρόμοια ευρήματα. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως ο εμπλουτισμός αυτών των PTEs είναι γεωγενούς προέλευσης, εφόσον η περιοχή εξακολουθεί να παρουσιάζει αφθονία ορυκτών που εξαρχής προσέλκυσαν τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Όσον αφορά τον κίνδυνο για την υγεία, αναφέρεται πως το As εμφανίζεται ως το στοιχείο με τον υψηλότερο κίνδυνο, με HQ 0,103 και κίνδυνος καρκίνου από την έκθεση ανυπολόγιστα υψηλός, πολύ πέρα από το όριο του 1×10^{-4} . Τα επόμενα εξαιρετικά επιβλαβή στοιχεία κρίθηκαν το κάδμιο, με HQ 0,063, ο μόλυβδος με HQ 0,048 και τέλος το νικέλιο με HQ 0,048 και ο υδράργυρος (HQ = 0,035). Τέλος, οι συγγραφείς προσθέτουν πως το υπόγειο νερό αναφέρεται ότι είναι ρυπασμένο από PTEs, που αποδεικνύεται από τα ρυπασμένα ιζήματα των ποταμών.

7.1.2. Θεσσαλονίκη

Τα παρατηρούμενα δεδομένα υποδεικνύουν σημαντική ανθρωπογενή επίδραση στην αύξηση ορισμένων βαρέων μετάλλων (Cd, Bi, Pb, Cr, As και Zn) στο περιβάλλον (Bourliva et al., 2021).

Οι μέσες συγκεντρώσεις των περισσότερων μετάλλων, με εξαίρεση το Mn, ήταν σημαντικά υψηλότερες από τα επίπεδα υποβάθρου, αναδεικνύοντας τον σημαντικό αντίκτυπο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, όπως επισημαίνουν οι Bourliva et al. (2018), οι συγκεντρώσεις Cu, Pb και Zn εντοπίστηκαν υπερτριπλάσιες, υπογραμμίζοντας τη συμβολή των εκπομπών των οχημάτων, της καύσης πετρελαίου και καυσίμων και των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, οι οποίες συνολικά ευθύνονται για το 73% περίπου της παρατηρούμενης διακύμανσης των συγκεντρώσεων των μετάλλων.

Οι συγγραφείς συνηγορούν στο ότι οι περιοχές με έντονα αυξημένες συγκεντρώσεις, ιδίως γύρω από μεγάλους οδικούς κόμβους και περιοχές με υψηλή κυκλοφορία, παρουσίασαν σημαντική επίδραση από ανθρωπογενείς πηγές, με τα Cr, Cu, Fe και Zn να προέρχονται κυρίως από τη φθορά των ελαστικών και των φρένων και τα Cd, Mn και Pb από διαρροές καυσίμων/πετρελαίου, καθώς και από λιπαντικά πετρελαίου και τριβή οχημάτων. Ενώ οι τιμές του συντελεστή κινδύνου για τα παιδιά υποδηλώνουν χαμηλότερο κίνδυνο από την κατάποση σκόνης του οδοστρώματος, ο δείκτης κινδύνου για τον Pb πλησίασε το ασφαλές επίπεδο, αποτελώντας έναν αξιοσημείωτο κίνδυνο από αυτό το ιδιαίτερα τοξικό μέταλλο (Bourliva et al., 2017). Ωστόσο, ο κίνδυνος καρκίνου από την έκθεση σε Cd, Cr και Ni στην οδική σκόνη κρίθηκε εξαιρετικά χαμηλός (Bourliva et al., 2017).

Έμφαση δίνεται στις μετεωρολογικές συνθήκες, που όπως αναφέρεται στην μελέτη των Bourliva et al. (2018), κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού συνέβαλαν στη συσσώρευση, ιδίως του Cu και του Cr. Τέλος, στην πιο πρόσφατη έρευνα των Golia et al. (2023) σε αστικά εδάφη από δημόσιους χώρους πρασίνου, εκτιμήθηκε πως ο κίνδυνος για τους κατοίκους μέσω της στοματικής και της δερματικής οδού ήταν αποδεκτός σε κάθε περίπτωση, αλλά ο κίνδυνος για τα παιδιά, τα οποία

συνήθως έχουν μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με τους χώρους αυτούς, ήταν δέκα φορές και δύο φορές υψηλότερος από τον κίνδυνο για τους ενήλικες μέσω της στοματικής και της δερματικής οδού, αντίστοιχα.

7.1.3. Θεσσαλία

Η ανάλυση των συγκεντρώσεων μετάλλων στις μελέτες που επικεντρώθηκαν στην πόλη του Βόλου, αναδεικνύει ένα πολύπλευρο σενάριο αστικής ρύπανσης, που χαρακτηρίζεται από μια αυξητική τάση των συγκεντρώσεων μετάλλων με την πάροδο των ετών.

Η περίοδος της πανδημίας COVID-19, επηρέασε περαιτέρω τις συγκεντρώσεις, αφενός λόγω της μειωμένης δραστηριότητας των οχημάτων και αφετέρου λόγω της παρατεταμένης χρήσης των διάφορων τρόπων θέρμανσης (Aslanidis and Golia, 2022).

Παρόλο που οι συγκεντρώσεις Ni και Zn υπερέβησαν ορισμένα ρυθμιστικά όρια, χωρίς να αποτελούν άμεσο κίνδυνο για τον άνθρωπο στα παρατηρούμενα επίπεδα, η συνολική παρουσία δυνητικά τοξικών στοιχείων (PTEs) στα δείγματα εδάφους παρέμεινε κάτω από τις μέγιστες τιμές που επιτρέπει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Aslanidis and Golia EE, 2022; Golia et al., 2021). Το νικέλιο στην περιοχή του Βόλου, βρίσκεται σε αυξημένες συγκεντρώσεις στην λιθόσφαιρα (Antoniadis et al., 2019). Αυτή η ανταπόκριση υποδηλώνει ένα διαχειρίσιμο επίπεδο ρύπανσης του αστικού εδάφους, παρά τη συνεχή αύξηση συγκεκριμένων μετάλλων όπως το Cd, που μερικές φορές ξεπερνά τα κρίσιμα όρια του εδάφους (Golia et al., 2015). Στο σύνολό τους οι μελέτες προσδιορίζουν τις εκπομπές των οχημάτων ως σημαντική πηγή ανθρωπογενούς ρύπανσης, ιδίως για το Pb και το Zn, με τη σκόνη των δρόμων και των σπιτιών να λειτουργεί ως ευαίσθητος δείκτης για την εν λόγω ρύπανση (Kelepertzis et al, 2020).

Στην έρευνα των Golia et al. (2019), η ταξινόμηση του εδάφους φάνηκε να παίζει σημαντικό ρόλο στην επίδραση της συγκέντρωσης των PTEs, καθώς επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του. Οι συγγραφείς καταδεικνύουν την ταχεία αστική επέκταση, τις αυξημένες βιομηχανικές δραστηριότητες και τις γεωργικές πρακτικές ως κύριους ρυπαντές που έχουν ρυπάνει τα εδάφη σε ποικίλους βαθμούς, γεγονός που αποτελεί ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα μεγάλης ανησυχίας.

7.1.4. Θήβα

Η Αντωνοπούλου (2020) κατέληξε στο ότι τα αστικά επιφανειακά εδάφη εντός της πόλης δεν παρουσιάζουν σημαντική ρύπανση από βαρέα μέταλλα ανθρωπογενούς προέλευσης. Τα επίπεδα μαγγανίου (Mn), χαλκού (Cu) και ψευδαργύρου (Zn) βρίσκονται εντός ασφαλών ορίων, επομένως έχουν υποστεί ελάχιστη ρύπανση. Παρόλα αυτά, εντοπίστηκε μικρή παρουσία μολύβδου (Pb) και σημαντική ρύπανση από χρώμιο (Cr) και νικέλιο (Ni). Αυτές οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων προέρχονται κατά κύριο λόγο από γεωγενείς πηγές και αποδίδονται στη μετατροπή των πλούσιων σε ιχνοστοιχεία υπερμαφικών πετρωμάτων της περιοχής. Στην μελέτη τονίζεται ότι καθώς τα μέταλλα αυτά συνδέονται με αναπνευστικές παθήσεις, αποτελούν τα δυνητικά μείζονα στοιχεία κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία και οι πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις τους χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

7.2. Αποτελέσματα ανά στοιχείο

7.2.1. Μόλυβδος (Pb)

