



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών της ευρύτερης
περιοχής της Μεγαλόπολης



Τσούκα Ε. Αθανασία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Γαλανοπούλου Σταυρούλα, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ

Καρπενήσι
2021

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών της ευρύτερης
περιοχής της Μεγαλόπολης

“Investigation of heavy metal pollution of the soils of the wider area of
Megalopolis”

Αθανασία Ε. Τσούκα

Εξεταστική Επιτροπή:

Σταυρούλα Γαλανοπούλου, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ (Επιβλέπουσα)

Αναστασία Παντέρα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Σπυρίδων Καλούδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Διερεύνηση της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης

ΠΜΣ Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος

Γενικό Τμήμα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη, διερευνήθηκε η πιθανή ρύπανση από βαρέα μέταλλα των επιφανειακών εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης. Συλλέχθηκαν 15 σύνθετα επιφανειακά δείγματα εδάφους από βάθος 0 έως 10 cm από διάφορα σημεία γειτονικά με την περιοχή των λιγνιτωρυχείων, καθώς και από την πόλη της Μεγαλόπολης και πραγματοποιήθηκαν σε αυτά κοκκομετρικές και γεωχημικές αναλύσεις (προσδιορισμός pH, οργανικού άνθρακα, βαρέων μετάλλων Mn, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn), καθώς και προσδιορισμός των βιοδιαθέσιμων μορφών τους. Από την κοκκομετρική ανάλυση προέκυψε ότι τα εδάφη εμφανίζουν ομοιογένεια ως προς την κοκκομετρία τους και χαρακτηρίζονται κυρίως ως αμμοπηλώδη. Τα εδάφη είναι πλούσια σε οργανικό άνθρακα, ουδέτερα έως μέσο αλκαλικά και πλούσια σε οργανική ουσία. Χαμηλές ολικές συγκεντρώσεις μετρήθηκαν για τα βαρέα μέταλλα χαλκό και ψευδάργυρο, υψηλότερες για το μαγγάνιο και το χρώμιο ενώ μέτρια ρύπανση των εδαφών προσδιορίστηκε ως προς το νικέλιο και κυρίως ως προς το μόλυβδο. Η ρύπανση αυτή σε ένα μεγάλο ποσοστό είναι ανθρωπογενούς προέλευσης και οφείλεται πρωτίστως στην εξορυκτική δραστηριότητα του λιγνίτη που λαμβάνει χώρα στην περιοχή, καθώς και στη λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Από τα βιοδιαθέσιμα βαρέα μέταλλα που προσδιορίστηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν το μαγγάνιο και το νικέλιο. Συμπερασματικά, τα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης είναι ελαφρώς έως μέτρια ρυπασμένα ως προς τα βαρέα μέταλλα που μελετήθηκαν. Μεγαλύτερη ρύπανση προσδιορίστηκε ως προς το μόλυβδο και ακολουθούν το νικέλιο, το μαγγάνιο και το χρώμιο. Τα επιφανειακά εδάφη δεν είναι ρυπασμένα ως προς το χαλκό και τον ψευδάργυρο.

Επιστημονική Περιοχή: Περιβαλλοντική γεωχημεία

Λέξεις κλειδιά: λιγνιτωρυχεία, βαρέα μέταλλα, δείκτες ρύπανσης, βιοδιαθεσιμότητα, Μεγαλόπολη

Investigation of heavy metal pollution of the soils of the wider area of Megalopolis

*MSc Ecology and Environmental Management
General Department*

ABSTRACT

In the present study, the possible heavy metal pollution of the surface soils of the wider area of Megalopolis was studied. 15 composite surface soil samples were collected from a depth of 0 to 10 cm from various points adjacent to the lignite mine area, and granulometric and geochemical analyzes were performed on them (determination of pH, organic carbon, heavy metals Mn, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn), as well as identification of their bioavailable forms. The granulometric analysis showed that the soils show homogeneity in terms of their granulometry and are mainly characterized as sandy loam. Soils are rich in organic carbon, neutral to moderately alkaline and rich in organic matter. Low total concentrations were measured for the heavy metals copper and zinc, higher for manganese and chromium while moderate soil pollution was determined for nickel and mainly for lead. This pollution to a large extent is of anthropogenic origin and is primarily due to the lignite mining activity that takes place in the area, as well as the operation of the steam power plants. Of the bioavailable heavy metals identified, the highest concentrations are manganese and nickel. In conclusion, the surface soils of the wider area of Megalopolis are slightly to moderately polluted in relation to the heavy metals studied. Greater pollution was identified in terms of lead, followed by nickel, manganese and chromium. Surface soils are not contaminated with copper and zinc.

Scientific area: Environmental geochemistry

Keywords: lignite mines, heavy metals, pollution indices, bioavailability, Megalopolis

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

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

Η συγγραφέας

Τσούκα Αθανασία

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

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

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

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης της Περιφερειακής Ενότητας Αρκαδίας, ως προς τη ρύπανσή της από βαρέα μέταλλα και τις πηγές των ρύπων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωσή της προκύπτουν από αναλύσεις σε δεκαπέντε (15) δείγματα επιφανειακού εδάφους, τα οποία συλλέχθηκαν από τη συγκεκριμένη περιοχή, καθώς και από βιβλιογραφική μελέτη.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά την κ. Γαλανοπούλου Σταυρούλα για την ανάθεση του θέματος της διατριβής, καθώς και για την εποπτεία, τη βοήθεια και τη συμπαράστασή της κατά τη διεξαγωγή της.

Ευχαριστώ επίσης την κ. Παντέρα Αναστασία για τη συμβολή του εργαστηρίου εδαφολογίας και την υποστήριξή της καθόλη τη διάρκεια της διατριβής και τον κ. Καλούδη Σπυρίδωνα για τη συμβολή του στη δημιουργία των γεωχημικών χαρτών με τη χρήση GIS και τη γενικότερη βοήθειά του. Επιπλέον θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Τζιουβαλέκα Μιλτιάδη, Δόκιμο Ερευνητή ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ για την σημαντική βοήθειά του.

Τέλος ευχαριστώ τους φίλους, συναδέλφους και την οικογένειά μου, που με στήριξαν για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

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

Αφιερωμένη,

στη μάνα και στο Θύμιο!

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	v
ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.3 ΕΔΑΦΟΣ	2
1.3.1 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	4
1.3.2 ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ – ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	5
1.3.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ.....	7
1.3.4 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	9
1.3.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ	11
1.3.4.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	12
1.3.4.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ.....	14
1.3.5 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	23
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	27
2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	29
2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	31
2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	31
2.6 ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ	34
2.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	38
3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	38
3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	38
3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	40
3.3.1 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	40
3.3.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	40
3.3.3 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	41
3.3.3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH	41
3.3.3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	41
3.3.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	42
3.3.3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	45
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	45
4.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	45
4.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	46
4.3 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	47
4.4 ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	57
4.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	61
4.5.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ	61
4.5.1.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΡΙ (Pollution Index)	64
4.5.1.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΡΛΙ (Pollution Load Index)	66
4.5.1.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΜΕC).....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	68
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	70

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Ταινιόδρομος ατμοηλεκτρικού σταθμού της Μεγαλόπολης.	13
Εικόνα 2.1: Δήμος Μεγαλόπολης (πηγή: https://el.wikipedia.org)	23
Εικόνα 2.2: Άποψη ατμοηλεκτρικού εργοστασίου Μεγαλόπολης.	24
Εικόνα 2.3: Λιγνιτικό κέντρο Μεγαλόπολης (πηγή: https://megalopolis.gr).....	26
Εικόνα 2.4: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής Μεγαλόπολης (Χριστογιαννόπουλος, 2019)	30
Εικόνα 3.1: Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών εδαφών στη λεκάνη της Μεγαλόπολης.....	39
Εικόνα 4.1: Τριγωνικό Διάγραμμα Μηχανικής Σύστασης των εδαφών κατά το Αμερικανικό Σύστημα (πηγή: Παντέρα και Γαλανοπούλου, 2015).....	46
Εικόνα 4.2: Διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με το pH (πηγή: https://agropublic.gr)	48
Εικόνα 4.3: Γεωχημικός χάρτης κατανομής Ni στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.....	51
Εικόνα 4.4: Γεωχημικός χάρτης κατανομής Pb στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.....	53
Εικόνα 4.5: Γεωχημικός χάρτης κατανομής Cr στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.....	56

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Τα λιγνιτωρυχεία της λεκάνης Μεγαλόπολης (Γεννηματάς, 2013)	25
Πίνακας 4.1: Μηχανική σύσταση επιφανειακών εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης.....	45
Πίνακας 4.2: Ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, οργανικής ουσίας και pH στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης σε mg/kg.....	47
Πίνακας 4.3: Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης σε mg/kg.. ..	59
Πίνακας 4.4: Ταξινόμηση του δείκτη Igeo- Βαθμός επιβάρυνσης (πηγή: Müller, 1979).....	62
Πίνακας 4.5: Τιμές δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.....	63
Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα δείκτη Ρύπανσης PI στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.....	65
Πίνακας 4.7: Ανεκτά επίπεδα βαρέων μετάλλων στα εδάφη (Kloke, 1979).....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να μελετηθούν τα εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης ως προς τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και την περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα, εξαιτίας της γειτνίασης της πόλης με τη βιομηχανική ζώνη της Περιφερειακής Ενότητας Αρκαδίας όπου γίνεται η εξόρυξη λιγνίτη. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της έρευνας προκύπτουν από αναλύσεις σε δεκαπέντε (15) δείγματα επιφανειακών εδαφών από την περιοχή μελέτης, τα οποία συλλέχθηκαν από την ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης. Αναλυτικότερα, σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να διερευνηθεί η πιθανή ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα, να προσδιοριστεί ο βαθμός της ρύπανσης και να αναδειχθούν οι βασικές πηγές των ρύπων.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το περιβάλλον αποτελεί το φυσικό και βιολογικό πλαίσιο του ανθρώπου από το οποίο εξαρτάται άμεσα με πολλούς και πολύπλοκους τρόπους, στην κυριολεξία είναι μέρος του. Η ρύπανση του περιβάλλοντος, κυρίως από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, είναι η άμεση ή έμμεση εκπομπή ουσιών, θορύβου ή άλλης μορφής ενέργειας σε ποσότητες, συγκέντρωση ή διάρκεια, που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην υγεία του ανθρώπου, υλικές ζημιές, δυσμενή επίδραση σε άλλους ζωντανούς οργανισμούς και γενικότερα στα οικοσυστήματα (Κουιμτζής & Μάτης 1993). Ο όρος «ρύπανση του περιβάλλοντος» χρησιμοποιείται συνήθως για την περίπτωση της ατμόσφαιρας, των υδάτινων πόρων (λίμνες, ποτάμια, θάλασσες) και του εδάφους.

Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν έναν από τους πλέον επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος καθώς, αυτά και οι ενώσεις τους, δεν αποικοδομούνται. Παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και εισέρχονται σε βιο-γεωχημικούς κύκλους. Τα βαρέα μέταλλα είναι ιδιαίτερα τοξικά για τα ζώα και τον άνθρωπο και μπορεί να προκαλέσουν δηλητηριάσεις, γενετικές ανωμαλίες, μέχρι και νοητική

καθυστέρηση, ψυχοπαθολογικές καταστάσεις που συνδέονται με οργανικές διαταραχές του εγκεφάλου και καρκινογενέσεις (Παπαδημητρίου 2005).

Η παρακολούθηση της πορείας των μεταλλικών στοιχείων μετά την εισαγωγή τους στο οικοσύστημα γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς μετακινούνται από τον έναν κρίκο του τροφικού πλέγματος στον άλλο και συσσωρεύονται στους ζωντανούς οργανισμούς με τελική κατάληξη τον άνθρωπο, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του τροφικού πλέγματος (Λουκίδου 2003).

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με τη μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα εδαφών που βρίσκονται σε περιοχή εξόρυξης και καύσης λιγνίτη. Η περιοχή η οποία επιλέχθηκε για να υλοποιηθεί η έρευνα είναι η Μεγαλόπολη, ένα από τα σημαντικότερα ενεργειακά κέντρα της Ελλάδας, εξαιτίας των μεγάλων αποθεμάτων λιγνίτη στην ευρύτερη περιοχή.

Στην Ελλάδα λειτουργεί μεγάλος αριθμός σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται στην καύση γαιανθράκων με το συντριπτικό ποσοστό αυτών να ανήκει στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Ο λιγνίτης αποτελεί το βασικό καύσιμο της Ελλάδας, αρκετές δεκαετίες, με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια στροφή στον ενεργειακό τομέα στη χώρα μας προς το φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η αλλαγή αυτή και, κυρίως η εδραίωση περιβαλλοντικής συνείδησης σε παγκόσμια κλίμακα έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται καύσιμα φιλικότερα προς το περιβάλλον, αναμένεται να βοηθήσει στην προστασία του περιβάλλοντος.

1.3 ΕΔΑΦΟΣ

Το έδαφος καλύπτει το επιφανειακό στρώμα του στερεού φλοιού της γης από την επιφάνειά της και μέχρι το βάθος των 50 cm. Στα κατώτερα στρώματα ονομάζεται υπέδαφος (0,5-5 m από την επιφάνεια) και εκτείνεται ως εκεί που μπορεί να φθάσει το ριζικό σύστημα των φυτών και ξεκινά ο υδροφόρος ορίζοντας.

Το έδαφος προέρχεται από την αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων της γης (μητρικό υλικό) όπου λαμβάνει χώρα με την επίδραση διαφόρων παραγόντων (μεταβολές της θερμοκρασίας, βροχή, παγετός, άνεμος, μικροοργανισμοί, ανώτερα

φυτά, ζωικοί οργανισμοί). Η δημιουργία του εδάφους είναι μια μακροχρόνια διαδικασία. Συνήθως για το σχηματισμό ενός στρώματος απαιτούνται από 100 έως 1000 χρόνια ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Για αυτό το λόγο, το έδαφος δεν αποτελεί ανανεώσιμο φυσικό πόρο.

Το έδαφος αποτελεί τη βάση της αγροτικής και δασικής παραγωγής, το μέσο στήριξης και θρέψης των φυτών, το φυσικό φίλτρο και το προστατευτικό στρώμα των αποθεμάτων του υπόγειου νερού. Σε αυτό διαβιούν πολυάριθμοι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στη διαδικασία ανακύκλωσης πολύτιμων στοιχείων, όπως του αζώτου και του άνθρακα. Το έδαφος αποτελείται από στερεά (ανόργανα και οργανικά), υγρά (π.χ. νερό, υδατικά διαλύματα κυρίως ανόργανων αλάτων) και αέρια συστατικά (π.χ. αέρας), τα οποία βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση (Αλεξόπουλος & Λιάπης 2014).

Τα εδάφη αποτελούνται από ορίζοντες (horizons) που χαρακτηρίζονται από διαφορετική υφή και σύσταση.

O-ορίζοντας: Ανώτατο στρώμα εδάφους που αποτελείται από φυτά, οργανικά υπολείμματα, πεσμένα φύλλα δένδρων και μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη.

A-ορίζοντας: Τα πρώτα 30-50 εκατοστά του μέτρου εδάφους (topsoil) που αποτελείται από χουμικά οξέα, ανόργανα ορυκτά, ζωντανούς οργανισμούς, οργανική ύλη και χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη βιολογική δραστικότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους ορίζοντες.

E-ορίζοντας: Η ζώνη που διαχωρίζει το επιφανειακό έδαφος από το υπέδαφος, γνωστή και ως ζώνη απόπλυσης (leaching zone), εξαιτίας της κίνησης προς τη ζώνη αυτή της διαλυμένης ή αιωρούμενης ύλης.

B-ορίζοντας: Ζώνη εμπλουτισμού όπου συναθροίζονται χουμικά οξέα, άργιλος (πηλός), σίδηρος και αργίλιο, οξειδία κ.ά. μετά το στράγγισμα από τις επάνω ζώνες.

C-ορίζοντας: Ελαφρώς αποσαθρωμένο μητρικό υλικό.

R: Μητρικό πέτρωμα.

1.3.1 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ενώ οι σπουδαιότερες φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι η κοκκομετρική σύσταση, η δομή, το εδαφικό πορώδες, η εδαφική θερμοκρασία και το χρώμα του, η χημεία του εδάφους ασχολείται κυρίως με τη φύση, τη χημική σύσταση, τις ιδιότητες και τις αντιδράσεις που συμβαίνουν στα εδάφη. Οι χημικές ιδιότητες επηρεάζουν τις φυσικές και η χημική φύση του εδάφους επηρεάζει άμεσα τον εφοδιασμό των φυτών με θρεπτικά στοιχεία. Οι σπουδαιότερες χημικές ιδιότητες του εδάφους είναι η εναλλακτική ικανότητα και η αντίδραση του εδάφους.

Πολλές από τις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες του εδάφους εξαρτώνται, σε μεγάλο βαθμό, από την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος από το οποίο σχηματίζεται το έδαφος. Η μελέτη των γεωχημικών χαρακτηριστικών των εδαφών έχει μεγάλη σημασία για τον προσδιορισμό των πιθανών πηγών των ρύπων από τοξικά βαρέα μέταλλα και ιδιαίτερα, για το διαχωρισμό μεταξύ της φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσής τους. Ταυτόχρονα είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση του βαθμού διατήρησης των ρύπων στο έδαφος, αφού η γεωχημεία των εδαφών αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αποθήκευση, συγκράτηση, μετακίνηση ή αποσύνθεση των διαφόρων ρυπαντών.

Το pH είναι πολύ σημαντική εδαφική ιδιότητα γιατί επηρεάζει άμεσα τη γονιμότητα των εδαφών. Σε μικρές τιμές του pH (πολύ όξινα εδάφη) υπερισχύει η ιοντική μορφή των στοιχείων Al, Mn, Zn κ.λπ. με αποτέλεσμα την εμφάνιση αντίστοιχων τοξικοτήτων στα φυτά. Σε μεγάλες τιμές του pH ιδιαίτερα τα ιχνοστοιχεία δεσμεύονται ισχυρά στο έδαφος με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να προσληφθούν από τα φυτά, με αποτέλεσμα την εμφάνιση τροφопενιών σε αυτά. Επομένως, οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που μπορεί το φυτό να προσλάβει από το έδαφος, εξαρτώνται από την τιμή του pH.

Επιπλέον, η ανταλλαγή κατιόντων είναι μία σημαντική χημική δράση των εδαφών και ιζημάτων. Η δράση αυτή των εδαφών ή ιζημάτων ορίζεται ως η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC, cation-exchange capacity) που εκφράζεται με την ποσότητα μονοσθενών κατιόντων που μπορούν να ανταλλαγούν ανά 100 γραμμάρια εδάφους και εξαρτάται από το pH ($-\log a_{H^+}$) και το pE ($-\log a_{e^-}$) οξειδοαναγωγικό δυναμικό.

Συνοψίζοντας, οι εδαφικοί παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση των βαρέων μετάλλων μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών και συμβάλλουν στη

διαθεσιμότητα και κατανομή των ιχνοστοιχείων είναι το pH, η υφή του εδάφους, η ανταλλαγή ιόντων, η σύνθεσή του σε Al και Fe και οι μικροοργανισμοί του εδαφικού στρώματος (Hughes et al., 1980; Jokinen & Tahtinen, 1987).

1.3.2 ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ – ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Ρύπανση είναι η παρουσία ρύπων στο περιβάλλον, σε ποσότητα ικανή να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, τόσο των ζωντανών οργανισμών, όσο και στα οικοσυστήματα και γενικά στο περιβάλλον, καθιστώντας το ακατάλληλο για κάθε χρήση και μεταβάλλοντας τη χημική σύσταση βασικών στοιχείων του, όπως ο αέρας, το νερό και το έδαφος. Οι μορφές της είναι ανάλογες με το τμήμα του περιβάλλοντος που επηρεάζουν. Έτσι υπάρχει η θαλάσσια ρύπανση, η ατμοσφαιρική, η ρύπανση του εδάφους κ.ά. Οι κύριες κατηγορίες ρύπων είναι οι ανόργανοι ρύποι (όπως τα βαρέα μέταλλα) και οι οργανικοί ρύποι (όπως διάφοροι υδρογονάνθρακες και εντομοκτόνα). Οι ρύποι στο περιβάλλον συναντώνται σε μορφή στερεή, υγρή, ως σωματίδια, ως σταγονίδια ή αέρια.

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

Η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζεται έντονα στις μεγαλουπόλεις, εξαιτίας των έντονων βιομηχανικών και αστικών δραστηριοτήτων και προκαλεί φαινόμενα όπως την τρύπα του όζοντος, την όξινη βροχή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το φωτοχημικό νέφος κ.ά. Επηρεάζει αρνητικά εκτός από τα μνημεία και τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο.

Η ρύπανση στο έδαφος οφείλεται σε ρύπους που μέσω του αέρα ή μέσω του νερού καταλήγουν στα ιζήματα και τις τροφικές αλυσίδες των οικοσυστημάτων. Στη συνέχεια

μεταφέρονται από τα κατώτερα τροφικά επίπεδα στα ανώτερα και βιοσυσσωρεύονται καταλήγοντας στον άνθρωπο (Sas-Nowosielska et al. 2004). Στο έδαφος επίσης παρουσιάζονται και βαρέα μέταλλα που είναι ιδιαίτερα τοξικά και επιβλαβή σε υψηλές συγκεντρώσεις για τους ζωντανούς οργανισμούς.

Βαρέα μέταλλα (heavy metals) είναι εκείνα τα μέταλλα που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από αυτό του σιδήρου ή αλλιώς τα μέταλλα με ατομικό αριθμό μεταξύ του 21 (σκάνδιο) και του 84 (πολώνιο), τα οποία βρίσκονται στα φυσικά ύδατα (Πατσιούρα 2004).

Τέτοια είναι τα μέταλλα μόλυβδος, ψευδάργυρος, χαλκός, κάδμιο, υδράργυρος, χρώμιο κ.ά. Αν και αποτελούν θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά και είναι αναγκαία για την ανάπτυξή τους, μπορούν να καταστούν επικίνδυνα για αυτά σε υψηλές συγκεντρώσεις και γίνονται τοξικά με σοβαρές επιπτώσεις για το περιβάλλον. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες πολλές φορές διαταράσσουν την ισορροπία και προκαλούν υπέρμετρες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε ζωντανούς οργανισμούς, οι οποίες προκαλούν βιολογικές διαταραχές, ακόμα και θάνατο.

Από πλευράς φυσικής αφθονίας, τα βαρέα μέταλλα καλύπτουν μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Κάποια από αυτά, όπως το αργίλιο και ο σίδηρος, είναι τα αφθονότερα στοιχεία της λιθόσφαιρας με συγκεντρώσεις εκφραζόμενες σε % κατά βάρος, ενώ τα περισσότερα και πλέον τοξικά απαντώνται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα φυσικά συστήματα και χαρακτηρίζονται σαν ιχνοστοιχεία. Τα βαρέα μέταλλα δεν αποικοδομούνται με φυσικές διεργασίες στα υδάτινα οικοσυστήματα όπως οι περισσότερες οργανικές βλαβερές ενώσεις, αλλά με διάφορους μηχανισμούς συσσωρεύονται στους οργανισμούς και παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα (Μπέλλος, 2004). Διαμέσου της βιολογικής τροφικής αλυσίδας καταλήγουν τελικά στον άνθρωπο, όπου και προκαλούν χρόνιες και οξείες βλάβες.

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στο έδαφος αυξάνει τον κίνδυνο της εμφάνισής τους στα αγροτικά προϊόντα που καλλιεργούνται και κατ' επέκταση στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφικής αλυσίδας. Τα βαρέα μέταλλα εμφανίζονται ιδιαίτερα σε αγροτεμάχια που βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές ή βιομηχανικές ζώνες, δηλαδή σε περιοχές με αυξημένη ρύπανση ή σε έντονα καλλιεργούμενες αγροτικές

εκτάσεις. Χρειάζονται συχνές αναλύσεις εδαφών για τον ακριβή προσδιορισμό της περιεκτικότητας των εδαφών σε βαρέα μέταλλα.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες, όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι κυριότερες φυσικές πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος είναι: η διάβρωση και η αποσάθρωση των πετρωμάτων, οι πυρκαγιές των δασών, η μεταφορά σκόνης από τον άνεμο, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και τα γεωθερμικά πεδία.

Οι ανθρωπογενείς πηγές συνδέονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και έχουν ενταθεί τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του εδάφους. Οι κύριες πηγές των βαρέων μετάλλων στο έδαφος από ανθρώπινες δραστηριότητες προέρχονται συνήθως από λιπάσματα, εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα, αστικά απόβλητα, υπολείμματα υλός από επεξεργασία αποβλήτων, βιομηχανικά απόβλητα, μεταλλωρυχεία ή διεργασίες μεταλλουργιών (Wuana et al. 2011). Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν απειλή τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τη χλωρίδα και την πανίδα αν δεν αποκατασταθούν σε αβλαβή επίπεδα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες οι 2 στις 3 τοποθεσίες οι οποίες βρίσκονται στην εθνική λίστα προτεραιότητας για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του εδάφους, είναι αντιμετώπιζόμενες με ρύπανση οφειλόμενη σε βαρέα μέταλλα αποδεικνύοντας την έκταση του προβλήματος. Κάδμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, νικέλιο, αρσενικό, χρώμιο, σελήνιο, και ψευδάργυρος θεωρούνται τα πιο επικίνδυνα μέταλλα και περιλαμβάνονται στη λίστα με τους ρύπους προτεραιότητας της αμερικανικής προστασίας περιβάλλοντος (Παπαγιαννόπουλος, 2018).

1.3.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Το έδαφος, μαζί με τα υδάτινα συστήματα, είναι ο κυριότερος αποδέκτης της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Οι βιομηχανικές, βιοτεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες το ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό. Τα υγρά και στερεά απόβλητα αρχικά εναποτίθενται και επεξεργάζονται σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Τα τοξικά απόβλητα από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, λόγω των τοξικών και επικίνδυνων ουσιών που περιέχουν, προκαλούν διάφορα προβλήματα ρύπανσης στο έδαφος και στα βιολογικά συστήματα. Έτσι, τα

υγρά απόβλητα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό μεταλλαξιγόνου δράσης και μάλιστα παρόμοια γονοτοξική δράση παρουσιάζουν και οι στάχτες των αποβλήτων που έχουν κατεργασθεί με πυρολυτική καύση σε αποτεφρωτήρες (Donnelly et al., 1990). Τα απόβλητα στις αναπτυγμένες χώρες καθώς και η διαχείρισή τους συνιστούν μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα ως αναφορά την ποιότητα των εδαφών και τις τοξικές δράσεις σε ζωντανούς οργανισμούς (Francis 1983).

Σημαντική είναι η ρύπανση των εδαφών από τα γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Άλλες αιτίες ρύπανσης των εδαφών είναι τα ατυχήματα και οι διαρροές πετρελαίου, τα απόβλητα ορυχείων και λατομείων, το πετρέλαιο και τα προϊόντα διύλισης, τα λιπαντικά και οι διάφοροι διαλύτες που είναι προϊόντα της χημικής βιομηχανίας πετρελαίου. Η ρύπανση από πετρέλαιο και τα προϊόντα του προκύπτει κατά τις χερσαίες μεταφορές, τις διαρροές από εργοστάσια, τις βιοτεχνίες και τις αποθήκες τους, τις παλαιές εγκαταστάσεις διυλιστηρίων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων και τα διάφορα ατυχήματα σε εγκαταστάσεις άντλησης πετρελαίου. Η τοξικότητα του πετρελαίου λόγω της ύπαρξης αδιάλυτων υδρογονανθράκων, πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων και πτητικών αρωματικών ενώσεων καθιστά τη ρύπανση επικίνδυνη για τους χερσαίους οργανισμούς, τη χλωρίδα και τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Σε πολλές χώρες υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές για τις εγκαταστάσεις διύλισης πετρελαίου και προγράμματα καθαρισμού εδαφών που έχουν ρυπανθεί από παλαιές εγκαταστάσεις (Li et al. 2006).

Στο έδαφος αποτίθενται επίσης, με αργούς ρυθμούς ανάλογα με τις συνθήκες και τη γεωμορφολογία των περιοχών, όλοι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι. Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας ρύπανσης των εδαφών είναι τα βαρέα μέταλλα. Αν και οι χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μπορούν να γίνουν αποδεκτές από ορισμένα φυτά χωρίς να προκαλούν τοξικές βλάβες, οι υψηλές συγκεντρώσεις έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ενζυμική λειτουργία σε χερσαία ζώα και γαιοσκώληκες, νηματώδεις και μικροοργανισμούς των εδαφών (Shaw, 1990). Οι γαιοσκώληκες συγκεκριμένα αποτελούν ιδανικά πειραματόζωα και χρησιμοποιούνται σε πειράματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας και οικοτοξικολογίας ως ευαίσθητοι βιοδείκτες για βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και άλλους τοξικούς ρύπους (Greig-Smith 1992).

Το έδαφος αποτελεί τον αποδέκτη όλων παραπάνω τοξικών ουσιών, η πορεία και η τύχη των οποίων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τη γεωμορφολογία της περιοχής και διάφορες εξωγενείς και ενδογενείς συνθήκες. Οι ρύποι είναι δυνατόν να διασκορπίζονται σε άλλα περιβαλλοντικά διαμερίσματα, όπως στα υπόγεια νερά ή να εκπλύνονται στα διάφορα υδάτινα συστήματα. Στην περίπτωση των λιπασμάτων, το έδαφος μπορεί να εμπλουτίζεται σε θρεπτικά συστατικά, αλλά αυτά δεν προσθέτουν τίποτα στην περίπτωση των χουμικών και των απαραίτητων εδαφικών ιχνοστοιχείων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της οργανικής ύλης, την αλλοίωση της πορώδους υφής του εδάφους και της ικανότητάς του να συγκρατεί νερό. Η μείωση του νερού οδηγεί σε αύξηση της απώλειας θρεπτικών στοιχείων και μείωση της γονιμότητας του εδάφους. Η εντατική χρήση λιπασμάτων εκ μέρους των γεωργών προκειμένου να αυξήσουν την παραγωγή (χωρίς τη σωστή διαχείριση του προβλήματος) έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τοξικότητας των νιτρικών και άλλων λιπασμάτων στο έδαφος και στα νερά.

Πολύ σημαντικά είναι τα προβλήματα ρύπανσης που δημιουργούνται από την έντονη χρήση φυτοφρμάκων και των μεταβολιτών τους στο έδαφος με αποτέλεσμα την πρόκληση τοξικών φαινομένων σε χερσαίους οργανισμούς, όπως οι γαιοσκώληκες, οι νηματώδεις οργανισμοί και οι μικροοργανισμοί που με το χρόνο υποβαθμίζουν την υφή και την ποιότητα των εδαφών. Τα περισσότερα προβλήματα προκαλούν τα φυτοφάρμακα που βιοαποικοδομούνται με αργούς ρυθμούς (μη βιοδιασπάσιμα) ή κατά τη διάσπασή τους παράγουν τοξικούς μεταβολίτες.

1.3.4 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα βαρέα μέταλλα είναι ενώσεις που δεν αποικοδομούνται μέσω φυσικών διεργασιών και παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον (Γαλανοπούλου 2005).

Η ικανότητα ή όχι ιονισμού ενός μετάλλου, ο αριθμός οξειδωσης με τον οποίο παρουσιάζεται, η δυνατότητα ή όχι σχηματισμού συμπλόκων με οργανικές ενώσεις, καθώς και η κινητικότητα του, που έχουν άμεση σχέση με τη βιοδιαθεσιμότητα, εξαρτάται κυρίως από τη φύση του ιόντος, αλλά και από τις παρακάτω ιδιότητες του εδάφους: από την τιμή του pH του εδάφους, από το δυναμικό οξειδοαναγωγής, από το

ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας του εδάφους, από την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους, από την ποσότητα των ανθρακικών αλάτων του εδάφους, από την περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου του εδάφους και από τα ορυκτά της αργίλου (Μήτσιος 2004).