Πίνακας 8. Συγκεντρώσεις μολύβδου σε κάθε έρευνα

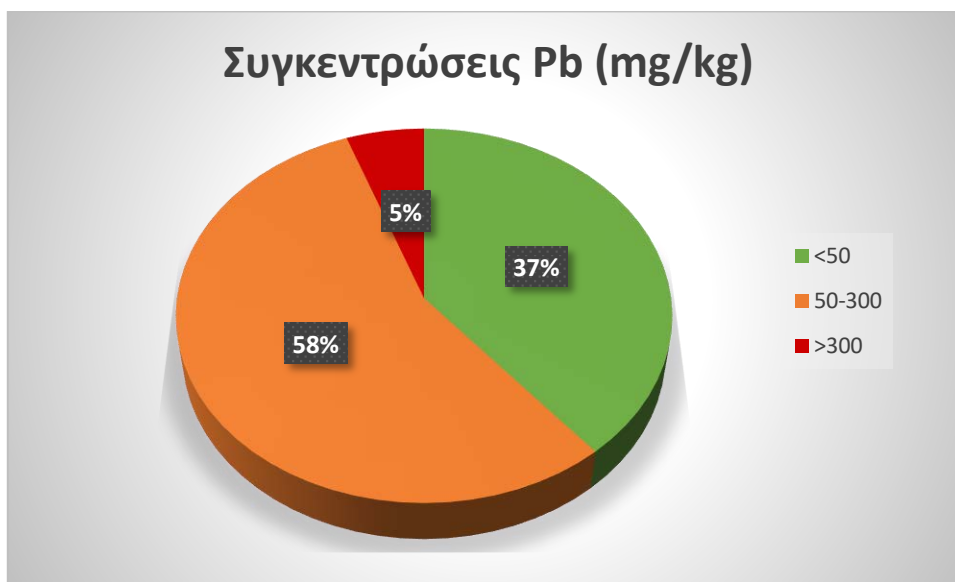
Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	36,39
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	7844
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	30,2
Golia et al., 2021	Βόλος	35,94
Αντωνοπούλου, 2020	Θήβα	32,06
Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	116
Golia et al., 2019	Θεσσαλία	4,9
Bourliva et al., 2018	Θεσσαλονίκη	182,04
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	275,9
Bourliva et al., 2017	Θεσσαλονίκη	209
Papazotos et al., 2017	Αθήνα	59
Φλίγκος, 2017	Αθήνα	53
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	106
Χρυσοστομίδης, 2016	Αθήνα	27
Gasparatos et al., 2015	Θριάσιο πεδίο	120
Golia et al., 2015	Αλμυρός	9,8
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	157
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	157
Argyaki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	77
Massas et al., 2013	Θριάσιο πεδίο	129,1

Το Λαύριο ξεχωρίζει με την υψηλότερη συγκέντρωση Pb (7844,0 mg/kg), που αποδίδεται στις μακράιωνες μεταλλευτικές του δραστηριότητες. Η αξιοσημείωτη διακύμανση των τιμών σε σχέση με την χαμηλότερη συγκέντρωση που εντοπίζεται στην Θεσσαλία, υπογραμμίζει τις

ποικίλες πηγές και βαθμούς ρύπανσης, που επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από ιστορικούς, βιομηχανικούς και αστικούς παράγοντες ανάπτυξης που χαρακτηρίζουν κάθε περιοχή.

Στον Βόλο και τη Θεσσαλονίκη, τα δεδομένα δείχνουν ότι οι αστικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών οχημάτων και της εγγύτητας σε κόμβους μεταφορών (λιμάνια, σταθμούς τρένων και λεωφορείων), αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπανσης από Pb. Αυτό ευθυγραμμίζεται με τις παγκόσμιες αντιλήψεις για τη δυναμική της αστικής ρύπανσης, όπου οι μεταφορές και οι βιομηχανικές δραστηριότητες κοντά στα κέντρα των πόλεων συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση του εδάφους.

Σε πολλές περιοχές, οι συγκεντρώσεις του Pb συχνά υπερβαίνουν τα ασφαλή όρια που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλους ρυθμιστικούς φορείς, υποδεικνύοντας δυνητικούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Αυτό απαιτεί συνεχή παρακολούθηση, συμβουλές για τη δημόσια υγεία και παρεμβάσεις για τον μετριασμό της έκθεσης, ιδίως σε ιδιαίτερα ρυπασμένες περιοχές όπως το Λαύριο.



Σχήμα 10: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης μολύβδου (mg/kg) στο έδαφος σε κλάσεις. Το % ποσοστό απαντά στις έρευνες που μελετήθηκαν.

Όσον αφορά την κατανομή των συγκεντρώσεων του Pb σε 3 κλάσεις και το ποσοστό των ερευνών σε κάθε μία, πάνω από τις μισές έρευνες σημείωσαν τιμές στα επιτρεπτά όρια (50 – 300 mg/kg, 10 από τις 19). Το ποσοστό των ερευνών στις οποίες οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0 έως 50 ήταν 37% και εκείνο άνω της οριακής τιμής, ένα ελάχιστο 5% που αφορά στην περιοχή του Λαυρίου.

7.2.2. Ψευδάργυρος (Zn)

Πίνακας 9. Συγκεντρώσεις ψευδαργύρου σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Golia et al., 2023	Θεσσαλονίκη	95,11
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	6458
Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	144,32
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	74,5
Golia et al., 2021	Βόλος	131,02
Αντωνοπούλου, 2020	Θήβα	61,05
Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	271
Golia et al., 2019	Θεσσαλία	17,3
Bourliva et al., 2018	Θεσσαλονίκη	818,92
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	731,5
Bourliva et al., 2017	Θεσσαλονίκη	452,80
Papazotos et al., 2017	Αθήνα	105
Φλίγκος, 2017	Αθήνα	83
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	146
Χρυσοστομίδης, 2016	Αθήνα	45
Gasparatos et al., 2015	Θριάσιο πεδίο	160,4
Golia et al., 2015	Αλμυρός	29,8
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	174

Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	174
Argyaki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	122
Massas et al., 2013	Θριάσιο πεδίο	177,2

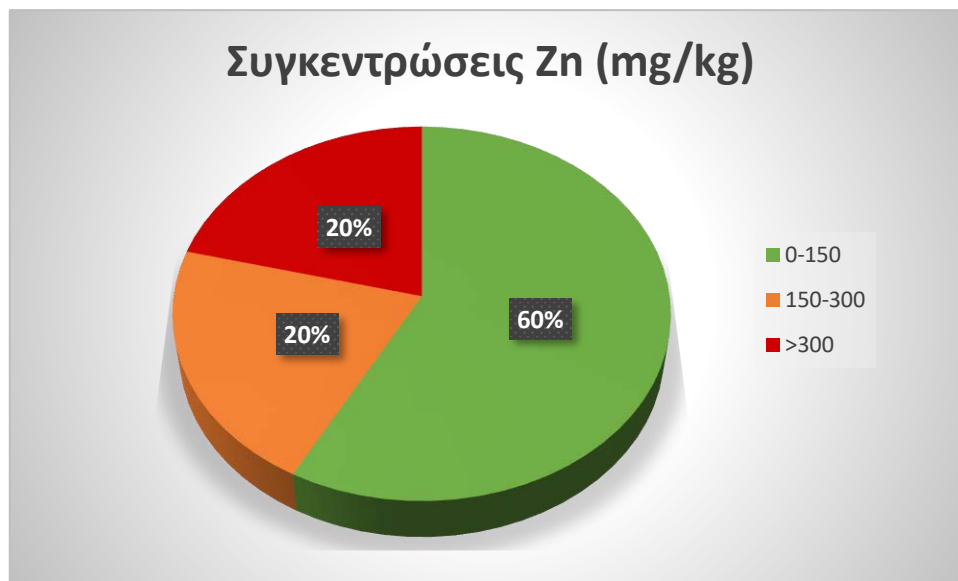
Η συγκριτική ανάλυση αποκαλύπτει ένα ευρύ φάσμα ρύπανσης από Zn σε διάφορες περιοχές. Το Λαύριο ξεχωρίζει με κρίσιμα υψηλά επίπεδα λόγω της μεταλλευτικής κληρονομιάς του. Το επίπεδο αυτό (6458 mg/kg) όχι μόνο ξεπερνά τις τυπικές συγκεντρώσεις στο αστικό έδαφος, αλλά εγκυμονεί και σημαντικούς κινδύνους για την υγεία, αναδεικνύοντας την ανάγκη αποκατάστασης και εκτίμησης των κινδύνων για την υγεία στην περιοχή. Ο Βόλος, η Θεσσαλονίκη και η Αθήνα παρουσιάζουν μέτρια έως σημαντική ρύπανση που συνδέεται με αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες.

Λεπτομερέστερα, τα δείγματα της Αθήνας και συγκεκριμένα εκείνα του αστικού επιφανειακού εδάφους, παρουσιάζουν συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 45 mg/kg έως 174 mg/kg και αντικατοπτρίζουν την αστικοποίηση της πόλης και τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας των οχημάτων.

Όσον αφορά τη Θεσσαλονίκη, οι συγκεντρώσεις στις δημόσιες παιδικές χαρές (74,5 mg/kg) και στην οδική σκόνη (818,92 mg/kg) υποδηλώνουν τη μεταβλητή επίδραση των αστικών δραστηριοτήτων, από μέτρια στις παιδικές χαρές έως υψηλή σε περιοχές με έντονη κυκλοφορία οχημάτων. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι ο κίνδυνος έκθεσης των παιδιών στις παιδικές χαρές μπορεί να είναι χαμηλότερος σε σύγκριση με την πιθανή έκθεση από τη σκόνη των δρόμων, όπου οι εκπομπές των οχημάτων και η φθορά των ελαστικών συμβάλλουν σημαντικά στα επίπεδα Zn.

Με συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν στα 144,32 mg/kg και 131,02 mg/kg σε διάφορους χώρους πρασίνου και κοντά σε βιομηχανικές περιοχές, ο Βόλος παρουσιάζει ενδείξεις μέτριας έως σημαντικής ανθρωπογενούς επίδρασης.

Χαμηλότερες συγκεντρώσεις στον Αλμυρό (29,8 mg/kg) και σε τμήματα του Θριάσιου πεδίου (160,4 mg/kg και 177,2 mg/kg) υποδηλώνουν ποικίλα επίπεδα ρύπανσης, που κυμαίνονται από ελάχιστα έως μέτρια. Οι διακυμάνσεις αυτές θα μπορούσαν να αποδοθούν σε διαφορετικά πρότυπα χρήσης γης, βιομηχανικές δραστηριότητες και στην αποτελεσματικότητα των τοπικών μέτρων ελέγχου της ρύπανσης. Ωστόσο η συγκέντρωση του 731,5 mg/kg κοντά στο οδικό δίκτυο, υποδεικνύει σημαντική ρύπανση, η οποία πιθανότατα επηρεάζεται από τις βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες που επικρατούν στην περιοχή αυτή. Έτσι προκύπτει μια περιβαλλοντική ανησυχία για τις επιρροές της ρύπανσης στον τοπικό βιόκοσμο και τα υπόγεια ύδατα, αναδεικνύοντας την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις.



Σχήμα 11: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Zn (mg/kg) στο έδαφος σε κλάσεις. Το % ποσοστό απευθύνεται στις έρευνες που μελετήθηκαν.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 10 για την κατανομή των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου σε 3 κλάσεις και το ποσοστό των ερευνών που ανήκει σε κάθε μία, πάνω από τις μισές έρευνες σημείωσαν τιμές έως 150 mg/kg (11 από τις 20). Το ποσοστό των ερευνών στις οποίες οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 150 μέχρι 300, δηλαδή εντός των θεσπισμένων οριακών και εκείνο στις οποίες υπερβαίνουν τα όρια, είναι το ίδιο (4 και 4 αντίστοιχα).

7.2.3. Χρώμιο (Cr)

Πίνακας 10. Συγκεντρώσεις χρωμίου σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	120,27
Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	96,89
Αντωνοπούλου, 2020	Θήβα	267,47
Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	217
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	145
Golia et al., 2021	Βόλος	93,24

Golia et al., 2019	Θεσσαλία	24,6
Bourliva et al., 2018	Θεσσαλονίκη	149,7
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	233,2
Bourliva et al., 2017	Θεσσαλονίκη	104,9
Papazotos et al., 2017	Αθήνα	270
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	82
Χρυσοστομίδης, 2016	Αθήνα	47
Gasparatos et al., 2015	Θριάσιο πεδίο	89,3
Golia et al., 2015	Αλμυρός	39,2
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	95,4
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	95,4
Argyaki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	163
Kelepertzis and Stathopoulou, 2013	Θήβα	284
Massas et al., 2013	Θριάσιο πεδίο	80

Ενώ ορισμένες περιοχές, όπως η Θήβα και το Λαύριο, παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις λόγω συγκεκριμένων τοπικών παραγόντων, άλλες, όπως ο Αλμυρός, παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα, γεγονός που σημαίνει μικρότερη ανθρωπογενή επίδραση.

Η Θήβα κατέγραψε την υψηλότερη συγκέντρωση Cr (267,47 mg/kg) μεταξύ των περιοχών που μελετήθηκαν, ιδίως στα επιφανειακά εδάφη των αστικών πάρκων. Αυτό το αυξημένο επίπεδο θα μπορούσε να αποδοθεί σε τοπικές βιομηχανικές δραστηριότητες ή στη χρήση υλικού πλήρωσης για τη διαμόρφωση του αστικού τοπίου. Η παρουσία υπερμαφικών πετρωμάτων στην περιοχή, γνωστών για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε αντίστοιχα ιχνοστοιχεία, θα μπορούσε επίσης να συμβάλει στα φυσικά γεωγενετικά επίπεδα υποβάθρου του χρωμίου.

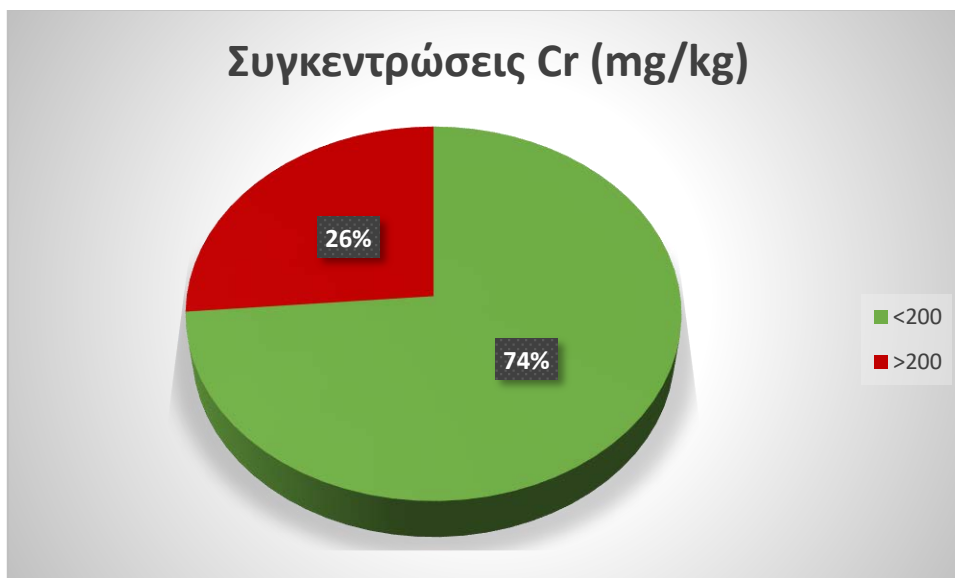
Ο Αλμυρός παρουσίασε τη χαμηλότερη συγκέντρωση (39,2 mg/kg), η οποία μπορεί να αντανakλά ελάχιστη βιομηχανική δραστηριότητα ή αποτελεσματικές πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης στην περιοχή. Τα χαμηλότερα επίπεδα θα μπορούσαν επίσης να φανερώσουν

περιορισμένη κυκλοφορία οχημάτων και μικρότερη επίδραση γεωγενών πηγών σε σύγκριση με άλλες περιοχές.

Η Θεσσαλονίκη και το Λαύριο παρουσίασαν παρόμοιες συγκεντρώσεις (145 - 149,7 mg/kg και 120,27 mg/kg αντίστοιχα). Τα αυξημένα επίπεδα στο Λαύριο είναι πιθανόν να οφείλονται στις παλαιότερες δραστηριότητες εξόρυξης και τήξης, που άφησαν κληρονομιά ρύπανσης του εδάφους από βαρέα μέταλλα. Τα υψηλότερα επίπεδα που συναντώνται στις δημόσιες παιδικές χαρές της Θεσσαλονίκης και στη σκόνη των δρόμων προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την αστική πυκνότητα και τις κυκλοφοριακές εκπομπές.

Στην πόλη του Βόλου οι συγκεντρώσεις χρωμίου εμφανίζονται μέτριες και μπορούν να αποδοθούν στις βιομηχανικές δραστηριότητες, την εγγύτητα στο λιμάνι και την αστική κυκλοφορία, που συνιστούν ανθρωπογενείς πηγές.

Στον Θριάσιο κάμπο και την Αθήνα, παρατηρείται διακύμανση των τιμών των συγκεντρώσεων χρωμίου ανά τα άρθρα, με τιμές από 80 έως 233,2 mg/kg και 95,4 έως 163 mg/kg αντίστοιχα. Η διαφοροποίηση αυτή για το Θριάσιο πεδίο αποτελεί μία καλή εικόνα των βιομηχανικών και γεωργικών επιπτώσεων στην ποιότητα του εδάφους, με τις περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις να παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα. Αντιθέτως για την Αθήνα, επισημαίνουν αφενός τις επιρροές των συγκοινωνιών και της αυξημένης ανθρωπογενούς παρέμβασης, αφετέρου αντανακλούν την επίδραση της γεωλογίας της.



Σχήμα 12: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Cr (mg/kg) στο έδαφος σε κλάσεις. Το % ποσοστό απευθύνεται στις έρευνες που μελετήθηκαν.

Για την κατανομή των συγκεντρώσεων του χρωμίου στις έρευνες που μελετάται, η εικόνα είναι θετική, εφόσον το 74% αυτών αναφέρουν τιμές κάτω των ορίων της ΕΕ (14 από τις 19) και εκείνες που το υπερβαίνουν φθάνουν το 26% (υπολειπόμενες 5). Από αυτές οι 2 είναι για την πόλη της Θήβας, με τους συγγραφείς να εντοπίζουν παρόμοιες τιμές (284 και 267,47) με διαφορά 7 ετών (2013 και 2020).

7.2.4. Αρσενικό (As)

Πίνακας 11. Συγκεντρώσεις αρσενικού σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	1522,3
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	6,89
Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	17,2
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	57,4
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	27
Golia et al., 2015	Αλμυρός	2,1
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	43,2
Argyraki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	29

Τα δεδομένα των συγκεντρώσεων αρσενικού παρουσιάζουν ένα εντυπωσιακό εύρος. Η τιμή των 1522,3 mg/kg στο Λαύριο αγγίζει ανησυχητικά υψηλά επίπεδα, τα οποία ξεπερνούν σημαντικά τα τυπικά περιβαλλοντικά όρια.

Τα δείγματα στην Θεσσαλονίκη και τον Αλμυρό παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές (6,89 και 2,1 mg/kg), ενώ στον Βόλο η ρύπανση από As εντοπίστηκε σε μέτρια επίπεδα.

Στον Θριάσιο κάμπο τα 57,4 mg/kg είναι σαφώς υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με το Βόλο και τη Θεσσαλονίκη, αλλά σημαντικά χαμηλότερη από το Λαύριο και τέλος στην Αθήνα, οι τιμές των συγκεντρώσεων As μεταξύ των 29 και 43,2 mg/kg, παρότι παρομοίως όχι τόσο υψηλά, αποτελούν ένα καλό δείγμα της παρουσίας του μετάλλου στο αστικό κέντρο.