Τα βαρέα μέταλλα εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα εμφανίζοντας το φαινόμενο της βιοσυσώρευσης και μέσω της διαδικασίας αυτής η έκθεση σε αυτά μπορεί να γίνει χρόνια. Τα μέταλλα συσσωρεύονται σε διαφορετικά τμήματα των ζωντανών οργανισμών και επιδρούν σε τελείως διαφορετικά ένζυμα και δραστικές ομάδες. Οι αμινο- και σουλφυδρυλο-ομάδες είναι αυτές που συμμετέχουν σ' αυτούς τους μηχανισμούς (Κουιμτζής 1989). Τοξικότητα είναι η ικανότητα μιας ουσίας -βαρέα μέταλλα- να επηρεάζει τις ζωτικές λειτουργίες ενός βιολογικού συστήματος ή ενός ζωντανού οργανισμού (Βαλαβανίδης 2007).

Τα βαρέα μέταλλα διαφέρουν ως προς την τοξικότητά τους. Ακόμα και το ίδιο μέταλλο μπορεί να ποικίλει σε τοξικότητα ανάμεσα σε διαφορετικούς οργανισμούς. Η τοξικότητά τους σχετίζεται με το είδος του μετάλλου, τη συγκέντρωσή τους και την παρουσία και δράση άλλων βαρέων μετάλλων, καθώς και το είδος του οργανισμού. Η σειρά τοξικότητας των βαρέων μετάλλων είναι:

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

Πολλές φορές αρκεί μια πολύ μικρή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο έδαφος για να προκαλέσει τοξικά φαινόμενα τα οποία επιδρούν στην αποδοτικότητα του εδάφους, στη μικροβιακή δραστηριότητα και στην ανάπτυξη της χλωρίδας. Επίσης, τα βαρέα μέταλλα προσροφούνται από την οργανική ουσία και τα αργιλικά ορυκτά του εδάφους με αποτέλεσμα να δεσμεύονται και να παραμένουν στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα επιβαρύνοντάς το (Γαλανοπούλου 2005).

Η υπερβολική απορρόφηση ορισμένων στοιχείων από τον οργανισμό του ανθρώπου, προκαλεί διαφόρων ειδών ασθένειες όπως καρκίνο και καρδιαγγειακές παθήσεις. Επίσης, στα φυτά και στα ζώα, προκαλεί τροφопενία, με αποτέλεσμα αυτά να γίνονται τοξικά όταν τα ιχνοστοιχεία βρίσκονται σε αυξημένη ποσότητα στην επιφάνεια του

εδάφους, με συνέπειες αρνητικές για την τροφική αλυσίδα και την ποιότητα των τροφών που καταναλώνονται από τον άνθρωπο (Thornton et al. 1980).

Η συνεχής έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε βαρέα μέταλλα συνδέεται με βλαβερές επιδράσεις στην ενζυμική, ορμονική και αναπαραγωγική δραστηριότητα, καθώς και βλάβες σε ζωτικά όργανα και λειτουργίες, όπως νευροφυσιολογικές διαταραχές, νεφρικές βλάβες, γενετικές αλλοιώσεις κυττάρων (μεταλλάξεις), τερατογενέσεις, καρκινογενέσεις, καθώς και θανάτους (Σιδέρης 2009).

1.3.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Οι ορυκτοί άνθρακες, ανάλογα με το βαθμό ενανθράκωσής τους διακρίνονται σε:

- τύρφη,
- λιγνίτη,
- λιθάνθρακα,
- ανθρακίτη και
- γραφίτη.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωχημική ενανθράκωση του κοιτάσματος είναι η πίεση, ο χρόνος και η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας, ακόμη και αν δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή. Υπολογίζεται ότι μία θερμοκρασία της τάξεως των $T=100 - 150^{\circ} \text{C}$, που επικρατεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, βοηθά στον σχηματισμό των λιγνιτών (Καραγιάννης 2016).

Οι λιγνίτες διακρίνονται:

- Σε μαλακούς, γαιώδεις λιγνίτες (χρώματος σκούρου καστανού έως καστανόμαυρου) και
- σε σκληρούς, συμπαγείς, αλαμπίς ή στιλπνούς (χρώματος καφέ έως μαύρου).

Περιέχουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας σε φυσική κατάσταση έως και 60%.

Ο λιγνίτης (φαιάνθρακας), είναι πέτρωμα οργανικής προέλευσης. Αποτελείται κυρίως από άνθρακα και δευτερευόντως οξυγόνο, υδρογόνο και άζωτο. Είναι σκουρόχρωμο πέτρωμα καφέ-μαύρο και περιέχει υψηλό ποσοστό υγρασίας (35-65%). Δημιουργείται

από την ενανθράκωση φυτικών οργανισμών (μετατροπή φυτών σε τύρφη και μετάβαση σε ανθρακίτη) και είναι άμορφο. Η βασική του χρήση είναι στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και σε ορισμένα λιπάσματα στη γεωργία (Φραγκίσκος 1995).

Ο λιγνίτης είναι ένα προϊόν που έχει σχηματιστεί από διάφορες χημικές και φυσικές διεργασίες των φυτικών υλών που έχουν συσσωρευτεί σε κάποια περιοχή. Η λιγνιτογένεση είναι μία μη αντιστρεπτή διαδικασία, που οδηγεί στο σχηματισμό του λιγνίτη με τα τελικά στερεά προϊόντα να είναι ο λιγνίτης, ο ανθρακίτης ο υποβιτουμενιούχος και ο βιτουμενιούχος γαιάνθρακας και με τα τελικά αέρια προϊόντα να είναι αυτά τα οποία εκλύονται από τους ορυκτούς άνθρακες. Κατά τη διάρκεια των μεταβολών αυτών, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό του στοιχειακού άνθρακα (C) μπορεί να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ή μεθανίου (CH₄). Το μεγαλύτερο μέρος του στοιχειακού άνθρακα (C) παραμένει στο κοίτασμα και το ποσοστό του αυξάνεται βαθμιαία από περίπου 60% στην τύρφη, σε ανθρακίτη σε ποσοστό 90% ή και περισσότερο. Η έναρξη της λιγνιτογένεσης ξεκινάει τη στιγμή κατά την οποία το κοίτασμα της τύρφης καλύπτεται από άλλα γεωυλικά.

Τα περισσότερα και πιο σημαντικά λιγνιτικά κοιτάσματα σχηματίστηκαν στη χώρα μας κατά το Νεογενές και το Πλειστόκαινο, στις ηπειρωτικές λεκάνες που είναι απομακρυσμένες από τη θάλασσα, κυρίως όπου και παρατηρούνται τα παχύτερα στρώματα (Πτολεμαΐδα, Φλώρινα, Αλιβέρι). Σε λεκάνες κοντά στην ακτή (Κρήτη, Κατερίνη, Πρέβεζα) το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων είναι πιο μικρό, παρόλο που η έκτασή τους είναι μεγάλη (Νικολόπουλος 2010). Ο λιγνίτης της Μεγαλόπολης δημιουργήθηκε στο Πλειστόκαινο, νεότερος λιγνίτης, είναι μαλακός και η μορφή του είναι τυρφοειδής (Νικολόπουλος 2010, Γεννηματάς 2013).

1.3.4.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Σήμερα η ΔΕΗ παράγει συνολικά περίπου 63 εκ. τόνους λιγνίτη σε ετήσια βάση. Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ επιτρέπει στη χώρα μας να κατέχει τη δεύτερη θέση στην παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, την πέμπτη θέση στην Ευρώπη και την έκτη στον κόσμο (Φραγκίσκος 1995).

Η εκμετάλλευση του λιγνίτη γίνεται επιφανειακά με την μέθοδο των ορθών βαθμίδων κλειστής εκσκαφής χρησιμοποιώντας ηλεκτροκίνητα μηχανήματα συνεχούς λειτουργίας και μαζικής εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης (καδοφόροι εκσκαφείς, ταινιόδρομοι, αποθέτες). Για να γίνει η εξόρυξη των κοιτασμάτων, αρχικά χωρίζονται τα υπερκείμενα άγονα υλικά και τα λιγνιτικά στρώματα σε βαθμίδες 10 - 30 m. Οι λιγνιτοφόροι ορίζοντες σκάπτονται κατά στρώσεις, ενώ τα υπερκείμενα άγονα υλικά μεταφέρονται, μέσω ταινιοδρόμων (Εικόνα 1.1), σε ειδικά επιλεγμένες περιοχές όπου εκεί αποτίθεται και η τέφρα. Ο λιγνίτης μεταφέρεται στις αυλές των ατμοηλεκτρικών σταθμών ή αποθήκες των λιγνιτωρυχείων (Ζηλάκου 2006). Αναλυτικότερα, ο φυσικός λιγνίτης που μεταφέρεται από τα ορυχεία αποθηκεύεται αρχικά σε σιλό, θραύεται, ξηραίνεται και στη συνέχεια μεταφέρεται με τη βοήθεια ταινιοδρόμων προς καύση σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1.1: Ταινιόδρομος ατμοηλεκτρικού σταθμού της Μεγαλόπολης

Η καύση του λιγνίτη λαμβάνει χώρα στο λέβητα της μονάδας, όπου η θερμική ενέργεια που εκλύεται από την καύση του ατμοποιεί το νερό με συνέπεια τη δημιουργία

υπέρθερμος ατμού. Ο υπέρθερμος ατμός εκτονώνεται στο στρόβιλο υψηλής πίεσης όπου και παράγεται χρήσιμο έργο. Στη συνέχεια, ο ατμός οδηγείται εκ νέου στο λέβητα προκειμένου να αναθερμανθεί, να αυξηθεί δηλαδή η θερμοκρασία του, και ακολούθως εκτονώνεται στο στρόβιλο μέσης και χαμηλής πίεσης, όπου παράγεται επιπλέον έργο. Κατόπιν, ο ατμός εισέρχεται στο ψυγείο της μονάδας όπου συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού νερού. Ο συμπυκνωμένος ατμός προθερμαίνεται με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας και οδηγείται μέσω αντλιών και πάλι στο λέβητα ολοκληρώνοντας ένα θερμικό κύκλο. Η θερμική ενέργεια που απάγεται από το νερό ψύξης αποβάλλεται στον πύργο ψύξης. Στον άξονα του στρόβιλου, ο οποίος περιστρέφεται με 3000 στρ./λεπτό, είναι συνδεδεμένη η γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Για την παραγωγή 1 KWh απαιτείται η καύση 1,85 Kg λιγνίτη περίπου και η κατανάλωση 2,5 λίτρων νερού ψύξης.

Έχει χαμηλό κόστος εξόρυξης, σταθερή και άμεσα ελέγξιμη τιμή και παρέχει σταθερότητα και ασφάλεια στον ανεφοδιασμό καυσίμου. Λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε ενέργεια και της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, ο λιγνίτης δεν μπορεί να μεταφερθεί εύκολα κι ως εκ τούτου χρησιμοποιείται από εργοστάσια που είναι τοποθετημένα πολύ κοντά σε ορυχεία λιγνίτη. Για τους ίδιους λόγους ο λιγνίτης δεν αποτελεί συχνό εμπόρευμα στη παγκόσμια αγορά, αλλά χρησιμοποιείται τοπικά από την κάθε χώρα εξόρυξής του. Το υψηλό ποσοστό υγρασίας του λιγνίτη τον κάνει εξαιρετικά επικίνδυνο για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, καθώς από την καύση του προκαλείται μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση, κάτι που έχει κάνει διάφορους επιστήμονες να υποστηρίζουν ότι ο λιγνίτης πρέπει να μένει θαμμένος στη γη και να μην εξορύσσεται.

1.3.4.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Η Ελλάδα, μαζί με τη Γερμανία, την Πολωνία και την Τσεχία, ευθύνονται για περισσότερο από το 1/3 της παγκόσμιας παραγωγής άνθρακα. Ωστόσο, ο λιγνίτης βρίσκεται ανάμεσα στις χειρότερες πηγές τοξικών ρυπαντών του αέρα παγκοσμίως. Μόνο για το 2012, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) ανακοίνωσε ότι 7 εκατομμύρια άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους ως αποτέλεσμα της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Στην Ευρώπη,

κάθε θάνατος που μπορεί να αποδοθεί σε τέτοια έκθεση εκτιμάται ότι συμβαίνει πιο πρόωρα κατά 11 χρόνια.

Ο λιγνίτης προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος που οφείλεται στα αέρια που δημιουργούνται κατά την καύση του (διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου).

Η εξόρυξη του λιγνίτη στα ορυχεία ανοιχτής τάφρου απελευθερώνει στο περιβάλλον διοξείδιο του θείου και νιτρώδεις ατμούς και η ρύπανση είναι πολύ σοβαρότερη από αυτή που προκαλείται από την καύση υδρογονανθράκων. Το SO₂ αντιδρά στην ατμόσφαιρα δημιουργώντας τριοξείδιο του θείου (SO₃), το οποίο σχηματίζει ομίχλη θειικού οξέος καθώς εμφανίζει έντονη δραστικότητα με υδρατμούς. Τα οξείδια του αζώτου ευθύνονται για το φαινόμενο της διάσπασης του όζοντος (O₃), της όξινης βροχής, και τη δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτικών (Γαβριηλίδης 2012). Επιπλέον, αυξάνεται η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και το ποσοστό καρκινογόνων ουσιών. Η απελευθέρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και το CO προκαλεί προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία δυσχεραίνοντας την οξείδωση του εγκεφάλου με αποτέλεσμα τη μείωση της πνευματικής αλλά και της σωματικής κατάστασης λόγω δυσλειτουργιών σε διάφορα όργανα.

Η **ιπτάμενη τέφρα** είναι ένα στερεό και κονιώδες υλικό, που παράγεται κατά την καύση των κωνιοποιημένων στερεών καυσίμων (λιθάνθρακες, λιγνίτες, τύρφη) στους λέβητες των θερμοηλεκτρικών σταθμών, περιέχεται μέσα στο λιγνίτη και, κατά τη διαδικασία καύσης, απελευθερώνεται. Ακολουθώντας, συμπαρασύρεται από το ρεύμα των καυσαερίων και συλλέγεται στις εγκαταστάσεις αποκονίωσης (ηλεκτροστατικά φίλτρα). Οι ποσότητες της τέφρας που παράγεται είναι αυξημένες, λόγω της ξηρής καύσης που εφαρμόζεται κυρίως στους σταθμούς καύσης λιγνίτη. Αυτή η καύση, επίσης, μεταβάλλει ποιοτικά την παραγόμενη ιπτάμενη τέφρα αυξάνοντας τα χονδρόκοκκα και ακανόνιστου σχήματος σωματίδια έναντι των σφαιρικών λεπτόκοκκων. Η ιπτάμενη τέφρα Μεγαλόπολης χαρακτηρίζεται ως υλικό που κατατάσσεται στις χαμηλού ασβεστίου τέφρες και μάλιστα στην κατηγορία των όξινων τεφρών (Stivanakis et al. 2003).

Η τέφρα είναι ένα αναπόφευκτο παραπροϊόν της καύσης του λιγνίτη. Χωρίζεται σε ιπτάμενη και υγρή, το πιο λεπτόκοκκο μέρος της παρασύρεται από τα καυσαέρια και

λέγεται ιπτάμενη τέφρα, ενώ το μέρος της τέφρας που αναμιγνύεται με υγρασία και σχηματίζει πιο χονδροκόκκα σωματίδια που καθιζάνουν στον λέβητα καλείται υγρή τέφρα (Κωτούλας 2007). Σύμφωνα με τους Γιδαράκο – Αϊβαλιώτη (2005), ενδεικτική σύσταση για την ιπτάμενη τέφρα είναι η ακόλουθη 45% SiO₂, 25% Al₂O₃, 15% Fe₂O₃, 10% CaO, 1% MgO, 1% K₂O, 1% Na₂O και 1% SO₃.