7.2.5. Χαλκός (Cu)

Πίνακας 12. Συγκεντρώσεις χαλκού σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Golia et al., 2023	Θεσσαλονίκη	86,87
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	166,01

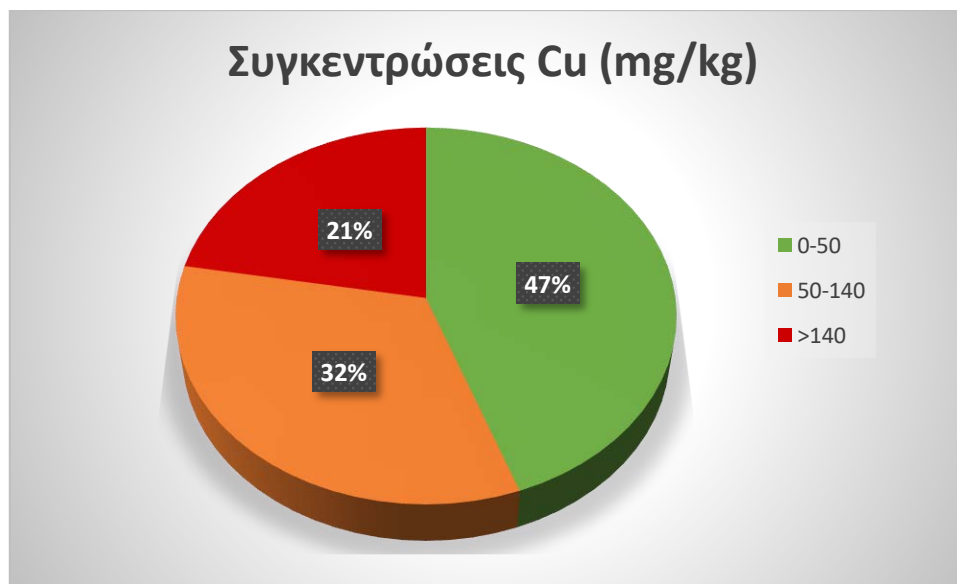
Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	55,08
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	17,4
Golia et al., 2021	Βόλος	53,91
Αντωνοπούλου, 2020	Θήβα	18,48
Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	88,8
Golia et al., 2019	Θεσσαλία	21,9
Bourliva et al., 2018	Θεσσαλονίκη	482,92
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	732,9
Bourliva et al., 2017	Θεσσαλονίκη	662,3
Papazotos et al., 2017	Αθήνα	44
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	59
Χρυσοστομίδης, 2016	Αθήνα	17
Gasparatos et al., 2015	Θριάσιο πεδίο	42
Golia et al., 2015	Αλμυρός	34,8
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	72,3
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	72,3
Argyaki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	48
Massas et al., 2013	Θριάσιο πεδίο	43,2

Ο Θριάσιος κάμπος, με συγκέντρωση χαλκού που φθάνει τα 732,9 mg/kg, αντιπροσωπεύει την κορυφαία ρύπανση, που δικαιολογείται από την εκβιομηχάνιση της πεδιάδας με υποδομές που συνδέονται άρρηκτα με βιομηχανικές απορρίψεις, αστικές απορροές και πιθανώς γεωργικές πρακτικές. Το επίπεδο αυτό τονίζει την επείγουσα ανάγκη για προσπάθειες αποκατάστασης και αυστηρότερους ελέγχους ρύπανσης σε έντονα βιομηχανικές και αστικοποιημένες περιοχές.

Ακολουθούν η Θεσσαλονίκη, ο Βόλος και η Αθήνα, με τιμές που κυμαίνονται από 17,4 mg/kg σε δημόσιες παιδικές χαρές μέχρι 482,92 mg/kg σε σκόνη που προέρχεται από τους δρόμους, 55,08

mg/kg και 88,8 mg/kg και 48 mg/kg έως 72,3 mg/kg. Οι εν λόγω συγκεντρώσεις δεν παύουν να δηλώνουν τη σημασία της αντιμετώπισης της ρύπανσης από μη σημειακές πηγές στον αστικό σχεδιασμό και τη διαχρονική πρόκληση της διαχείρισής της.

Ο Αλμυρός και σε αυτή την περίπτωση είναι η περιοχή με την μικρότερη ρύπανση, 34,8 mg/kg.



Σχήμα 13: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης Cu (mg/kg) στο έδαφος σε κλάσεις. Το επί τοις εκατό ποσοστό αφορά τις έρευνες που μελετήθηκαν.

Στο σχήμα 12 παρουσιάζεται η κατανομή των συγκεντρώσεων του χαλκού σε 3 κλάσεις και το ποσοστό των ερευνών που ανήκει σε κάθε μία. Στο 47%, οι συγκεντρώσεις ήταν μεταξύ 0 και 50 mg/kg (9 από τις 19 μελέτες) και σε ποσοστό 32% (6 εκ των 19) οι τιμές καθορίστηκαν μεταξύ των 50 και των 140 mg/kg. Ένα 21% αυτών (4) εμφανίζει συγκεντρώσεις άνω των 140 mg/kg, που έχει οριστεί ως οριακή συγκέντρωση από την ΕΕ.

7.2.6. Κάδμιο (Cd)

Πίνακας 13. Συγκεντρώσεις καδμίου σε κάθε έρευνα

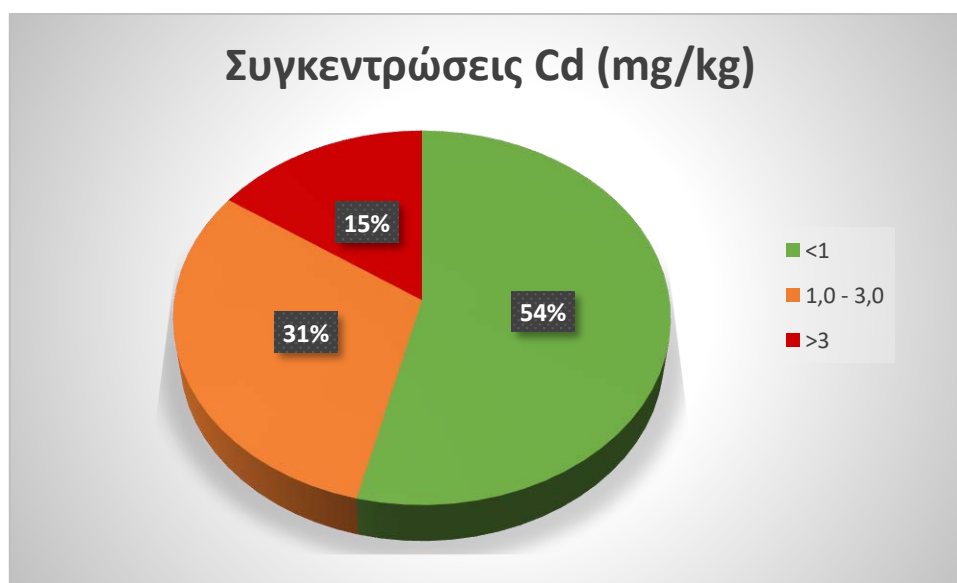
Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	39,59
Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	0,88
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	0,27
Golia et al., 2021	Βόλος	0,94

Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	0,57
Golia et al., 2019	Θεσσαλία	2,9
Bourliva et al., 2018	Θεσσαλονίκη	1,24
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο Πεδίο	2,6
Bourliva et al., 2017	Θεσσαλονίκη	1,76
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	0,37
Golia et al., 2015	Αλμυρός	3,3
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	0,45
Argyraki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	0,4

Η εξαιρετικά υψηλή συγκέντρωση Cd συντάται στο Λαύριο (39,59 mg/kg) και είναι εκτός σύγκρισης με τις υπόλοιπες περιοχές μελέτης, σηματοδοτώντας ένα κρίσιμο επίπεδο ρύπανσης και κατ' επέκταση απειλή για την ανθρώπινη υγεία.

Σε μέτρια επίπεδα κινούνται οι συγκεντρώσεις που υπολογίστηκαν στις μελέτες για τον Βόλο (0,88 mg/kg, 0,94 mg/kg και 0,57 mg/kg), τη Θεσσαλονίκη (0,27 mg/kg στις δημόσιες παιδικές χαρές και 1,76 mg/kg στα δείγματα οδικής σκόνης), το Θριάσιο πεδίο (2,6 mg/kg) και τον Αλμυρό (3,3 mg/kg). Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι χαρακτηριστικές των αστικών πηγών ρύπανσης, της εγγύτητας σε βιομηχανικές ζώνες και του γεωλογικού υποβάθρου των περιοχών.

Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις Cd παρατηρήθηκαν στην Αθήνα (0,4 mg/kg και 0,45 mg/kg).



Σχήμα 14: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης καδμίου (mg/kg) στο έδαφος σε κλάσεις. Το επί τοις εκατό ποσοστό αναφέρεται στις έρευνες που μελετήθηκαν.

Στο παραπάνω σχήμα είναι κατανοητό πως στο μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών καταγράφηκαν τιμές που είτε συμμορφώνονται με τα όρια της ΕΕ για το κάδμιο, είτε βρίσκονται εντός αυτών (7 και 4 μελέτες από τις 13 στις οποίες αναφέρεται το μέταλλο, αντίστοιχα). Μόνο το 15% φαίνεται να ξεπέρασε το όριο των 3 mg/kg, το οποίο σημαίνει μόλις 2 εκ των 13. Η μία συγκέντρωση είναι η ελαφρώς αυξημένη που σημειώνεται στον Αλμυρό από τους Golia, E. E., Dimirkou, A. and Floras, St. A. (2015) στα 3,3 mg/kg και η άλλη, η αναμενόμενη εξαιρετικά αυξημένη συγκέντρωση (39,59 mg/kg) στο Λαύριο.