Η τέφρα αυτή έχει μεγάλη περιβαλλοντική σημασία γιατί περιέχει διάφορα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία σε μεγάλες συγκεντρώσεις οι οποίες είναι δυνατόν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις, να αποτεθούν στα διάφορα οικοσυστήματα και να δημιουργήσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Επιπροσθέτως, οι επιφανειακές εκμεταλλεύσεις λιγνίτη, εξ αιτίας των τεράστιων εκσκαφών και των εκτεταμένων αποθέσεων που προκύπτουν αναγκαστικά, προκαλούν σοβαρές αλλοιώσεις της γεωμορφολογίας του εδάφους και της αισθητικής του φυσικού τοπίου, διαταραχές στην πανίδα και χλωρίδα και ανατροπή της ισορροπίας των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

1.3.5 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν τα ακόλουθα βαρέα μέταλλα: Μαγγάνιο, Νικέλιο, Χρώμιο, Χαλκός, Ψευδάργυρος και Μόλυβδος.

ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn): Το μαγγάνιο είναι το χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 25, ειδικό βάρος 7,44, σημείο τήξης 1.244°C και σημείο βρασμού 1.962°C. Είναι ένα σκληρό και εύθρυπτο αργυρόχρωμο μέταλλο, αρκετά δραστικό, αντιδρά με θερμό νερό με έκλυση υδρογόνου και καίγεται εύκολα στον αέρα. Είναι από τα πιο άφθονα ιχνοστοιχεία στη λιθόσφαιρα. Η κοινή του εμφάνιση στα πετρώματα κυμαίνεται από 350 έως 2000 mg/kg αλλά σχετίζεται και με υψηλότερες συγκεντρώσεις σε πυριτικά πετρώματα. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, το Mn οξειδώνεται και τα οξείδια καταβυθίζονται και συγκεντρώνονται σε δευτερογενείς μορφές ορυκτών μαγγανίου, συχνά σε μορφές συμπυγμάτων ή οξειδίων. Κάτω από τροπικές και υποτροπικές συνθήκες το Mn συγκεντρώνεται σε υπολειμματικές εναποθέσεις, ενώ κάτω από υγρά και πιο ψυχρά

κλίματα το Mn διηθείται από όξινα διαλύματα από τα ιζήματα και τα εδάφη (Gaillardet et al. 2003).

Χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία μετάλλου για ατσάλι και διάφορα κράματα, παρέχοντας σκληρότητα και ανθεκτικότητα και ως αντιοξειδωτικό. Τα κράματά του χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρο-βιομηχανία. Επίσης, χρησιμοποιείται στην παραγωγή χρωστικών κεραμικών και γυαλιού, στα καύσιμα και στην παραγωγή φαρμάκων. Η φωσφορική επικάλυψη μαγγανίου χρησιμοποιείται για την αποτροπή διάβρωσης και οξείδωσης σε χάλυβα.

Το ιονισμένο μαγγάνιο χρησιμοποιείται βιομηχανικά ως χρωστική σε διάφορα χρώματα, με το χρωματισμό να εξαρτάται από τη βαθμίδα οξείδωσης των ιόντων. Τα υπερμαγγανικά (MnO_4^-) των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών είναι ισχυρά οξειδωτικά. Όλες οι ενώσεις του Mn είναι από τα πολύ σημαντικά συστατικά του εδάφους, γιατί αυτό το μέταλλο είναι ουσιώδες στη θρέψη των φυτών και ελέγχει την μικροβιακή δραστηριότητα των εδαφών. Η κινητικότητά του στα εδάφη εξαρτάται αρκετά από το pH και τις ικανότητες οξειδοαναγωγής. Το Mn, ως δραστικό μέταλλο (το δραστικότερο από τα μέταλλα της τρίτης ομάδας), διαλύεται σε όλα τα αραιά ισχυρά οξέα, καθώς επίσης και στο οξικό οξύ με έκλυση H_2 . Επίσης, διαλύεται και σε οξειδωτικά οξέα, όπως το πυκνό-θερμό H_2SO_4 και το HNO_3 . Το Mn δεν προσβάλλεται από διαλύματα ισχυρών βάσεων.

Επιπλέον, το μαγγάνιο θεωρείται ένα από τα ασφαλέστερα μέταλλα, επειδή, αν υπάρξει υπερκατανάλωση μαγγανίου, η απορρόφηση είναι πολύ χαμηλή και το υπόλοιπο αποβάλλεται από τη χολή και τα νεφρά. Για το λόγο αυτό, δεν έχουν σημειωθεί τοξικές δράσεις στον άνθρωπο, αν και η πιθανότερη είναι νευρολογικές διαταραχές.

ΝΙΚΕΛΙΟ (Ni): Το χημικό στοιχείο Νικέλιο έχει ατομικό αριθμό 28, ατομικό βάρος 58,71, ειδικό βάρος 8,9, θερμοκρασία τήξης $1453^{\circ}C$ και θερμοκρασία βρασμού $2732^{\circ}C$. Στη φύση δε βρίσκεται σε αυτοφυή μορφή. Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση, εύπλαστο, σκληρό μέταλλο με λάμψη. Σημαντικές φυσικές ιδιότητές του είναι η μαγνητική συμπεριφορά και η αντοχή του σε μεγάλες πιέσεις. Είναι ελατό και όλκιμο και σε θερμοκρασίες δωματίου έχει ιδιότητες όμοιες με αυτές του χάλυβα.

Το νικέλιο χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία, σε κράματα και επιμεταλλώσεις. Τα κράματά του χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη, αυτοκίνητα, μπαταρίες, καταλύτες, πυρηνικούς αντιδραστήρες κ.ά.

Το Νι στο έδαφος είναι έντονα συνδεδεμένο με τα οξείδια Fe και Mn. Επίσης τα αργιλικά ορυκτά, ιδίως ο μοντμοριλλονίτης, εμφανίζουν την ικανότητα να το δεσμεύουν στην επιφάνειά τους. Σχηματίζει σταθερές ενώσεις με τα οξείδια του Fe και του Mn καθώς επίσης και με την οργανική ουσία σχηματίζοντας οργανομεταλλικές ενώσεις (Θέος 2010). Η διαλυτότητα και η κινητικότητα του νικελίου εξαρτάται από το pH και αυξάνει με την ελάττωση του pH. Η μέση περιεκτικότητα του Νι στη λιθόσφαιρα είναι περίπου 100 mg/kg, ενώ στα ιζηματογενή πετρώματα 5-90 mg/kg (Ιωάννου 2001). Το Νικέλιο εμφανίζεται ως το 24^ο πιο άφθονο στοιχείο στο φλοιό της γης, ενώ η Ε.Ε. (86/278), έθεσε ως μέγιστο επιτρεπτό όριο τα 75mg/kg⁻¹ συγκέντρωσης του στοιχείου αυτού σε εδαφικές επιφάνειες (Παπάζογλου 2004).

Φυσικές πηγές του στοιχείου Νι στο περιβάλλον αποτελούν η καύση της βλάστησης από πυρκαγιά, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και η μεταφορά σκόνης από μια περιοχή σε άλλη (Iyaka 2011). Ανθρωπογενείς δράσεις (π.χ. βιομηχανίες, αγροτικές συνήθειες, καύση στερεών και υγρών καυσίμων αλλά και αστικών αποβλήτων (Clayton & Clayton 1994) ελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες του στοιχείου στο περιβάλλον, οι οποίες καταλήγουν στο έδαφος, ως τον τελικό αποδέκτη και προκαλούν τη ρύπανσή του. Μέσω του εδάφους μεταφέρονται με τη διατροφική αλυσίδα στα φυτά, στα ζώα και στον άνθρωπο.

Η τοξικότητα του μετάλλου και των ανόργανων ενώσεών του είναι σημαντική. Μερικές από τις ενώσεις του θεωρούνται καρκινογόνες και τερατογόνες κι ενώ είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών όταν εμφανίζεται σε μικρές συγκεντρώσεις (Kahle 1993), αντίθετα σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι βλαβερό και τοξικό για τους οργανισμούς (Blaylock & Huang 2000). Εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό με την εισπνοή, το πόσιμο νερό, την κατανάλωση τροφίμων, το κάπνισμα και την επαφή αντικειμένων με επίστρωση Νικελίου με το ανθρώπινο δέρμα, προκαλώντας αλλεργικές αντιδράσεις, καρκίνο στον πνεύμονα, γενετικές ανωμαλίες, δερματοπάθειες κ.ά.

ΧΡΩΜΙΟ (Cr): Το χημικό στοιχείο Χρώμιο έχει ατομικό αριθμό 24, ατομική μάζα 51,9 και σημείο τήξης 1857°C. Είναι μέταλλο χρώματος ασημί, σκληρό και εύθραυστο, ισχυρά αντιδιαβρωτικό και αντιοξειδωτικό.

Απελευθερώνεται στο περιβάλλον από φυσικές πηγές -διάβρωση και αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων και κυρίως των υπερβασικών- και ανθρωπογενείς πηγές -βιομηχανικές δραστηριότητες, απόβλητα κυρίως βυρσοδεψίων, απορρίμματα, διαρροές, καθώς επίσης και απόθεση και έκπλυση ατμοσφαιρικών σωματιδίων από τις βιομηχανίες (Richard & Bourg 1991). Στο έδαφος και τα υπόγεια ύδατα το χρώμιο απαντάται είτε ως τρισθενές χρώμιο είτε ως εξασθενές, το οποίο είναι αποτέλεσμα κυρίως ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Η μορφή του ως Cr^{+6} , που είναι η πιο ευκίνητη και η πιο τοξική μορφή, βρίσκεται σε ρυπασμένες περιοχές, κυρίως στα αργιλώδη και ιλυώδη εδάφη.

Η παγκόσμια μέση περιεκτικότητα του Cr στα εδάφη είναι 60 mg/kg. Η περιεκτικότητα του στοιχείου στο έδαφος καθορίζεται κυρίως από την αφθονία του στο μητρικό πέτρωμα. Για το λόγο αυτό, οι υψηλότερες περιεκτικότητές του, βρίσκονται σε εδάφη που προέρχονται από υπερβασικά και βασικά πετρώματα, καθώς και από αργιλικά ιζήματα. Ενώ σε εδαφικά δείγματα σε εδάφη της Ευρώπης και των ΗΠΑ εμφανίζεται μια μέση συγκέντρωση στα 37 mg/Kg και 60mg/kg (Salminen et al. 2005) στον ελλαδικό χώρο οι ολικές συγκεντρώσεις του μετάλλου είναι υψηλότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη γεωμορφολογία της Ελλάδας και στις υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου των υπερβασικών πετρωμάτων (Salminen et al. 2005).

Χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία (επιμεταλλώσεις), στην παρασκευή κραμάτων, ως συντηρητικό ξυλείας, στην παρασκευή μη θερμαγωγών τούβλων κ.ά. Σε υψηλές συγκεντρώσεις το εξασθενές χρώμιο μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο καρκίνο του πνεύμονα, βλάβη στο ήπαρ και στους νεφρούς, δερματίτιδες κ.ά. Όταν απελευθερωθεί στο περιβάλλον διεισδύει στο έδαφος και καταλήγει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

ΧΑΛΚΟΣ (Cu): Ο χαλκός είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29, ατομικό βάρος 63,546, και σημείο τήξης 1084,6°C, χρώματος κοκκινωπού, ελατό και όλκιμο, σχετικά μαλακό, με

μεταλλική λάμψη και με μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Είναι στοιχείο απαραίτητο για τη ζωή και απαντάται ευρέως στη φύση ως αυτοφυές, αλλά και ενσωματωμένο σε ορισμένα ορυκτά και μεταλλεύματα (χαλκοπυρίτης, μαλαχίτης, αζουρίτης, κυπρίτης κ.ά.). Ανήκει στα στοιχεία μετάπτωσης και έχει δύο αριθμούς οξείδωσης (+1, +2).

Η μέση συγκέντρωσή του στο στερεό φλοιό της γης είναι 50 mg/kg (Alloway 1990), όμως η συγκέντρωση της ποσότητάς του από μόνη της, δεν αποτελεί ένδειξη τοξικότητας για τα φυτά, παρά μόνο σε συνδυασμό και με άλλους εδαφικούς παράγοντες. Οι όξινες συνθήκες εδάφους (pH<6) βοηθούν στη διαθεσιμότητα του χαλκού αυξάνοντας την τοξικότητά του στα φυτά.

Απελευθερώνεται στο περιβάλλον, τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Φυσική πηγή του χαλκού αποτελεί η επιφανειακή του οξείδωση κατά την οποία απελευθερώνονται στο περιβάλλον ιόντα Cu^{2+} . Αυτά καταλήγουν στα ιζήματα, είτε μέσω της επιφανειακής απορροής και της έκπλυσης των εδαφών, είτε απευθείας από την ατμόσφαιρα. Ανθρωπογενείς πηγές χαλκού είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες και κυρίως επιμεταλλώσεις, γαλβανοποιήσεις, κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και καλωδίων, η βιομηχανία λιπασμάτων, η εκτεταμένη χρήση γεωργικών φαρμάκων, οι ναυπηγικές δραστηριότητες, οι εξορυκτικές δραστηριότητες μεταλλευμάτων του χαλκού, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τα χρώματα και τα συντηρητικά ξυλείας κ.ά.

Η πρόσληψη του χαλκού σε μεγάλες ποσότητες από τον άνθρωπο δημιουργεί προβλήματα όπως διαταραχές του κεντρικού νευρικού συστήματος, προβλήματα στο σκώτι και τα νεφρά, γαστρεντερικούς ερεθισμούς κ.ά.

ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (Zn): Ο Ψευδάργυρος είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 30, ατομικό βάρος 65,38 και θερμοκρασία τήξης 419,58°C. Είναι απαραίτητο στοιχείο για πολλές ενζυμικές και φυσιολογικές λειτουργίες στους ζωντανούς οργανισμούς.

Φυσική πηγή του ψευδαργύρου αποτελεί η αποσάθρωση διαφόρων ορυκτών του, όπως του σφαλερίτη, διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών και δευτερογενών ορυκτών της αργίλου (Ιωάννου 2001). Οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης είναι εφαρμογές στη βιομηχανία, όπως η μεταλλουργία, οι επιμεταλλώσεις (γαλβανισμός), οι μπαταρίες, η

κατασκευή κραμάτων, τα φαρμακευτικά προϊόντα, η παραγωγή χαρτιού, τα φωσφορικά λιπάσματα, καθώς και η αποτέφρωση αποβλήτων και η καύση ορυκτών καυσίμων.

Η μέση συγκέντρωση του Zn στον ανώτερο φλοιό της γης είναι περίπου 67 mg/kg, ενώ στα εδάφη 70 mg/kg (Kabata-Pendias 2011). Αν και η ύπαρξή του ως ιχνοστοιχείο είναι απαραίτητη για τη ζωή, όταν βρίσκεται σε υπερβολικές ποσότητες στο περιβάλλον είναι τοξικό, ειδικά για τα φυτά, αφού επηρεάζει αρνητικά τη θρέψη τους και αναστέλλει τις λειτουργίες των χλωροπλαστών επηρεάζοντας τη φωτοσύνθεση. Στον ανθρώπινο οργανισμό εισέρχεται μέσω του αναπνευστικού και του γαστρεντερικού συστήματος ή από το δέρμα και προκαλεί πονοκεφάλους, ναυτία, δερματίτιδες κ.ά. (Solomons 1980).

ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb): Το χημικό στοιχείο Μόλυβδος έχει ατομικό αριθμό 82, ατομικό βάρος 207,2, ειδικό βάρος 11,3 και θερμοκρασία τήξης 327°C και είναι τοξικό ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις. Ο μόλυβδος συναντάται στο φυσικό περιβάλλον κυρίως ως γαληνίτης, ορυκτό που αποτελείται από μόλυβδο και θείο.

Η μέση συγκέντρωση του Pb στους επιφανειακούς ορίζοντες του εδάφους στον κόσμο είναι 27mg/kg (Kabata-Pendias 2011). Οι χαμηλότερες περιεκτικότητες Pb (μέχρι 40 mg/kg), βρίσκονται στα ελαφρά αμμώδη εδάφη, και οι υψηλότερες (έως και 90 mg/kg), σε βαριά αργιλώδη εδάφη.