7.2.7. Υδράργυρος (Hg)

Πίνακας 14. Συγκεντρώσεις υδραργύρου σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Golia et al., 2015	Αλμυρός	0,9
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	0,166

Η σύγκριση αποκαλύπτει ευδιάκριτες διαφορές στα επίπεδα υδραργύρου και στις πιθανές πηγές ρύπανσης μεταξύ Αλμυρού και Αθήνας για την ίδια χρονική περίοδο. Ο Αλμυρός ενδέχεται να υφίσταται σημαντικότερες επιπτώσεις είτε από φυσικές πηγές είτε από τοπικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες που συμβάλλουν στη συσσώρευση υδραργύρου στο έδαφος.

Η υψηλότερη συγκέντρωση στον Αλμυρό, αν και εξακολουθεί να είναι κάτω από τα μέγιστα επιτρεπόμενα επίπεδα, ενέχει δυνητικούς μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς κινδύνους και κινδύνους για την υγεία. Γι' αυτό τον λόγο, η περαιτέρω παρακολούθηση είναι απαραίτητη για την κατανόηση της τάσης αύξησης που παρατηρήθηκε από τους συγγραφείς κατά τα έτη της μελέτης τους. Αντίθετα, η χαμηλότερη συγκέντρωση στην Αθήνα υποδηλώνει μικρότερο άμεσο κίνδυνο, αλλά αναδεικνύει την ανάγκη για κατανόηση της πολυπλοκότητας των αστικών πηγών ρύπανσης για τον μετριασμό των επιπτώσεων του υδραργύρου στο αστικό υπόστρωμα.

7.2.8. Νικέλιο (Ni)

Πίνακας 15. Συγκεντρώσεις νικελίου σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	119,49

Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	67,28
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	36,4
Golia et al., 2021	Βόλος	67,28
Αντωνοπούλου, 2020	Θήβα	1570,24
Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	78,8
Golia et al., 2019	Θεσσαλία	16,2
Bourliva et al., 2018	Θεσσαλονίκη	133,45
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	145,3
Bourliva et al., 2017	Θεσσαλονίκη	89,43
Parazotos et al., 2017	Αθήνα	166
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	95
Χρυσοστομίδης, 2016	Αθήνα	49
Gasparatos et al., 2015	Θριάσιο πεδίο	102,8
Golia et al., 2015	Αλμυρός	19,8
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	131
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	131
Argyaki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	111
Kelepertzis and Stathopoulou, 2013	Θήβα	2022

Massas et al., 2013	Θριάσιο πεδίο	81,6
---------------------	---------------	------

Οι χαμηλότερες τιμές που εντοπίζονται στη Θεσσαλονίκη και συγκεκριμένα στα δείγματα των δημόσιων παιδικών χαρών (0,27 mg/kg), υποδεικνύουν ελάχιστες επιπτώσεις από τοπικές πηγές ρύπανσης και μια θετική εξέλιξη για τους χώρους που προορίζονται για δημόσια χρήση και μπορούν να είναι ασφαλείς, ιδίως για τα παιδιά. Εξίσου χαμηλές είναι και οι συγκεντρώσεις στις μελέτες που αφορούν τον Βόλο (0,88 mg/kg και 0,94 mg/kg).

Η Θήβα κατέχει την πρώτη θέση στις συγκεντρώσεις, με 2022 mg/kg, που ξεπερνούν κατά πολύ τις κανονιστικές οριακές τιμές. Πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η γεωλογία της περιοχής που επιβαρύνει τις τιμές, ωστόσο είναι κρίσιμη η παρακολούθηση της τάσης του νικελίου, καθώς ενέχει σημαντικούς κινδύνους για την υγεία.

Μέτρια ρύπανση σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές μελέτης παρουσιάζουν το Λαύριο, με 119,49 mg/kg, οι συγκεντρώσεις στο αστικό έδαφος της Αθήνας (131 mg/kg) και ο Θριάσιος κάμπος (2,6 mg/kg και 81,6 mg/kg).



Σχήμα 15: Κατανομή της διαθέσιμης συγκέντρωσης νικελίου (mg/kg) στο έδαφος σε κλάσεις. Το επί τοις εκατό ποσοστό αναφέρεται στις έρευνες που μελετήθηκαν.

Η σχηματική απεικόνιση καθιστά αντιληπτό το γεγονός ότι η συντριπτική πλειονότητα των περιοχών μελέτης εμφανίζει αυξημένες συγκεντρώσεις στο συγκεκριμένο μέταλλο, καθώς 13 εκ των 19 ερευνών κάνουν λόγο για τιμές άνω των επιτρεπτών ορίων (το 68%). Μόνο στο 11% παρατηρήθηκαν τιμές κάτω από τα όρια που έχει θέσει η ΕΕ και στο 21% εντός αυτών (2 και 4 έρευνες ανάμεσα στις 19, αντίστοιχα).

7.2.9. Κοβάλτιο (Co)

Πίνακας 16. Συγκεντρώσεις κοβαλτίου σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Antoniadis et al., 2022	Λαύριο	13,85
Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	23,37
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	11,9
Golia et al., 2021	Βόλος	22,56
Golia et al., 2019	Θεσσαλία	11,8
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	21
Κατρίτσης, 2016	Αθήνα	15
Χρυσοστομίδης, 2016	Αθήνα	11
Golia et al., 2015	Αλμυρός	14,5
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	17,2
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	17,2
Argyaki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	16
Kelepertzis and Stathopoulou, 2013	Θήβα	111
Massas et al., 2013	Θριάσιο πεδίο	23,4

Η Θήβα παρουσιάζει το υψηλότερο επίπεδο Co μεταξύ των μελετημένων περιοχών, με 111 mg/kg. Σε πλήρη αντίθεση έρχονται τα δείγματα από τις δημόσιες παιδικές χαρές της Θεσσαλονίκης (11,9 mg/kg) και της Αθήνας (11 mg/kg), δίνοντας μια καθησυχαστική εικόνα όσον αφορά το συγκεκριμένο στοιχείο για τους δημόσιους χώρους.

Αν και με βεβαρημένο ιστορικό εξορυκτικής δραστηριότητας, το Λαύριο παρουσιάζει μέτρια συγκέντρωση Co (13,85 mg/kg), η οποία θα μπορούσε να αποδοθεί σε προσπάθειες αποκατάστασης ή στην παύση των εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Σε παρόμοιες τιμές κινούνται

και οι συγκεντρώσεις στον Βόλο (23,37 mg/kg και 22,56 mg/kg) και στο Θριάσιο πεδίο (21 mg/kg και 23,4 mg/kg), στον Αλμυρό (14,5 mg/kg) και στην Αθήνα (17,2 mg/kg).

7.2.10. Μαγγάνιο (Mn)

Πίνακας 17. Συγκεντρώσεις μαγγανίου σε κάθε έρευνα

Συγγραφείς	Περιοχή μελέτης	Συγκέντρωση (mg/kg)
Aslanidis and Golia, 2022	Βόλος	666,78
Bourliva et al., 2021	Θεσσαλονίκη	724
Golia et al, 2021	Βόλος	663,71
Αντωνοπούλου, 2020	Θήβα	537,53
Kelepertzis et al., 2020	Βόλος	814
Golia et al., 2019	Θεσσαλία	19,8
Bourliva et al., 2018	Θεσσαλονίκη	295,89
Antoniadis et al., 2017	Θριάσιο πεδίο	748,1
Bourliva et al., 2017	Θεσσαλονίκη	336,40
Papazotos et al, 2017	Αθήνα	603
Χρυσοστομίδης, 2016	Αθήνα	272
Golia et al., 2015	Αλμυρός	22,5
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	662
Kelepertzis and Argyraki, 2015	Αθήνα	662
Argyraki and Kelepertzis, 2014	Αθήνα	587
Kelepertzis and Stathopoulou, 2013	Θήβα	993
Massas et al., 2013	Θριάσιο πεδίο	339,8

Η Θήβα παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση σε Mn, 993 mg/kg, που πιθανολογείται ότι είναι απόρροια της γεωλογικής προέλευσης του στοιχείου στην περιοχή, σε συνδυασμό με τις τοπικές γεωργικές πρακτικές. Αντιθέτως, τα δείγματα εδάφους της Θεσσαλίας εμφανίζουν την χαμηλότερη συγκέντρωση (19,8 mg/kg) μεταξύ των υπό μελέτη περιοχών. Αυτό θα μπορούσε να συνδεθεί με τους τύπους εδάφους που υπάρχουν στη Θεσσαλία, οι οποίοι μπορεί να περιέχουν φυσικά χαμηλότερα επίπεδα Mn, ή θα μπορούσε να αντανακλά επίσης μικρότερες επιπτώσεις από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες.

Η ομοιότητα στα δείγματα εδάφους του Βόλου (666,78 mg/kg, 663,71 mg/kg) και του αστικού εδάφους στην Αθήνα (662 mg/kg) παραπέμπει σε ευρεία αστική επίδραση στα επίπεδα Mn, όπως και στα δείγματα της Θεσσαλονίκης (724 mg/kg). Η εξίσου υψηλή συγκέντρωση στα δείγματα από το Θριάσιο πεδίο (748,1 mg/kg) οφείλεται στην επίδραση της βαριάς κυκλοφορίας και των βιομηχανικών εκπομπών.

Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η έρευνα για τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα αστικά εδάφη της Ελλάδας την τελευταία δεκαετία, αποκαλύπτει την επικράτηση των Pb, Zn, Cr, Ni, Cu, Mn, Cd και Co στην πλειονότητα των μελετών, ενώ η διερεύνηση για τη ρύπανση από As και Hg ανιχνεύεται σπάνια. Στο 65% των ερευνών σημειώθηκαν τιμές πάνω από τα προβλεπόμενα όρια για τα κοινά βαρέα μέταλλα στο έδαφος αστικών περιοχών, ενώ μόνο ένα 35% κατέγραψε τιμές χαμηλότερες από αυτά. Όσον αφορά την κατανομή των συγκεντρώσεων Pb, πάνω από τις μισές έρευνες κατέγραψαν τιμές εντός των επιτρεπόμενων ορίων, με 37% κάτω από αυτά και τουλάχιστον 5% πάνω από την οριακή τιμή. Για τον ψευδάργυρο, περισσότερες από τις μισές έρευνες κατέληξαν σε τιμές εντός των καθορισμένων ορίων, με ίσο ποσοστό να τις υπερβαίνει. Το χρώμιο είναι το μοναδικό στοιχείο στο οποίο οι συγκεντρώσεις στο μεγαλύτερο μέρος τους (74% των ερευνών) σημείωσαν τιμές κάτω από τα όρια της ΕΕ, ενώ αυτές του χαλκού διέφεραν, με ένα σημαντικό ποσοστό (21%) να υπερβαίνει τις οριακές συγκεντρώσεις. Παρόμοια εικόνα υπάρχει και για το κάδμιο, με 15% των συγκεντρώσεων να υπερβαίνει το όριο. Το νικέλιο είναι αναμφίβολα σημείο προβληματισμού, αφού το ποσοστό των ερευνών με συγκεντρώσεις ανώτερες των ορίων αγγίζει το 68%.

Σχετικά με τις πηγές της αστικής εδαφικής ρύπανσης, οι εκπομπές των οχημάτων εμφανίζονται ως ο κυριότερος ρυπαντής, τονίζοντας την ανάγκη για πρωτοβουλίες μείωσης της ρύπανσης στις μητροπολιτικές περιοχές. Ως εκ τούτου, καθιστά αναγκαία την εφαρμογή αυστηρότερων περιβαλλοντικών ελέγχων και στρατηγικών διαχείρισης της κυκλοφορίας, ώστε να ελεγχθούν οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν από την έκθεση, ιδίως για ευάλωτους πληθυσμούς, όπως τα παιδιά. Επιπλέον, η γειτνίαση των περιοχών με εκείνες υψηλής κυκλοφορίας υπογραμμίζει τη σημασία της κατάλληλης διαμόρφωσης του αστικού σχεδιασμού - για περαιτέρω μείωση της ρύπανσης από τις μεταφορές.

Ιδιαίτερη έμφαση χρειάζεται να δοθεί επίσης στις περιοχές με βαριά βιομηχανία, όπως και σε εκείνες με εκτενές ιστορικό μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, που εμφανίζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε αρκετά βαρέα μέταλλα στο έδαφος και επομένως η αποκατάσταση και συστηματική αξιολόγηση των κινδύνων για την υγεία κρίνονται απαραίτητες.

Ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν γεωγενή προέλευση για τα βαρέα μέταλλα στα αστικά εδάφη, ιδίως στην Αθήνα, όπου η τοπική γεωλογία πιθανολογείται ότι συμβάλλει στις υψηλότερες συγκεντρώσεις Ni, Cr, Co και As. Αυτή η διάκριση μεταξύ ανθρωπογενών και γεωγενών πηγών μπορεί να γίνει οδηγός για την ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών τόσο πρόληψης, όσο και αποκατάστασης.

Η σύγκριση των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στο έδαφος σε διάφορες ελληνικές πόλεις συνολικά, αναδεικνύει τις πιεστικές περιβαλλοντικές και υγειονομικές προκλήσεις που θέτει η ρύπανση του εδάφους. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί μια πολύπλευρη και ολιστική προσέγγιση, που συνδυάζει την επιστημονική έρευνα, τη δημόσια πολιτική, τη δέσμευση της κοινότητας και την περιβαλλοντική διαχείριση για την αποτελεσματική μείωση των επιπέδων ρύπανσης και την προστασία της δημόσιας υγείας. Οι στρατηγικές θα πρέπει να προσαρμόζονται στα μοναδικά περιβαλλοντικά και κοινωνικά πλαίσια κάθε περιοχής, με γνώμονα τη μείωση της έκθεσης των πολιτών, ιδίως των ευπαθών ομάδων και βέβαια την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και συλλογή δεδομένων, καθώς η κατανόηση του αστικού περιβάλλοντος συνεχίζει να εξελίσσεται. Προτείνεται η συνεχής καταγραφή και μελέτη των εν δυνάμει τοξικών στοιχείων στα εδάφη των ελληνικών πόλεων, έτσι ώστε να υπάρχει ελεγχόμενη παρακολούθηση των μεταβολών των συγκεντρώσεων, καθώς ίσως να υπάρξουν αλλαγές πέραν των αναμενόμενων. Η αυξητική τάση που παρατηρείται οφείλεται μεν στις ήδη υπάρχουσες ποσότητες που δεν αποικοδομούνται, ωστόσο μπορεί να αλλάξει δραματικά λόγω των κλιματικών συνθηκών. Λαμβάνοντας υπόψη την αναντίρρητη αλληλοεξάρτηση της κλιματικής αλλαγής και του εδάφους, γίνεται απτή και η διακύμανση της συσσώρευσης των εν δυνάμει τοξικών στοιχείων σε αυτά, καθώς οι εποχιακές εναλλαγές επηρεάζουν άμεσα την κινητικότητα και την βιοδιαθεσιμότητά τους. Καθώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες επιφέρουν αυξημένους ρυθμούς εξάτμισης άρα απώλεια εδαφικής υγρασίας και μειωμένη μικροβιακή δραστηριότητα, υπάρχει η πιθανότητα να ενισχύεται παράλληλα η απελευθέρωση των βαρέων μετάλλων, καθιστώντας τα πιο διαθέσιμα στους οργανισμούς. Αντιθέτως οι έντονες βροχοπτώσεις που οδηγούν σε απορροή και έκπλυση στοιχείων, ενδεχομένως συμπαρασύροντας τα επιβλαβή ιχνοστοιχεία, είναι σε θέση να ρυπάνουν κοντινά υδάτινα σώματα. Κρίνεται απαραίτητη λοιπόν, όχι μόνο η συστηματική παρακολούθηση της υγείας του εδάφους, αλλά επίσης και η εστίαση στις συγκεντρώσεις ανάλογα με την εποχή ή κατόπιν έντονων καιρικών φαινομένων, ώστε να είναι ξεκάθαρη η σχέση που περιγράφηκε και οι επερχόμενοι κίνδυνοι ρύπανσης.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Αντωνοπούλου, Μ. (2020). Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών αστικών πάρκων της 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, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Βόλος
- Ασλανίδης, Π., & Γκόλια, Ε. (2021). Αστική Ρύπανση και εν δυνάμει τοξικά στοιχεία κατά την περίοδο της COVID- 19. Μελέτη Περίπτωσης: Βόλος, Ελλάδα. Στο 12ο Πανελλήνιο Συνέδριο Της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, June 2022.
- Ζώττα, Ε. (2018). Συγκριτική Μελέτη Τεχνολογιών Φυτοεξυγίανσης Ρυπασμένων Εδαφών Από Βαρέα Μέταλλα. (Διπλωματική εργασία). Διαθέσιμο από: <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/40372>
- 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.
- Μπορμότης, Δ. (2023). Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για την βιοεξυγίανση των εδαφών. (Μεταπτυχιακή Εργασία Ειδίκευσης) Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
- Παπαδήμου, Σ. (2020). Μελέτη των επιπέδων βαρέων μετάλλων (Zn, Cu, Ni, Pb και Cd) σε εδαφικά δείγματα στο κέντρο της πόλης του Βόλου. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική και Γεωπονική Σχολή, Βόλος.
- Φλίγκος, Γ. (2017). Γεωχημική διασπορά μολύβδου και ψευδαργύρου σε επιφανειακά αστικά εδάφη των Αθηνών. (Διπλωματική εργασία). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- 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, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- Χρυσοστομίδης, Π. (2016). Διασπορά Βαρέων Μετάλλων σε Αστικά Εδάφη: η Περίπτωση του Πάρκου Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης Αντώνης Τρίτσης. Διπλωματική εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα.
- Ψαρομιχαλάκης, Α. (2015). Το έδαφος ως παράγοντας ανάπτυξης: προστασία, διαχείριση, αποκατάσταση (Διπλωματική εργασία) Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Abbas, G., Murtaza, B., Bibi, I., Shahid, M., Niazi, N. K., Khan, M. I., Amjad, M., Hussain, M., & Natasha (2018). Arsenic Uptake, Toxicity, Detoxification, and Speciation in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Aspects. *International journal of environmental research and public health*, 15(1), 59. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010059>
- Antoniadis, V., Golia, E. E., Shaheen, S. M., & Rinklebe, J. (2017). Bioavailability and health risk assessment of potentially toxic elements in Thriasio Plain, near Athens, Greece. *Environmental geochemistry and health*, 39(2), 319–330. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9882-5>
- Antoniadis, V., Golia, E. E., Liu, Y. T., Wang, S. L., Shaheen, S. M., & Rinklebe, J. (2019). Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece. *Environment International*, 124, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.053>
- Antoniadis, V., Thalassinou, G., Levizou, E., Wang, J., Wang, S., Shaheen, S., & Rinklebe, J. (2022). Hazardous enrichment of toxic elements in soils and olives in the urban zone of Lavrio, Greece, a legacy, millennia-old silver/lead mining area and related health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 434, 128906. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128906>
- Argyaki, A., & Kelepertzis, E. (2014). Urban soil geochemistry in Athens, Greece: The importance of local geology in controlling the distribution of potentially harmful trace elements. *Science of The Total Environment*, 482–483, 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.133>
- Aslanidis, P. S. C., & Golia, E. E. (2022). Urban sustainability at risk due to soil pollution by heavy metals—Case study: Volos, Greece. *Land*, 11(7), 1016. <https://doi.org/10.3390/land11071016>
- Atobatele, O. E., & Olutona, G. O. (2015). Distribution of three non-essential trace metals (Cadmium, Mercury and Lead) in the organs of fish from Aiba Reservoir, Iwo, Nigeria. *Toxicology Reports*, 2, 896–903. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.06.003>
- Avila, D. S., Puntel, R. L., & Aschner, M. (2013). Manganese in health and disease. *Metals Ions Life Sci*, 13, 199–227. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7500-8_7
- Bhattacharya, S. (2022). Essential trace metals as countermeasure for lead toxicity. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 41(2), 61–67. <https://doi.org/10.1615/JEnvironPatholToxicolOncol.2022040132>
- Biasioli, M., Barberis, R., & Ajmone-Marsan, F. (2006). The influence of a large city on some soil properties and metals content. *Science of The Total Environment*, 356, 154–164.
- Bourliva, A., Aidona, E., Papadopoulou, L., Ferreira da Silva, E., & Patinha, E. (2021). Levels, oral bioaccessibility and health risk of sand-bound potentially harmful elements (PHEs) in public