Φυσικές πηγές του είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων, η σκόνη των ερήμων, ηφαιστειακές εκρήξεις κ.ά. Οι ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης από μόλυβδο είναι πολλές, όπως και οι χρήσεις του. Έτσι, είναι οι μεταλλευτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, τα αέρια απόβλητα καύσης της βενζίνης στην οποία περιέχεται ως αντικροτικό, οι χρωστικές που έχουν ως βάση τους τον Pb, καθώς και η κατασκευή σωλήνων φωταερίου, η επένδυση ηλεκτρικών αγωγών, η κατασκευή παιχνιδιών, συσσωρευτών, τυπογραφικών στοιχείων, μπαταριών, η κεραμική και η υαλουργία, η στίλβωση σκευών, καθώς και πολλά εντομοκτόνα και λιπάσματα (Reddy et al. 2005). Ο μόλυβδος είναι ένα στοιχείο που δημιουργεί πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα επειδή εφαρμόζεται ευρέως στην τεχνολογία.

Ο Pb αποτελεί τοξικό μέταλλο με ιδιαίτερα τοξικές τις οργανικές του ενώσεις. Η επίδρασή του εμφανίζεται πρώτα στο αιμοποιητικό σύστημα, όπου εμποδίζει τη

σύνθεση της αιμοσφαιρίνης. Επηρεάζει επίσης το νευρικό σύστημα και μπορεί να συσσωρεύεται στα κόκκαλα, ενώ είναι ιδιαίτερα επιβλαβής στα παιδιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Μεγαλόπολη είναι ένα εύφορο οροπέδιο στην Αρκαδία (Εικόνα 2.1). Αποτελεί έδρα δήμου και περιλαμβάνει 31 οικισμούς σε όλη την περιοχή. Βρίσκεται κοντά στην Τρίπολη (μόλις 31 km) και απέχει από την Αθήνα 200 km. Το Λεκανοπέδιο Μεγαλόπολης, έκτασης 730 στρ., καλύπτει γεωγραφικά τον ομώνυμο Δήμο και μέρος του Δήμου Γορτυνίας της Περιφερειακής Ενότητας Αρκαδίας, Περιφέρειας Πελοποννήσου. Εκτείνεται από τις παρυφές του Ταΰγετου έως τις παρυφές του Μαίναλου και το Λύκαιο Όρος και διασχίζεται από τον Αλφειό ποταμό και παραποτάμους του.



Εικόνα 2.1: Δήμος Μεγαλόπολης (πηγή: <https://el.wikipedia.org>)

Η Μεγαλόπολη είναι μια σύγχρονη πόλη με όλες τις απαραίτητες υποδομές για τους κατοίκους και αρκετά έργα ανάπλασης, όπου διοργανώνονται πολλές εκδηλώσεις ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Έχει πνευματικό κέντρο, μορφωτικό σύλλογο και μεγάλη ερασιτεχνική πίστα Moto-Cross. Η πεδιάδα της καλύπτεται από δάση δρυών και καλλιέργειες. Παλιότερα ήταν λίμνη που κάλυπτε έκταση 220 km², με υδρόβια φυτά,

δένδρα και σπονδυλωτά ζώα. Η οργανική ύλη αυτών των φυτών και των ζώων που απολιθώθηκαν σχημάτισαν το στρώμα του λιγνίτη της ευρύτερης περιοχής.

Τα λιγνιτικά πεδία Μεγαλόπολης εκτείνονται δυτικά και νότια της ομώνυμης πόλης, καταλαμβάνοντας μεγάλο μέρος της λεκάνης που δημιουργείται ανάμεσα στους περιφερειακούς ορεινούς όγκους της περιοχής. Οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ (ορυχεία - αποθέσεις - κτίρια κλπ.) (Εικόνα 2.2), στο μεγαλύτερό τους ποσοστό, υπάγονται στην πρώην Επαρχία Μεγαλόπολης και ένα μικρό μόνο τμήμα τους στην Επαρχία Γορτυνίας (Ο.Τ.Α. Γόρτυνος) του Νομού Αρκαδίας.



Εικόνα 2.2: Άποψη ατμοηλεκτρικού εργοστασίου Μεγαλόπολης

Πριν το ν. 2539/1997 σε αυτή την περιοχή υπήρχαν δύο (2) Δήμοι (Μεγαλόπολης και Ανατολικής Φαλαισίας), εξήντα έξι (66) Κοινότητες και είκοσι εννέα (29) Οικισμοί. Ο συνολικός πραγματικός πληθυσμός τους, σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 1991, ήταν 14.939 κάτοικοι. Με την εφαρμογή του ν. 2539/1997 οι εν λόγω Ο.Τ.Α. συνενώθηκαν σε τέσσερις (4) Δήμους (Γόρτυνος, Μεγαλόπολης, Τρικολώνων και Φαλαισίας). Ο πραγματικός πληθυσμός τους, σύμφωνα με την απογραφή του 2001, ήταν

14.412 κάτοικοι. Με το ν. 3852/2010 οι Δήμοι Γόρτυνος, Μεγαλόπολης και Φαλαισίας συνενώθηκαν στο νέο Δήμο Μεγαλόπολης και ο Δήμος Τρικολώνων εντάχθηκε στο νέο Δήμο Γορτυνίας. Ο πραγματικός πληθυσμός τους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ήταν 11.670 κάτοικοι.

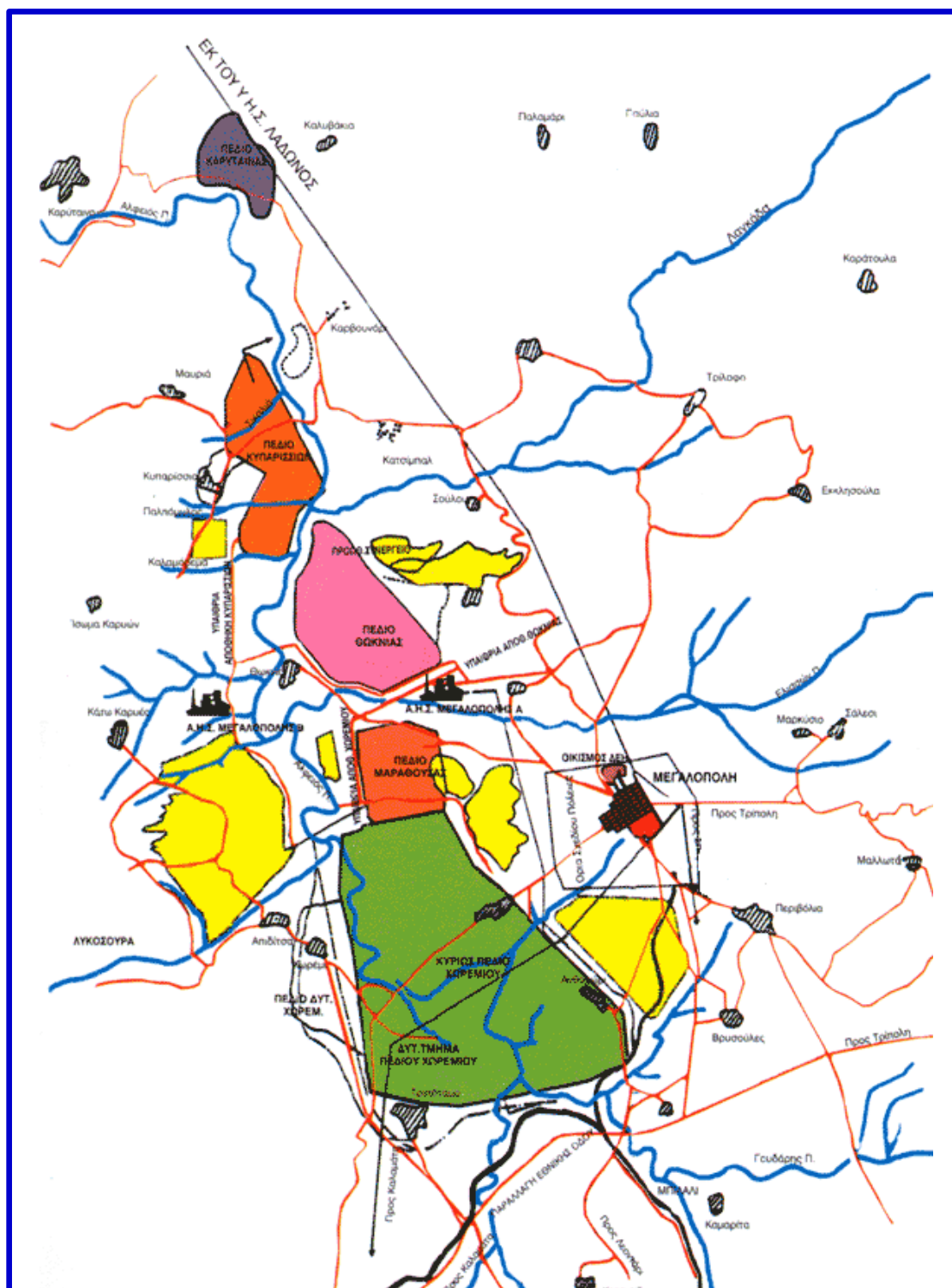
Στο Λεκανοπέδιο Μεγαλόπολης λειτουργούν, από το 1970, επιφανειακά λιγνιτωρυχεία και θερμικοί λιγνιτικοί σταθμοί της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), που έχουν αναπτυχθεί σήμερα σε έκταση περίπου 45.000 στρ.

Επειδή η δραστηριότητα της ΔΕΗ στην περιοχή αφορούσε στην εξόρυξη λιγνίτη, απαιτούσε την απασχόληση μεγάλου αριθμού προσωπικού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, να καθιερωθεί ως ο βασικότερος εργοδοτικός φορέας του τοπικού και περιφερειακού εργατικού δυναμικού, διατηρώντας αυτή την ιδιότητα ως και σήμερα (Αθανασάς, 2017). Στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης απασχολούνται σήμερα περίπου 1.000 άτομα.

Στη λεκάνη της Μεγαλόπολης απαντώνται τρία λιγνιτικά κοιτάσματα, το Χωρέμι-Μαραθούσα με ολικό πάχος 140 m, το Θωκνία-Κυπαρίσσια με ολικό πάχος 20-100 m και το Καρύταινα με ολικό πάχος 45 m (Πίνακας 1.1). Μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει το λιγνιτωρυχείο του Χωρεμίου και διαθέτει τα μεγαλύτερα αποθέματα λιγνίτη. Παράγει, όσον αφορά στη θερμαντική ικανότητα, την τέφρα και την υγρασία, έναν από τους καλύτερους λιγνίτες της Μεγαλόπολης. Από άποψη θερμαντικής ικανότητας και υγρασίας ισάξιο θεωρείται και το κοιτάσμα της Μαραθούσας το οποίο όμως περιορίζεται σε μικρότερη έκταση. Το κοιτάσμα των Κυπαρισσιών θεωρείται αξιόλογο αλλά σήμερα είναι σχεδόν εξαντλημένο.

Πίνακας 1.1: Τα λιγνιτωρυχεία της λεκάνης Μεγαλόπολης (Γεννηματάς, 2013)

	Έκταση (km ²)	Αποθέματα (Mt)	Υγρασία (%)	Τέφρα (%)	Θερμογόνος Δύναμη (kcal/kg)
Καρύταινα	1,0	9,9	69,4	11,0	695
Κυπαρίσσια	2,8	71,8	64,2	13,5	870
Θωκνία	3,3	70,1	60,0	16,7	960
Μαραθούσα	1,7	29,6	58,4	17,8	995
Χωρέμι	14,0	308,6	60,3	14,5	1.060



Εικόνα 2.3: Λιγνιτικό κέντρο Μεγαλόπολης (πηγή: <https://megalopolis.gr>)

Το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης (Εικόνα 2.3) ξεκίνησε το 2002 με ετήσια παραγωγή 1 Mt, το 2003 η παραγωγή ανήλθε στους 14,5 Mt και το 2004 στους 13,5 Mt. Η Ελλάδα

κατέχει τη δεύτερη θέση ως χώρα παραγωγής λιγνίτη στην Ευρώπη και την πέμπτη θέση στον κόσμο (Καβουρίδης κ.ά. 2005). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη στην ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης, αν οι ρυθμοί κατανάλωσης συνεχιστούν, επαρκούν για άλλα 10 χρόνια αφού ανέρχονται σε περίπου 251 Mt (Κανουρίδης et al. 2008).

Από το 1965 που δημιουργήθηκε ο ηλεκτρολογικός σταθμός της ΔΕΗ, η Μεγαλόπολη γνώρισε άνθηση, οπότε και ο πληθυσμός της διπλασιάστηκε. Σήμερα έχει 5.000 κατοίκους περίπου. Ένα μεγάλο μέρος του ενεργού πληθυσμού της εργάζεται στο σταθμό και στα έργα της ΔΕΗ.

Η Μεγαλόπολη είναι από τα σημαντικότερα ενεργειακά κέντρα της Ελλάδας. Η ΔΕΗ εκμεταλλεύεται τους λιγνίτες της περιοχής και έχει εγκαταστήσει τέσσερις μεγάλες μονάδες παραγωγής ρεύματος συνολικής ισχύος 850 MW. Στην πεδιάδα της Μεγαλόπολης γίνεται σε μεγάλες εκτάσεις εξόρυξη λιγνίτη. Για τις ανάγκες της εξόρυξης του λιγνίτη, ολόκληρα χωριά έχουν εγκαταλειφθεί και μεταφερθεί.

Ως αποτέλεσμα, είναι σημαντικές οι οικολογικές μεταβολές, οι αλλοιώσεις και οι επιπτώσεις που έχουν προκληθεί στο περιβάλλον της περιοχής. Είναι ήδη σε εξέλιξη στην περιοχή μεγάλο αναπτυξιακό έργο 'μετα-λιγνιτικής' υποδομής για την τηλεθέρμανση της Μεγαλόπολης από τα κατάλοιπα της επεξεργασίας του λιγνίτη και από τοπικά παραγόμενη βιομάζα. Η τοπική οικονομία για ολόκληρη την περιοχή στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή δραστηριότητα.

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε πολλά σημεία της λεκάνης της Μεγαλόπολης Πελοποννήσου ήταν γνωστή η ύπαρξη του λιγνίτη, κατά καιρούς πραγματοποιούνταν μικρές εργασίες εκμετάλλευσης, αλλά η πολύ χαμηλή ποιότητα του λιγνίτη δε βοήθησε στην ανάπτυξη συστηματικής παραγωγής. Όλες οι προσπάθειες εκμετάλλευσης που έγιναν από ιδιώτες ήταν σύντομες, παρόλο που οι υπαίθριες δυνατότητες εξόρυξης ήταν ευνοϊκές, δεδομένης της ύπαρξης του ποταμού Αλφειού στη ΝΔ λεκάνη της Μεγαλόπολης. Σε αυτή τη θέση, κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, εξαγόταν λιγνίτης προς χρήση των τότε ατμοκίνητων

εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής Τριπόλεως και Καλαμών. Έκτοτε, μικρές μόνο ποσότητες λιγνίτη εξορύσσονταν κατά καιρούς, προς χρήση των τοπικών κεραμοποιείων.

Για μία ευρύτερη αξιοποίηση του λιγνιτικού πεδίου της Μεγαλόπολης το μεταλλευτικό ενδιαφέρον ήταν συγκρατημένο, γιατί θεωρήθηκε ότι η ποσότητα αυτή ήταν περιορισμένη, παρά το πλήθος των λιγνιτικών εμφανίσεων στην λεκάνη. Οι εργασίες κατά το 1920 της Κρατικής Επιτροπής Καυσίμων δεν ασχολήθηκαν με το συγκεκριμένο λιγνίτη. Το Ανώτατο Οικονομικό Συμβούλιο του Κράτους (1933) υπολόγισε, ότι τα αποθέματα λιγνίτη στη Μεγαλόπολη και στη Λακωνία ανέρχονται σε 100.000tn, σε πιθανούς 500.000tn και σε δυνατούς 1.000.000tn. Ο γερμανός καθηγητής Kegel, γνωστός από την μελέτη του περί της Πτολεμαΐδας, επανέλαβε τους ίδιους αριθμούς αποθεμάτων στο Ανώτατο Οικονομικό Συμβούλιο. Επίσης, σε σχετική έκθεση του Υπουργείου Εφοδιασμού (1948), αναβαθμίζεται το απόθεμα σε πιθανούς 1.000.000tn και σε δυνατούς 2.500.000 tn. Η επικρατούσα εντύπωση περί του μικρού πάχους του λιγνιτικού στρώματος προέρχονταν μάλλον από το γεγονός ότι κατά τις εκσκαφές που έγιναν στον ποταμό Αλφειό συναντήθηκε, σε μικρό βάθος, στρώμα αργίλου κάτω από τον λιγνίτη. Κατά το έτος 1957, το γεωλογικό συνεργείο της Β΄ Υπηρεσίας του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (Ι.Γ.Ε.Υ.) ανέλαβε τη συστηματική γεωλογική και κοιτασματολογική μελέτη της λιγνιτοφόρου λεκάνης της Μεγαλοπόλεως. Το 1959, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ Α.Ε.), επειδή ενδιαφερόταν για την ενεργειακή αξιοποίηση του λιγνιτικού δυναμικού της Ελλάδας, ζήτησε να γνωρίζει τις απόψεις του Ι.Γ.Ε.Υ. για την Μεγαλόπολη. Στη συνέχεια, ανέλαβε, σε συνεργασία με οικονομικά και τεχνικά μέσα δικά της και του Ι.Γ.Ε.Υ., τη μεταλλευτική έρευνα (Καραγιάννης 2016).

Οι έρευνες βασίζονται σε γεωτρήσεις και φρέατα. Έγιναν 38 γεωτρήσεις (βάθους 70 - 100m) από τρία γεωτρήματα και δύο φρέατα σχεδόν 60m. Από τις παραπάνω γεωτρήσεις οι 33 τοποθετήθηκαν σε προκαθορισμένα σημεία κατά μήκος του Αλφειού ποταμού, κάθε 500m η κάθε μία και βάση ενός χάρτη που είχε συνταχθεί από τη ΔΕΗ Α.Ε. (μεταξύ των χωριών Ψαθί, Χωρέμι, Τριπόταμο, Μαραθούσα). Το τμήμα αυτό επιλέχθηκε λόγω των πρόδηλων κοιτασματολογικών και μεταλλευτικών πλεονεκτημάτων. Οι υπόλοιπες 5 γεωτρήσεις έγιναν σποραδικά, αναγνωριστικά σε άλλα σημεία της λεκάνης. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα δύο φρέατα έρευνας και δειγματοληψίας επιβεβαίωσαν ικανοποιητικώς τις γεωτρήσεις όσον αφορά στα

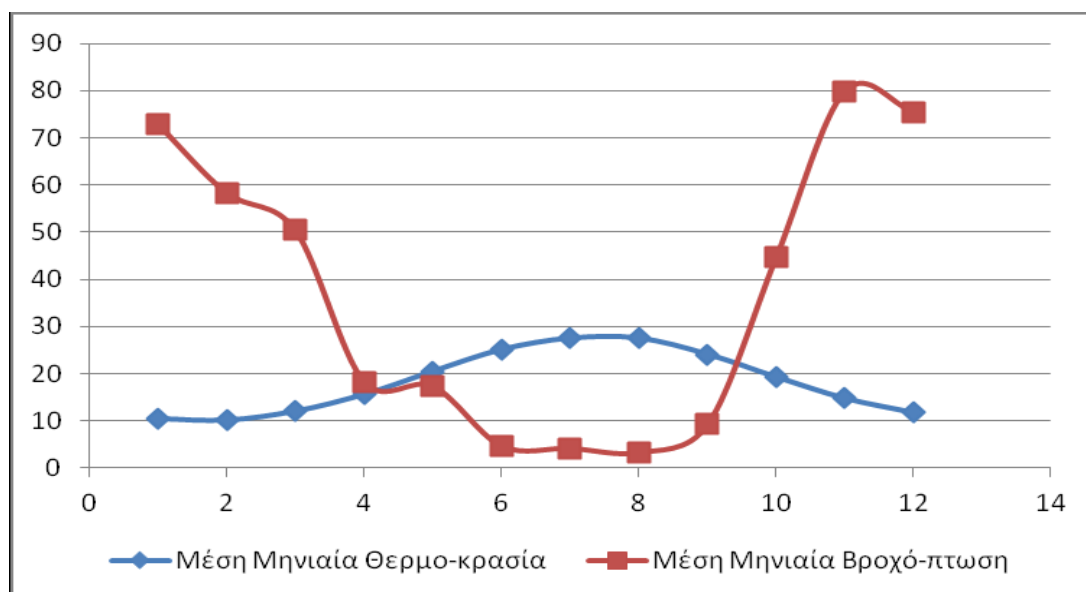
αποτελέσματα -μολονότι τα γεωτρύπανα ήταν παλαιωμένα. Λόγω ανεπάρκειας των χρησιμοποιηθέντων γεωτρυπάνων, οι γεωτρήσεις δεν ξεπέρασαν τα 100m μολονότι επιβάλλεται η μελέτη σε βάθος (Καραγιάννης 2016).

2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή μελέτης έχει κλίμα μεσογειακό προς ηπειρωτικό, εύκρατο ως ξηρό το καλοκαίρι, με ήπιους ως τραχείς χειμώνες. Η υψηλή ηλιοφάνεια καθ' όλη την διάρκεια του έτους, συνιστά το κύριο χαρακτηριστικό του κλίματος της περιοχής με σχετικά μεγάλες εποχιακές και ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται στα 800-1000mm (Γκάγκα 2007).

Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 21 έως 33°C το καλοκαίρι και 6 έως 15°C το χειμώνα. Ελάχιστες είναι οι ημέρες με αρνητική θερμοκρασία. Ο πλέον θερμός μήνας είναι ο Ιούλιος και ο πλέον ψυχρός ο Ιανουάριος. Η μέση ετήσια θερμοκρασία μεταβάλλεται από περίπου 18°C στα παράλια έως 14°C στα ορεινά. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση μεγιστοποιείται το Νοέμβριο και ελαχιστοποιείται τον Αύγουστο. Η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή κατά τους θερινούς μήνες, ενώ παρατηρείται μεγάλη διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους. Με βάση τα στοιχεία του σταθμού του Α.Η.Σ. της Μεγαλόπολης για την τελευταία τριακονταετία, ο χειμώνας εμφανίζεται σχετικά τραχύς, ενώ στη θερμή περίοδο του έτους η θερμοκρασία ανεβαίνει σε υψηλά επίπεδα. Οι τιμές των ακραίων θερμοκρασιών αλλά και των μέσων τιμών δε βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, αν και το εύρος των ακραίων τιμών είναι αρκετά μεγάλο. Ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος με μέση μηνιαία θερμοκρασία γύρω στους 6,3° C και θερμότερος ο Ιούλιος με μέση μηνιαία θερμοκρασία τους 22,7° C (Γκάγκα 2007).

Οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες και οι σχετικά λίγες ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, αποτυπώνονται πολύ χαρακτηριστικά στο ομβροθερμικό διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιοχής Μεγαλόπολης (Χριστογιαννόπουλος, 2019)

Το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων στην περιοχή μελέτης, είναι 774 mm, η δε εποχιακή τους κατανομή είναι άνιση. Οι περισσότερες βροχοπτώσεις λαμβάνουν χώρα κατά τη χειμερινή και την εαρινή περίοδο. Οι χιονοπτώσεις είναι συνήθεις, ειδικά στις ορεινές περιοχές κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου - Απριλίου. Οι χαλαζοπτώσεις είναι σπάνιες. Από τις ποσότητες αυτές περίπου το μισό επανέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Με βάση την ταξινόμηση των κατακρημνισμάτων, η περιοχή μελέτης ανήκει στην Εύκρατη Μεσογειακή ζώνη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στους πρώτους και τελευταίους μήνες του υδρολογικού κύκλου το ύψος βροχών είναι μικρό και δεν επηρεάζει τους υπόγειους υδροφορείς. Αντίθετα, οι μήνες Νοέμβριος, Δεκέμβριος και Ιανουάριος, έχουν μέση ετήσια βροχόπτωση άνω των 70 mm και είναι εκείνοι κατά τους οποίους γίνεται ουσιαστική αναπλήρωση του εδαφικού νερού και τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων (Χριστογιαννόπουλος 2019).

Η περιοχή της Μεγαλόπολης χαρακτηρίζεται από υψηλή υγρασία που επικρατεί καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Οι μεγαλύτερες τιμές υγρασίας εμφανίζονται κατά την ψυχρή περίοδο και οι χαμηλότερες κατά τη θερινή περίοδο (Ιούνιος – Ιούλιος). Η μέση σχετική υγρασία αέρα από το 1971 και μετά ανέρχεται σε 67,9%.

2.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη της Μεγαλόπολης είναι ένα γεωλογικά νέο, ρηξιγενές βύθισμα. Περιβάλλεται από τα όρη Μαίναλο προς Βορρά, Ταΰγετο προς Νότο, Λύκαιο προς τα δυτικά. Ο μέγιστος άξονας της λεκάνης έχει διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και μήκος 20 χλμ. περίπου, ενώ ο εγκάρσιος άξονάς της δεν υπερβαίνει τα 12 χλμ. Καταλαμβάνει έκταση περίπου 200 km² και το επίπεδό της έχει μέσο υψόμετρο 410 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η φυσική αποστράγγιση της λεκάνης γίνεται μέσω του Αλφειού ποταμού και των παραποτάμων του στο βορειοδυτικό τμήμα της. Η λεκάνη δομείται από χαλαρά πετρώματα, λιμναία κυρίως προέλευσης έως ηπειρωτικής (Καραγιάννης 2016).

Η λιμναία φάση περιλαμβάνει λεπτομερή ιζήματα ενώ η ηπειρωτική κλαστικά. Στις πλευρές της λεκάνης υπάρχουν χαραδρώσεις βαθιές, ενώ στο εσωτερικό της στρογγυλοί λοφίσκοι χαμηλής μορφολογίας (Γκάγκα 2007).

Το πιο ομαλό σημείο της λεκάνης έχει πλάτος 1 km, είναι η κοιλάδα του Αλφειού, με έδαφος μετρίως γόνιμο. Εκεί βρίσκονται αγροτικές εκτάσεις, ποτιστικές και εκτάσεις που δεν καλλιεργούνται και καλύπτονται από χαμηλή βλάστηση. Τη λεκάνη χαρακτηρίζει ομαλό ανάγυφο. Η επιφανειακή εξόρυξη του λιγνίτη προκαλεί σημαντικές αλλαγές στη γεωμορφολογία. Τα πεδία των εκμεταλλεύσεων καλύπτονταν κυρίως από αγρούς, βοσκότοπους και δάση, όμως διακρίνονται και αρκετά μικρά φαράγγια, που σχηματίστηκαν από τον Αλφειό και τους παραπόταμούς του, όπως και ποτάμιες αναβαθμίδες.

2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης αναπτύχθηκε πάνω στους ημιμεταμορφωμένους σχηματισμούς του αυτόχθονου υποβάθρου της Πελοποννήσου και στις γεωτεκτονικές ζώνες Γαββρόβου-Τριπόλεως και Ωλονού-Πίνδου και δομείται από τους ακόλουθους σχηματισμούς:

Στο υπόβαθρο, τα μεταμορφωμένα πετρώματα της φυλλιτικής - χαλαζιτικής σειράς (Περμοτριάδικής ηλικίας), αποτελούμενα κυρίως από σχιστόλιθους που εναλλάσσονται με χαλαζίτες και εμφανίζονται στο ανατολικό-βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης της

Μεγαλόπολης και τα στρώματα του Τυρού. Αυτά δομούνται κυρίως από ασβεστόλιθους-δολομίτες, ψαμμιτικούς δολομίτες, φυλλίτες χαμηλής μεταμόρφωσης κ.ά., τα οποία εμφανίζονται βόρεια-βορειοανατολικά της πόλης της Μεγαλόπολης.

Ακολουθούν σε τεκτονική επαφή με τα παραπάνω πετρώματα τα ιζηματογενή πετρώματα των ζωνών Ωλονού-Πίνδου και Γαββρόβου-Τρίπολης, τα οποία συνίστανται από θαλάσσια χημικά και βιοχημικά ιζήματα, όπως ασβεστόλιθοι, δολομίτες και κερατόλιθοι, καθώς και από φλύσχη κυρίως ψαμμιτικής φάσης. Αναλυτικότερα, τα ιζηματογενή πετρώματα της ζώνης Τρίπολης εξαπλώνονται σε μεγαλύτερη έκταση στα βορειοανατολικά, ανατολικά, νοτιοανατολικά και νότια περιθώρια της λεκάνης της Μεγαλόπολης. Η ανθρακική σειρά (Ανώτερο Τριαδικό - Ανώτερο Ηώκαινο) δομείται κυρίως από ασβεστόλιθους και δολομίτες. Ο φλύσχης, Ηωκαινικής - Ολιγοκαινικής ηλικίας, ο οποίος συνίσταται από μεσόκοκκους και λεπτόκοκκους ψαμμίτες με ενστρώσεις ιλυολίθων και η αργιλοψαμμιτική σειρά του έχει αποθεθεί ασύμφωνα πάνω στους ασβεστόλιθους της ζώνης της Τρίπολης. Μεταξύ της ζώνης της Τρίπολης και του απωθημένου πινδικού καλύμματος επικάθεται σχηματισμός συνιστώμενος από ψαμμίτες, κερατόλιθους, κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους καθώς και εκρηξιγενή πετρώματα. Σχηματισμοί της ζώνης Ωλονού-Πίνδου εμφανίζονται κυρίως στις βόρειες και δυτικές πλευρές της λεκάνης της Μεγαλόπολης και σε μικρή έκταση ανατολικά και νοτιοανατολικά, όπως φλύσχης και σε μεγαλύτερη έκταση ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, λευκοί έως υπόλευκοι ή, κατά τόπους, ροδόχροοι έως λευκότεφροι (Γκάγκα 2007).

Στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης υπάρχουν μικρές σε έκταση εμφανίσεις οφιολίθων σε τεκτονική επαφή με τα πετρώματα της ζώνης της Πίνδου (Σιαβάλας 2013).

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης αποτελεί μια τεκτονική τάφρο, η οποία σχηματίστηκε μεταξύ Ολιγόκαινου και Ανώτερου Πλειόκαινου και αρχικά ήταν λίμνη, ενώ στο Κάτω Πλειστόκαινο μετατράπηκε σε έλος. Σε διάφορα σημεία της ευνοήθηκε η ανάπτυξη υδροχαρών φυτών τα οποία, αφού συγκεντρώθηκαν στον πυθμένα, καλύφθηκαν από φερτά υλικά που κατέληγαν στην περιοχή μέσω του Αλφειού ποταμού. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια διαφόρων μικροοργανισμών και σε συνθήκες υψηλής πίεσης, δημιουργήθηκαν τα λιγνιτικά κοιτάσματα της λεκάνης της Μεγαλόπολης (Ζηλάκου 2006).

Αναλυτικότερα, κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο η τάφος πληρώθηκε αρχικά με λιμναίες αποθέσεις και στη συνέχεια με εναλλαγές ποτάμιων και χερσαίων αποθέσεων, όπως μάργες, άργιλοι, άμμοι και συνάγματα πηλών. Στο κατώτερο Πλειστόκαινο δημιουργήθηκαν οι λιγνιτοφόρες αποθέσεις στην λεκάνη της Μεγαλόπολης (Γκάγκα 2007).

Οι ιζηματογενείς αυτές αποθέσεις σχηματίστηκαν από τις παλαιότερες προς τις νεώτερες ως εξής:

Τα πρώτα λιμναία ιζήματα που αποτέθηκαν είναι τα ιζήματα της **βαθμίδας του Μακρυσίου** και συνίστανται από μάργες με θραύσματα φυτικών υπολειμμάτων και λιγνιτικά στρώματα. Τα ιζήματα της ζώνης αυτής είναι ασύμφωνα τοποθετημένα πάνω στο φλύσχη και στους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους.

Στο τέλος του Ανώτερου Πλειόκαινου σχηματίστηκαν οι ποτάμιες αποθέσεις της **βαθμίδας Τριλόφου**, ως αποτέλεσμα μιας ψυχρότερης και εντονότερων βροχοπτώσεων φάσης. Η έκταση των αποθέσεων φθάνει ανατολικότερα του σημερινού περιθωρίου της λεκάνης (Γεννηματάς 2013) και αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων άμμων, αργίλων και κροκαλών.