- playgrounds: Exploring magnetic properties as a pollution proxy. *Environmental Pollution*, 290, 118122.
- Bourliva, A., Christophoridis, C., Papadopoulou, L., Giouri, K., Papadopoulos, A., Mitsika, E., & Fytianos, K. (2017). Characterization, heavy metal content and health risk assessment of urban road dusts from the historic center of the city of Thessaloniki, Greece. *Environmental Geochemistry and Health*, 39, 611–634.
- Bourliva, A., Kantiranis, N., Papadopoulou, L., Aidona, E., Christophoridis, C., Kollias, P., Evgenakis, M., & Fytianos, K. (2018). Seasonal and spatial variations of magnetic susceptibility and potentially toxic elements (PTEs) in road dusts of Thessaloniki city, Greece: A one-year monitoring period. *Science of The Total Environment*, 639, 417–427.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
- Bouma, J., Montanarella, L., & Evanylo, G. (2019). The challenge for the soil science community to contribute to the implementation of the UN Sustainable Development Goals. *Soil Use and Management*. <https://doi.org/10.1111/sum.12518>.
- Chasapis, C. T., Ntoupa, P. A., Spiliopoulou, C. A., & Stefanidou, M. E. (2020). Recent aspects of the effects of zinc on human health. *Archives of toxicology*, 94(5), 1443–1460.
<https://doi.org/10.1007/s00204-020-02702-9>
- FAO & UNEP. (2021). Global assessment of soil pollution: Report. Rome.
<https://doi.org/10.4060/cb4894en>
- Filippelli, G., Anenberg, S., Taylor, M., Geen, A. van, & Khreis, H. (2020). New approaches to identifying and reducing the global burden of disease from pollution. *GeoHealth*, 4(4), e2018GH000167. <https://doi.org/10.1029/2018GH000167>
- Foldal, C. B., Leitgeb, E., & Michel, K. (2022). Characteristics and functions of urban soils. In A. Rakshit, S. Ghosh, V. Vasenev, H. Pathak, & V. D. Rajput (Eds.), *Soils in Urban Ecosystem* (pp. 49–73). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8914-7_3
- Gao, J., Zhang, D., Proshad, R., et al. (2021). Assessment of the pollution levels of potential toxic elements in urban vegetable gardens in southwest China. *Scientific Reports*, 11, 22824.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-02069-6>
- Gasparatos, Dionisios & Mavromati, Georgia & Kotsovilis, Panagiotis & Massas, Ioannis. (2015). Fractionation of heavy metals and evaluation of the environmental risk for the alkaline soils of the Thriassio plain: a residential, agricultural, and industrial area in Greece. *Environmental earth sciences*. 74. 10.1007/s12665-015-4096-1.
- Genchi, G., Lauria, G., Catalano, A., Carocci, A., & Sinicropi, M. S. (2023). Prevalence of cobalt in the environment and its role in biological processes. *Biology (Basel)*, 12(10), 1335.
<https://doi.org/10.3390/biology12101335>
- Gil, J. D. B., Reidsma, P., Giller, K., et al. (2019). Sustainable development goal 2: Improved targets and indicators for agriculture and food security. *Ambio*, 48, 685–698.
<https://doi.org/10.1007/s13280-018-1101-4>

- Golia, E. (2023). The impact of heavy metal contamination on soil quality and plant nutrition. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 33, 101046. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101046>
- Golia, E. E., & Diakouloukas, V. (2022). Soil parameters affecting the levels of potentially harmful metals in Thessaly area, Greece: A robust quadratic regression approach of soil pollution prediction. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 29544–29561. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14673-0>
- Golia, E. E., Dimirkou, A., & 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. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(7), 399.
- Golia, E. E., Papadimou, S. G., Cavalaris, C., & Tsiropoulos, N. G. (2021). Level of contamination assessment of potentially toxic elements in the urban soils of Volos City (Central Greece). *Sustainability*, 13(4), 2029. <https://doi.org/10.3390/su13042029>
- Golia, E. E., Tsiropoulos, G. N., Füleky, G., Floras, S., & Vleioras, S. (2019). Pollution assessment of potentially toxic elements in soils of different taxonomy orders in central Greece. *Environmental monitoring and assessment*, 191(2), 106. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7201-1>
- Greiner, A. (2015). The heterogeneity of urban soils in the light of their properties. *Journal of Soils and Sediments*, 15, 1725–1737. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-1054-6>
- Guo, M. (2021). Soil health assessment and management: Recent development in science and practices. *Soil Systems*, 5(4), 61. <https://doi.org/10.3390/soilsystems5040061>
- Haider, F. U., Liqun, C., Coulter, J. A., Cheema, S. A., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M., & Farooq, M. (2021). Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>
- Haller, H., Flores-Carmenate, G., & Jonsson, A. (2020). Governance for sustainable remediation of polluted soil in developing countries. In *Sustainability Concept in Developing Countries*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90744>
- Hanfi, M. Y., Mostafa, M. Y. A., & Zhukovsky, M. V. (2020). Heavy metal contamination in urban surface sediments: Sources, distribution, contamination control, and remediation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), 32. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7947-5>
- Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Aamer, M., Nawaz, M., Ali, A., Khan, M. A. U., & Khan, T. A. (2019). Nickel toxicity in plants: Reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities-a review. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(13), 12673–12688. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04892-x>
- Hu, X., Wei, X., Ling, J., & Chen, J. (2021). Cobalt: An essential micronutrient for plant growth? *Frontiers in Plant Science*, 12, 768523. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.768523>
- Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General. (2023). *Global Sustainable Development Report 2023: Times of crisis, times of change: Science for accelerating transformations to sustainable development*. United Nations.

- IPEN. (2020). Lead levels in paint around the world. IPEN. <https://ipen.org/projects/eliminating-lead-paint/lead-levels-paint-around-world>
- Jabbar, M., Yusoff, M. M., & Shafie, A. (2022). Assessing the role of urban green spaces for human well-being: A systematic review. *GeoJournal*, 87, 4405–4423. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10474-7>
- Janik-Karpinska, E., Brancaloni, R., Niemcewicz, M., Wojtas, W., Foco, M., Podogrocki, M., & Bijak, M. (2023). Healthcare waste-a serious problem for global health. *Healthcare (Basel)*, 11(2), 242. <https://doi.org/10.3390/healthcare11020242>
- Kaur, H., & Garg, N. (2021). Zinc toxicity in plants: A review. *Planta*, 253(6), 129. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03642-z>
- Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., & Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2, 111–128. <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>
- Kelepertzis, E., & Argyraki, A. (2015). Geochemical associations for evaluating the availability of potentially harmful elements in urban soils: Lessons learnt from Athens, Greece. *Applied Geochemistry*, 59, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.03.019>
- Kelepertzis, E., & Argyraki, A. (2015). Mercury in the urban topsoil of Athens, Greece. *Sustainability*, 7(4), 4049–4062.
- Kelepertzis, E., Argyraki, A., Chrastný, V., Botsou, F., Skordas, K., Komárek, M., & Fouskas, A. (2020). Metal(loid) and isotopic tracing of Pb in soils, road and house dusts from the industrial area of Volos (central Greece). *Science of The Total Environment*, 725, 138300. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138300>
- Kelepertzis, E., Komárek, M., Argyraki, A., Šillerová, H. (2016). Metal(loid) distribution and Pb isotopic signatures in the urban environment of Athens, Greece. *Environmental Pollution*, 213, 420–431. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.049>
- Kelepertzis, E., & Stathopoulou, E. (2013). Availability of geogenic heavy metals in soils of Thiva town (central Greece). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 9603–9618. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3277-1>
- Kim, R. Y., Yoon, J. K., Kim, T. S., et al. (2015). Bioavailability of heavy metals in soils: Definitions and practical implementation—a critical review. *Environmental Geochemistry and Health*, 37, 1041–1061. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9695-y>
- Kokkoris, V., Massas, I., Polemis, E., et al. (2019). Accumulation of heavy metals by wild edible mushrooms with respect to soil substrates in the Athens metropolitan area (Greece). *Science of The Total Environment*, 685, 280–296. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.447>
- Kwon, O. H., Hong, I., Yang, J., et al. (2021). Urban green space and happiness in developed countries. *EPJ Data Science*, 10, 28. <https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-021-00278-7>
- Lal, R., Bouma, J., Brevik, E., Dawson, L., Field, D., Glaser, B., Hatano, R., Kosaki, T., Lascelles, B., Monger, C., Muggler, C. C., Georges, N., Norra, S., Pan, X., Paradelo Núñez, R., Reyes-Sánchez,

- L., Sandén, T., Singh, B., & Zhang, J. (2021). Soils and sustainable development goals of the United Nations (New York, USA): An IUSS perspective. *Geoderma Regional*, 25, e00398. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00398>.
- Li, F. (2018). Heavy Metal in Urban Soil: Health Risk Assessment and Management. InTech. doi: 10.5772/intechopen.73256 [<https://www.intechopen.com/chapters/58942>]
- Li, J., Jia, Y., Dong, R., et al. (2019). Advances in the Mechanisms of Plant Tolerance to Manganese Toxicity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(20), 5096. <https://doi.org/10.3390/ijms20205096>
- Ljung, K., Otabbong, E., & Selinus, O. (2006). Natural and anthropogenic metal inputs to soils in urban Uppsala, Sweden. *Environmental Geochemistry and Health*, 28, 353–364.
- Massas, I., Kalivas, D., Ehaliotis, C., et al. (2013). Total and available heavy metal concentrations in soils of the Thriassio plain (Greece) and assessment of soil pollution indexes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 6751–6766. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3062-1>
- Mishra, M., Desul, S., Santos, C. A. G., et al. (2023). A bibliometric analysis of sustainable development goals (SDGs): A review of progress, challenges, and opportunities. *Environmental Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03225-w>
- Notova, S. V., Kazakova, T. V., Marshinskaya, O. V., & Shoshina, O. V. (2022). Metal-ligand forms of iron and zinc in the human body. *Kazan Medical Journal*, 103(2), 259-268. doi: 10.17816/KMJ2022-259
- Papadimou, S. G., Barbayiannis, N., & Golia, E. E. (2024). Preliminary investigation of the use of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. as a Cd accumulator in contaminated Mediterranean soils: The relationships among cadmium (Cd) soil fractions and plant Cd content. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 9, 405–417. <https://doi.org/10.1007/s41207-023-00430-x>
- Papazotos, P., Chalkiadaki, O., Chatzistamatiou, E. A., Georgopoulos, G., Gkiouleka, I., Katsikis, I., Zygouri, E., Kelepertzis, E., & Argyraki, A. (2017). Heavy Metals in Urban Park Soils From Athens, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(4), 2251. <https://doi.org/10.12681/bgsg.14281>
- Poggere, G., Gasparin, A., Barbosa, J. Z., Melo, G. W., Corrêa, R. S., Motta, A. C. V. (2023). Soil contamination by copper: Sources, ecological risks, and mitigation strategies in Brazil. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 4, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100059>
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira, M. (2016). Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the burden disease from environmental risk (p. 176). Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Psimoulis, P., Ghilardi, M., Fouache, E., & Stiros, S. (2007). Subsidence and evolution of the Thessaloniki plain, Greece, based on historical leveling and GPS data. *Engineering Geology*, 90(1–2), 55–70. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.12.001>

- Reyes-Riveros, R., Altamirano, A., De La Barrera, F., Rozas-Vásquez, D., Vieli, L., & Meli, P. (2021). Linking public urban green spaces and human well-being: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 61, 127105. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127105>
- Sager, M. (2020). Urban soils and road dust—civilization effects and metal pollution—a review. *Environments*, 7(11), 98. <https://doi.org/10.3390/environments7110098>
- Santos, J. A., & Boaretto, R. M. (2015). Mercury toxicity on the germination of different plant species: A comparative study. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(9), 315.
- Scharenbroch, Bryant, Trammell, Tara, Paltseva, Anna, Livesley, Stephen, & Edmondson, Jill. (2022). Editorial: Urban soil formation, properties, classification, management, and function. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.987903>
- Sharma, A., Kapoor, D., Wang, J., Shahzad, B., Kumar, V., Bali, A. S., Jasrotia, S., Zheng, B., Yuan, H., & Yan, D. (2020). Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: An overview. *Plants (Basel)*, 9(1), 100. <https://doi.org/10.3390/plants9010100>
- Sinha, D., Datta, S., Mishra, R., Agarwal, P., Kumari, T., Adeyemi, S. B., Kumar Maurya, A., Ganguly, S., Atique, U., & Seal, S., et al. (2023). Negative impacts of arsenic on plants and mitigation strategies. *Plants*, 12(9), 1815. <https://doi.org/10.3390/plants12091815>
- Su, H., Krol, M. S., & Hogeboom, R. J. (2022). The role of context in identifying linkages between SDG 2 (food) and SDG 6 (water). *Sustainability Science*, 17, 1605–1618. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01158-3>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA). (2019). The Sustainable Development Goals Report 2019. Retrieved from <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf>
- Vasile, G. G., Tenea, A. G., Dinu, C., Iordache, A. M. M., Gheorghe, S., Mureseanu, M., & Pascu, L. F. (2021). Bioavailability, accumulation and distribution of toxic metals (As, Cd, Ni and Pb) and their impact on *Sinapis alba* plant nutrient metabolism. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 12947. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412947>
- Vasilou, C., Tsiropoulos, N. G., & Golia, E. E. (2024). Phytoremediation & valorization of Cu-contaminated soils through *Cannabis sativa* (L.) cultivation: A smart way to produce cannabidiol (CBD) in Mediterranean soils. *Waste and Biomass Valorization*, 15, 1711–1724. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02388-x>
- Wu, R., Yao, F., Li, X., Shi, C., Zang, X., Shu, X., Liu, H., & Zhang, W. (2022). Manganese pollution and its remediation: A review of biological removal and promising combination strategies. *Microorganisms*, 10(12), 2411. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122411>
- Yamaguchi, N. U., Bernardino, E. G., Ferreira, M. E. C., et al. (2023). Sustainable development goals: A bibliometric analysis of literature reviews. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 5502–5515. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24379-6>

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<https://www.environmentalpollutioncenters.org/soil/causes/>

<https://www.epa.gov/sciencematters/sourcing-urban-soil-contaminants-improve-cleanup>

<https://ods.od.nih.gov/> <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Chromium-HealthProfessional/#disc>

Global E-waste Monitor 2020 (itu.int) <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Spotlight/Global-Ewaste-Monitor-2020.aspx>

Soaring e-waste affects the health of millions of children, WHO warns

<https://www.who.int/news/item/15-06-2021-soaring-e-waste-affects-the-health-of-millions-of-children-who-warns>

Electronic waste (e-waste) <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-%28e-waste%29>

www.periodic-table.com

https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/contaminants/catalogue/arsenic_en

<https://www.dccew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/copper-and-compounds>

https://www.cdc.gov/biomonitoring/Cadmium_FactSheet.html (Centers for Disease Control and Prevention, 2017)

https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/contaminants/catalogue/mercury_en

<https://www.rsc.org/periodic-table/element/80/mercury>

<https://scdhec.gov/environment/your-home/mercury/health-risks-mercury>

https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/contaminants/catalogue/mercury_en

<https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/nickel/>

<https://news.northwestern.edu/stories/2021/12/understanding-cobalts-human-cost/>

eur-lex.europa.eu

<https://www.e-nomothesia.gr/>

Intergeo (2012). Οδηγός για τη ρύπανση του εδάφους. Ανάκτηση από:

http://79.129.78.202/lifesos/images/stories/pdf/deliverables/22_03.pdf.

<https://education.nationalgeographic.org/resource/sustainable-development-goals/>

<https://sdgs.un.org/goals>

Soils in the SDGs (sustainablesoils.org)

<https://sdg.iisd.org/commentary/generation-2030/saving-our-soils-carbon-sequestration-sustainability-and-the-sdgs/>

<https://www.fao.org/about/strategy-programme-budget/strategic-framework/fao-sdg/en/>

<https://www.eea.europa.eu/signals-archived/signals-2019-content-list/infographics/soil-and-united-nations-sustainable/view>

The Role of Soils in Achieving the SDGs - UNU - Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources <https://flores.unu.edu/en/news/news/the-role-of-soils-in-achieving-the-sdgs.html>

<https://www.weforum.org/agenda/2015/08/3-challenges-facing-the-uns-sustainable-development-goals/>

<https://www.iisd.org/articles/insight/invasion-ukraine-sustainable-development>

<https://sdgs.un.org/gsdrr>

<https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/mercury/index.cfm>

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-mercury.pdf> U.S. Geological Survey, 2020, Mineral commodity summaries 2020: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2020>.

https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-health_en#publications

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/qanda_23_3637