Κατά το Πλειστόκαινο δημιουργήθηκε η **βαθμίδα της Απιδίτσας** από την απόθεση αδρομερών ιζημάτων, όπως κροκαλοπαγή και ερυθροί πηλοί, τα οποία εμφανίζονται στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης και επικάθονται ασύμφωνα στα πετρώματα του υποβάθρου. Από το οργανικό υλικό που συσσωρεύτηκε στην περιοχή θεωρείται ότι προήλθαν τα λιγνιτικά κοιτάσματα της Μαραθούσας.

Στη συνέχεια σχηματίστηκαν τα ιζήματα της **βαθμίδας του Χωρεμίου** που υποδιαιρείται σε δυο ενότητες. Η πρώτη αποτελείται από τα **στρώματα Μαραθούσας** που είναι λιγνιτοφόρα και σχηματίστηκαν σε συνθήκες θερμού κλίματος. Εμφανίζεται στο κεντρικό κομμάτι της λεκάνης και τα πετρώματα συνίστανται από λιμναίες αργίλους πλούσιες σε οργανικό υλικό, καθώς και λιγνιτικά στρώματα. Ο σχηματισμός της Μαραθούσας είναι η κύρια λιγνιτοφορεία της περιοχής (Σιαβάλας 2013). Η δεύτερη ενότητα, η νεώτερη, αποτελείται από τα **στρώματα Μεγαλόπολης** που είναι ποτάμιες αποθέσεις οι οποίες αποτέθηκαν κάτω από ψυχρές κλιματολογικές συνθήκες. Δομούνται κυρίως από εναλλασσόμενα στρώματα κροκαλών, άμμων, αργίλων και ιλύων.

Η στρωματογραφικά ανώτερη βαθμίδα της λεκάνης είναι η **βαθμίδα της Ποταμιάς** και αποτελείται κυρίως από αποθέσεις ερυθροκάστανου πηλού.

Τέλος, εμφανίζεται η **βαθμίδα της Θωκνίας**, με αποθέσεις ερυθρών ιζημάτων και αδρομερών κλαστικών ιζημάτων κυρίως στα νότια τμήματα της λεκάνης. Κατά το Ολόκαινο αποτίθενται κυρίως ιζήματα (ασύνδετα αργιλικά αμμώδη υλικά, πηλοί, κροκάλες κ.ά.) που σχετίζονται με τον Αλφειό ποταμό.

2.6 ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Παραμεσογειακή ζώνη (*Quercetalia pubescentis*), στην υποζώνη των ξηρόφιλων φυλλοβόλων δασών. Χαρακτηριστικό είδος αποτελεί η δρυς μέσα σε δένδρα και θάμνους. Τα κυριότερα είδη που συναντώνται στην περιοχή είναι:

Quercus petraea-Δρυς απόδισκη, *Quercus frainetto*-Δρυς πλατύφυλλη, *Quercus pubescens*-Δρυς χνοώδης, *Quercus coccifera*-Πουρνάρι, *Quercus ithaburensis*-Βελανιδιά, *Pirus amygdaliformis*-Γκορτσιά, *Pirus malus*-Αγριομηλιά, *Pirus communis*-Αγριοχλαδιά, *Cercis ciliquastrum*-Κουτσουπιά, *Ceratonia siliqua*-Χαρουπιά, *Rhus cotinus*-Χρυσόξυλο, *Vitex agnus castus*-Λυγιά, *Acermon spesulanum*-Σφενδάμι μονσπεσουλανό, *Calycotome villosa*-Ασπάλαθος, *Platanus orientalis*-Πλάτανος, *Pistacia lentiscus*-Σχίνος, *Arbutus unedo*-Κουμαριά, *Pistacia terebinthus*-Κοκορεβυθιά, *Arbutus andrachne*-Γλυστροκουμαριά, *Laurus nobilis*-Δάφνη Απόλλωνος, *Phyllirea media*-Φιλλύκι, *Carpinus orientalis*-Γαύρος, *Sambucus nigra*-Κουφοξυλιά, *Juniperus Oxycedrus*- Άρκευθος οξύκεδρος, *Juniperus communis*-Άρκευθος κοινή, *Populus alba*-Λεύκη λευκή, *Populus tremula*-Λεύκη τρέμουλα, *Acer Platanooides*-Σφενδάμι πλατανοειδές, *Salix alba*-Ιτιά λευκή, *Cupressus sempervirens*-Κυπαρίσσι κοινό, *Olea europaea avar. sisilvestris*-Αγριελιά, *Tamarix s.sp.*-Αρμυρίκι, *Paliurus spina-christi*-Παλιούρι, *Erica arborea*-Ρείκι, *Erica verticillata*-Χαμορείκι, *Spartium junceum*-Σπάρτο, *Cistus incanus*-Λαδανιά, *Genista acanthoclanda*-Ξυλαφάνα, *Sacropoterium spinosum*-Αφάνα, *Phlomis fruticosa*-Ασφάκα, *Phragmites communis*-Καλάμι, *Juncus s.sp.*-Βούρλο, *Typha latifolia*-Ψαθί, *Euphorbia s.sp.*-Γαλατσίδα, *Thymus capitatus*-Θυμάρι, *Rubus canescens*-Βάτος, *Origanum vulgare*-Ρίγανη, *Pteridium aquilinum*-Φτέρη, *Trifolium repens*-Τριφύλλι, *Festuca ovina*-Φεστούκα, *Rosa bulbosa*-Πόα, *Hedera helix*-Κισσός, *Clematis vitalba*-Κληματίδα, *Asparagus aphillus-*

Σπαράγγι, *Mentha longifolia*-Αγριοδυόσμος, *Cyclanoe s.sp.*-Κυκλάμινο, *Achillea millefolium*-Χόρτο του Αχιλλέα, *Hypericum empetrifolium*-Υπέρικο, *Erygium campestre*-Αγκάθι, *Salvia officinalis*-Φασκομηλιά, *Avena sterilis*-Αγριοβρώμη, *Cupressus arizonica*-Γλαυκοκυπάρισσο, *Cupressus sempervirens var. horizontalis*-Οριζοντιόκλαδο κυπαρίσσι, *Ficus carica*-συκιά, *Prunus cerasus*-βυσσινιά, *Prunus mahaleb*-κερασιά, *Cedrus s.sp.*-κέδρος, *Amygdalus communis*-αμυγδαλιά, *Tilia tomentosa*-φλαμουριά, *Prunus japonicum*-Δαμασκηλιά καλλωπιστική, *Eucalyptus s.sp.*-Ευκάλυπτος, *Catalpa s.sp.*-Κατάλη, *Olea europaea*-Ελιά, *Nerium oleander*-Πικροδάφνη.

Η περιοχή μελέτης είναι σημαντική για τα αποδημητικά και τα ενδημικά πτηνά της Πελοποννήσου. Τα παρακάτω είδη εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή:

Circus cyaneus-Βαλτόκιρκος, *Circus Pygarcus*-Λιβαδόκιρκος, *Accipiter nisus*-Τσιχλογέρακο, *Buteo buteo*-Γερακίνα, *Falcon aumanni*-Κιρκινέζι, *Falco Subbuteo*-Δενδρογέρακο, *Falco eleonora*-Μαυροπετρίτης, *Scolorax rusticola*-Μπεκάτσα, *Perdix perdix*-πέρδικα, *Coturnix coturnix*-ορτύκι, *Streptotelia decaocto*-Δεκαοχτούρα, *Cuculus canorus*-Κούκος, *Athene noctua*-Κουκουβάγια, *Phasianus colchicus*-φασιανός, *Pica pica*-Καρακάξα, *Garrulus glandarius*-Κίσσα, *Columba livia*-αγριοπερίστερο, *Columba Palumbus*-φάσσα, *Turdus Philomelos*-τσιχλα, *Otus skor*-Γκιώνης, *Meropsa Piaster*-Μελλισοφάγος, *Urupa erops*-Τσαλαπετεινός, *Picus viridis*-Πρασινοτσικλιτάρα, *Dendrocopus minor*-Νανοτσικλιτάρα, *Melanocorypha calandra*-Γαλιάντρα, *Galerida cristata*-Κατσουλιέρης, *Alauda arvensis*-Σταρήθρα, *Hirundo rustica*-Χελιδόνι, *Delicho nurbica*-Σπιτοχελιδόνο, *Motacilla cinerea*-Σταχτοουσουράδα, *Troglodyte stroglydytes*-Τρυποφράκτης, *Eritha cusrubecula*-Κοκκινολαίμης, *Turdus iliacus*-Κοκκινότσιχλα, *Muscica pastrata*-Μυγοχάφτης, *Parus Major*-Καλόγερος, *Stumus vulgaris*-Ψαρόνι, *Passerdo mesticus*-Σπιτοσπουργίτης, *Passer hispaniolensis*-Χωραφοσπουργίτης, *Fringilla coelebs*-Σπίνος, *Carduelis choris*-Φλώρος, *Carduelis carduelis*-Καρδερίνα, *Lacerta graeca*-Ελληνική σαύρα, *Lacerta viridis*- Πράσινη σαύρα, *Podarcis peloronesiana*-Γουστέρα της Πελοποννήσου, *Ophiomorus punctatissimus*-Οφιόμορφη άποδη σαύρα, *Podarcis tauricaionica*-Γουστέρα η ιονική, *Cyrtopodion kotschy*-Σαμιαμίδι, *Coluber gemonensis*-Δενδρογαλιά, *Coluber najadum*-Σαΐτα, *Natrix natrix*-νερόφιδο, *Vipera berus*-Οχιά, *Vipera ammodytes*-Αστρίτης, *Malpolon monspessulanus*-Σαπίτης, *Elaphes itula*-Σπιτόφιδο, *Ophisaurus apodus*-Τυφλίτης, *Testudo hermanni*-Μεσογειακή, *Testudo marginata*-Κρασπεδωτή, *Mauremus caspica*- Γραμμωτή

νεροχελώνα, *Emy sorbicularis*-Στικτή νεροχελώνα, *Bufo bufo*-Μπράσκα, *Bufo viridis*-Πράσινος φρύνος, *Hyla arborea*-Δενδροβάτραχος, *Ranari dibunda*-Λιμνοβάτραχος, *Salamandra Salamandra*-Σαλαμάνδρα, *Martes foina*-Πετροκούναβο, *Mustela nivalis*-Νυφίτσα, *Vulpes vulpes*-Αλεπού, *Meles meles*-Ασβός, *Lepus europaeus*-Λαγός, *Canis aureus*-Τσακάλι, *Erinaceus concolor*-Σκαντζόχοιρος, *Talpa caeca*-Τυφλασπάλακας, *Neomysa nomalus*-Βαλτομυγαλή, *Tadarida teniotis*-Μολοσσογυπαερίδα, *Rhinolophus euryale*-Μεσογειορινολόφη, *Myotis daubentani*-Βραχυοτομωτίδα, *Pipistrellus kuhli*-Λευκογυροπιπιστρέλλη, *Glis glis*-Δασομωξός, *Microsorex leucodon*-Τυφλοποντικός, *Rattus rattus*-Μικροεπιμύς, *Mus musculus*-Ποντικός ο κατοικίδιος, *Salmo trutta*-Πέστροφα, *Salmo gairdneri*-Πέστροφα η καναδική, *Valenciale toumeuxi*-Ιουρνάς, *Barbus meridionalis*-Μπριάννα, *Tropidophoxinellus spartiaticus*-Γουρνάρα, *Rutilus spartiaticus*-Τσιρώνι, *Leuciscus cephalus*-Τυλινάρι, *Leuciscus soufia*-Τυλινάρι, *Anguilla Anguilla*-Χέλι.

2.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σε γενικά επίπεδα η βλάστηση της Αρκαδίας έχει μικρή χρονική διάρκεια ζωής λόγω των εδαφοκλιματικών της συνθηκών. Η Αρκαδία έχει πολλά βουνά και είναι λεπτόγαιη, με γη εκπλυνόμενη εύκολα από τη βροχή και τους χειμάρρους. Παράλληλα η Αρκαδία είναι γεμάτη από πετρώματα, τα οποία διευκολύνουν το φαινόμενο κατολισθήσεων. Επίσης υφίσταται σοβαρό δημογραφικό πρόβλημα λόγω της μεταβολής του πληθυσμού και της συνεχιζόμενης μείωσής του. Ο πληθυσμός του Δήμου Μεγαλόπολης έχει ηπίως πλέον γηρασμένη δομή σε σύγκριση με το σύνολο του πληθυσμού της Ελλάδας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε 2006).

Στο δάσος γίνεται υπερβόσκηση με πρόβατα και διάφορα μεγάλα ζώα. Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η φυσική του αναπλήρωση, λόγω του ότι, τα ζώα αυτά τρώνε το βελανιδόσπορο και τα δενδρύλλια, άρα η κτηνοτροφία στην περιοχή θα πρέπει να στραφεί προς την οικόσιτη σταβλική παρά προς τη νομαδική, ούτως ώστε να μη διαταράσσεται η ισορροπία των δασών. Επίσης, ζημιές στο δάσος προκαλεί και η παράνομη υλοτομία, κι αυτό έχει αυξηθεί από τότε που έγινε η διάνοιξη της οδού Μεγαλόπολης - Ίσαρη. Επιπλέον, στην περιοχή Μεγαλόπολης προκαλούνται αρκετές πυρκαγιές, οι οποίες δημιουργούνται λόγω του κλίματος και του είδους της βλάστησης

που υπάρχει και είναι αδύναμη. Πολλές πυρκαγιές προκαλούνται επίσης και από το κάψιμο των καλαμιών.

Ένα χαρακτηριστικό γεγονός που έχει παρατηρηθεί είναι το φαινόμενο της ξήρανσης και ταλαιπωρίας που υφίστανται τα κυπαρίσσια και μάλιστα σε μεγάλο ποσοστό. Για αυτήν την κατάσταση υπεύθυνος είναι ο μύκητας *Seiridium cardinale*, εξαιτίας του οποίου υποφέρουν τα κυπαρίσσια σε όλες τις παραμεσογειακές περιοχές. Δεν έχει εξακριβωθεί αν η ρύπανση που προκαλεί το εργοστάσιο της ΔΕΗ επηρεάζει την αποξήρανση των δένδρων ή την ανάπτυξη του μύκητα αυτού (Βουράνη & Κωνσταντοπούλου 2009)

Η καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί στην αλλοίωση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος με επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων και των κατοίκων της περιοχής που υφίστανται τις σχετικές συνέπειες. Σχετικά με την περιβαλλοντική ρύπανση διαπιστώθηκε ότι οι τιμές του διοξειδίου του θείου (που ευθύνεται για το φαινόμενο της όξινης βροχής) έχουν στο παρελθόν βρεθεί να ξεπερνούν κατά περίπου εκατό φορές το ανώτατο όριο, τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν σχετικά υψηλά (Γρηγορίου 2002), ενώ τα υγρά απόβλητα του εργοστασίου χύνονται χωρίς καμιά επεξεργασία στο εγκαταλειμμένο λιγνιτωρυχείο της Θωκνίας, με προφανείς συνέπειες στον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής. Επιπλέον, οι μεγάλες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας και τέφρας εστίας που παράγονται κατά την καύση του χαμηλής ποιότητας λιγνίτη, όπως είναι ο λιγνίτης της Μεγαλόπολης, περιέχουν διάφορα τοξικά στοιχεία, όπως Cd, Co, Ni, Pb, Zn, τα οποία είναι δυνατό να εκπλυθούν και να ρυπάνουν το έδαφος, το επιφανειακό και το υπόγειο νερό. Όπως τονίζουν, όμως, φορείς της Αρκαδίας, κανείς από τους κατοίκους δεν διαμαρτύρεται, καθώς είναι προφανής η εργασιακή εξάρτηση των κατοίκων από το εργοστάσιο (www.arcadiaportal.gr).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

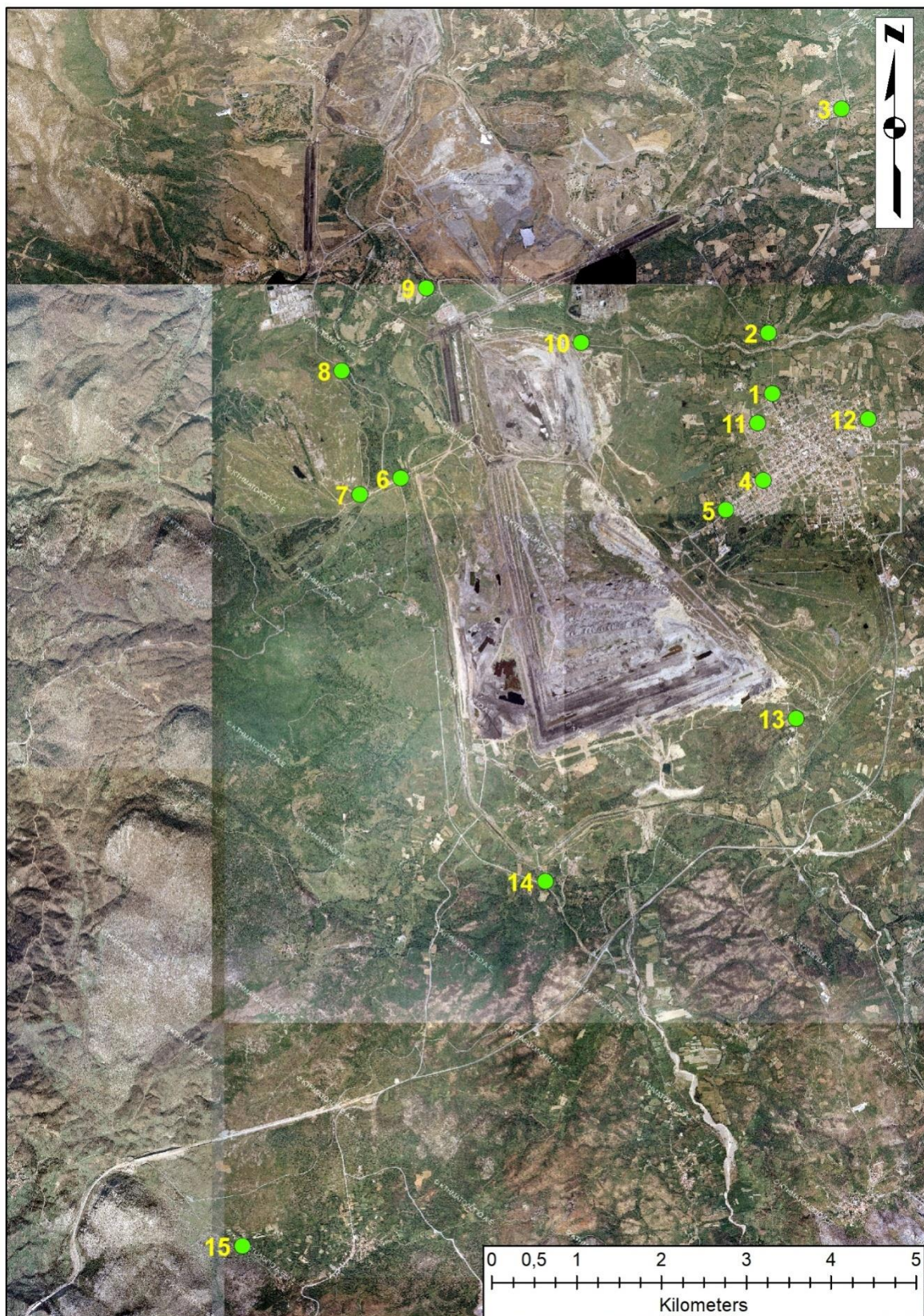
Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν δεκαπέντε (15) περιοχές στο κέντρο και στην ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης όπου το Σεπτέμβριο του 2020 πραγματοποιήθηκε συλλογή επιφανειακών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους. Στα δείγματα αυτά, αφού επεξεργάστηκαν κατάλληλα, πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές και γεωχημικές αναλύσεις (προσδιορισμός βαρέων μετάλλων, προσδιορισμός οργανικού άνθρακα και pH).

3.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για τη μελέτη της πιθανής ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης επιλέχθηκαν για δειγματοληψία οι περιοχές εκατέρωθεν των ατμοηλεκτρικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η πόλη της Μεγαλόπολης και δύο πιο απομακρυσμένες περιοχές, η «Νέα Εκκλησούλα» βορειοανατολικά και τα «Παραδείσια» νοτιοδυτικά. Οι ακριβείς θέσεις των σημείων δειγματοληψίας απεικονίζονται στην Εικόνα 3.1. Τα δείγματα ελήφθησαν κυρίως από αγροτικές εκτάσεις και από περιοχές κοντά στο λιγνιτωρυχείο.

Συλλέχθηκαν συνολικά δεκαπέντε (15) αντιπροσωπευτικά σύνθετα επιφανειακά δείγματα εδάφους, βάθους 0 έως 10 cm, από μια επιφάνεια εμβαδού 2x2 m². Ελήφθησαν και αναμίχθηκαν τέσσερα υποδείγματα εδάφους από τις τέσσερις γωνίες της και ένα υπόδειγμα από το κέντρο της, αφού πρώτα απομακρύνθηκαν τα φυτά και τα φύλλα.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες που σφραγίστηκαν, για να μεταφερθούν τα δείγματα αναλλοίωτα στο εργαστήριο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στο Καρπενήσι.



Εικόνα 3.1: Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών εδαφών στη λεκάνη της Μεγαλόπολης

3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.3.1 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα δείγματα που μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο προπαρασκευάστηκαν για να είναι έτοιμα για τις αναλύσεις ως εξής:

Ξήρανση δειγμάτων: Τοποθετήθηκαν πάνω σε διηθητικό χαρτί για αρκετές ημέρες αφού συνθλίφτηκαν με το χέρι τα συσσωματώματα του εδάφους.

Κοσκίνισμα των δειγμάτων: Τα δείγματα κοσκινίστηκαν με κόσκινο οπής διαμέτρου 2mm.

Κονιοποίηση των δειγμάτων: Μια ποσότητα κοσκινισμένου δείγματος κονιοποιήθηκε σε πορσελάνινο γουδί, ώσπου οι κόκκοι του να αποκτήσουν πολύ μικρό μέγεθος.

Μείωση της μάζας των δειγμάτων: Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των τεταρτημορίων (Κελεπερτζής 2006, Αργυράκη 2007), ώστε να ελαττωθεί η μάζα του χονδρικού δείγματος (<http://www.ssi.swri.gr>).

3.3.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του υδρομέτρου (Βουγούκος 1927, 1951, 1962).

Αναλυτικότερα 52,5 g αεροξηραμένου εδαφικού δείγματος τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 600ml και προστέθηκαν 40 ml εξαμεταφωσφορικού νατρίου και 150ml απιονισμένου νερού. Αφού τα δείγματα παρέμειναν σε ηρεμία για 24 ώρες ανακινήθηκαν για 10 min και μεταφέρθηκαν σε κυλίνδρους Βουγούκος, προστέθηκε νερό μέχρι την κάτω χαραγή του κυλίνδρου με το πυκνόμετρο μέσα στο αιώρημα και ανακινήθηκαν με τη βοήθεια ράβδου ανακίνησης. Στα 40 sec μετά το τέλος της ανακίνησης έγινε η πρώτη μέτρηση πυκνότητας και θερμοκρασίας του αιωρήματος και η δεύτερη μέτρηση μετά την πάροδο 2 h. Στη συνέχεια διορθώθηκαν οι τιμές της πυκνότητας με βάση τη θερμοκρασία με τη χρήση ειδικών πινάκων (Παντέρα & Γαλανοπούλου 2015).

Από τους ακόλουθους τύπους υπολογίστηκε η εκατοστιαία περιεκτικότητα του εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο:

$$\text{Άργιλος \%} = B/\Gamma \cdot 100, \quad \text{Ιλύς \%} = (A-B)/\Gamma \cdot 100, \quad \text{Άμμος \%} = (1-A)/\Gamma \cdot 100$$

όπου:

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

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

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

Στη συνέχεια τα δείγματα κατατάχθηκαν σε κατηγορίες και προσδιορίστηκε ο λιθολογικός τους χαρακτήρας.

3.3.3 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.3.3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH

Για τη μέτρηση του pH των επιφανειακών εδαφών των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρομετρική μέθοδος με πεχάμετρο τύπου Crison GLP 21. Η διαδικασία προσδιορισμού του pH που ακολουθήθηκε είναι η εξής: 20 g κοσκινισμένου και ξηραμένου εδάφους τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Στη συνέχεια προστέθηκε απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:2,5 και το αιώρημα αναδεύτηκε περιοδικά για 30 min με γυάλινη ράβδο, αφέθηκε σε ηρεμία για άλλα 30 min και αφού το όργανο ρυθμίστηκε με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων pH 4 και pH 7 (Παντέρα & Γαλανοπούλου 2015) μετρήθηκε το pH των εδαφικών δειγμάτων.

3.3.3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Για τη μέτρηση του οργανικού άνθρακα του εδάφους ζυγίστηκε 1 g κονιοποιημένου εδάφους και τοποθετήθηκε σε προζυγισμένο χωνευτήριο. Προηγουμένως είχε αφαιρεθεί η υγρασία αφού αφέθηκε αρκετές ώρες στο φούρνο στους 104°C και ζυγίστηκε ώστε να μας δώσει το αρχικό του βάρος. Έπειτα τοποθετήθηκε για 4h στους 450°C.

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

Για να υπολογιστεί η οργανική ουσία χρησιμοποιείται η σχέση:

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

3.3.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Για τον προσδιορισμό των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, έχουν δημοσιευθεί διάφορες μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούν μία γκάμα οξέων (HNO_3 , H_2O_2 , HF , HCl , HClO_4 , H_2SO_4) ή συνδυασμό τους, που έχει ως στόχο την αποδόμηση των εδαφικών σωματιδίων και τη διάλυση των μετάλλων.

Στα δείγματα των επιφανειακών εδαφών της Μεγαλόπολης, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στις ακόλουθες μεθοδολογίες: α) Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Chapters 25, 26, 28, edition year 1996 και β) US EPA 3050B method, η οποία περιλαμβάνει την πέψη του δείγματος σε κωνική φιάλη πάνω σε θερμαντική πλάκα ή αμμόλουτρο με τη χρήση HNO_3 65% w/v, H_2O_2 30% w/v και HCl . Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου Thermo CE 3000 Series.

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

Αναλυτικότερα η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ακόλουθη:

Ζυγίστηκε 1,0 g αεροξηραμένου και κονιοποιημένου δείγματος εδάφους και τοποθετήθηκε σε κωνική φιάλη των 50 ml. Προστέθηκαν 5 ml πυκνού HNO_3 και τα δείγματα παρέμειναν σε αμμόλουτρο σε ηρεμία για ένα βράδυ και σε ίδια απόσταση από τη μεταλλική επιφάνεια της εστίας για να υπάρχει ομοιόμορφη θερμοκρασία σε αυτά. Στη συνέχεια ρυθμίστηκε η θερμοκρασία στους $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ και θερμάνθηκαν έως ότου σταμάτησαν να εκλύονται καφέ ατμοί στο εσωτερικό της φιάλης. Στα δείγματα, αφού κρύωσαν, προστέθηκαν και πάλι 5 ml πυκνού HNO_3 και θερμάνθηκαν για άλλες δύο ώρες στην ίδια θερμοκρασία. Αφού κρύωσαν, προστέθηκαν 3 ml πυκνού H_2O_2 και αφέθηκαν σε ηρεμία για ένα βράδυ. Ακολούθως, θερμάνθηκαν και πάλι για μια ώρα στην ίδια θερμοκρασία και επανελήφθησαν τα δύο τελευταία βήματα έως ότου το

δείγμα έγινε πολύ λεπτόκοκκο και το χρώμα του αρκετά ανοιχτό, ένδειξη αποδόμησης της οργανικής ουσίας. Αφού απέκτησαν θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα δείγματα διηθήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml με διηθητικό χαρτί (3,5) και συλλέχθηκε το διήθημα σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml.

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

Ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων έγινε ως εξής:

Η συγκέντρωση του διαλύματος που δόθηκε από την ατομική απορρόφηση πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή αραιώσης, ο οποίος έχει τρία δεκαδικά ψηφία και προκύπτει από το πηλίκο του όγκου του εκχυλίσματος (25 ml) προς τη μάζα του δείγματος όπως αυτή καταγράφηκε στα πρωτογενή έντυπα με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων (1,00 g δείγματος αντιστοιχεί σε 50 ml τελικού εκχυλίσματος), για να εκφράσει την περιεκτικότητα του εδάφους στο αντίστοιχο μέταλλο. Στην περίπτωση που γίνεται η συλλογή του εκχυλίσματος σε φιάλη των 25 ml, τότε πολλαπλασιάζεται με το 25.

3.3.3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Όσον αφορά στον προσδιορισμό των διαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων, η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στις ακόλουθες μεθοδολογίες: α) Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Chapters 23, 24, 26, edition year: 1996, β) THERMO Flame Atomic Absorption Spectrometry manual.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

Σε κωνικές φιάλες 150ml ζυγίστηκαν 15 g αεροξηραμένου εδαφικού δείγματος και προστέθηκαν 30 ml διαλύματος DTPA. Χρησιμοποιήθηκε το εκχυλιστικό μέσο DTPA το οποίο χρησιμοποιείται για την εκχύλιση μετάλλων από το έδαφος, σχηματίζοντας χηλικές ενώσεις με τα ελεύθερα μέταλλα σε διάλυμα, μειώνοντας τις ιονικές τους δραστηριότητες, έτσι ώστε, επιπρόσθετες ποσότητες μετάλλων απελευθερώνονται από το έδαφος μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία.

Στη συνέχεια τα δείγματα ανακινήθηκαν για 2 ώρες στις 180 ± 20 στροφές/λεπτό. Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 3000 στροφές/λεπτό. Το υδατικό διάλυμα διηθήθηκε με την βοήθεια διηθητικού χαρτιού (Whatman n° 40 ή παρόμοιο) και προσδιορίστηκαν οι βιοδιαθέσιμες μορφές των βαρέων μετάλλων με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου Thermo iCE 3000 Series.

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε χωρίς εδαφικό δείγμα (λευκό δείγμα).

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

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

Όπου :

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

V : ο όγκος του εκχυλιστικού (DTPA) σε mL

m_s : τα g του αεροξηραμένου εδαφικού δείγματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

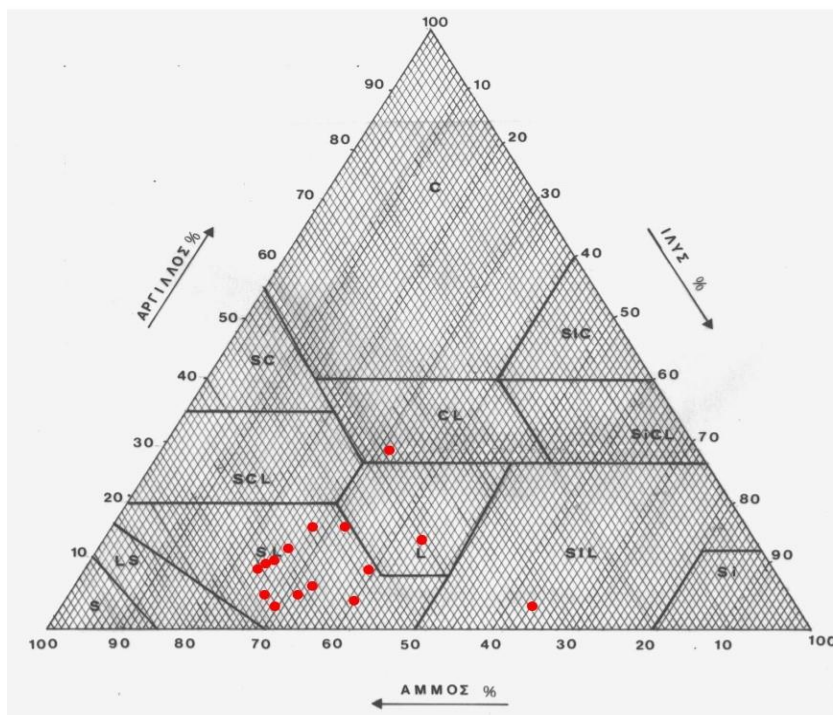
4.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν από την ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης προσδιορίστηκε η μηχανική σύσταση. Τα % ποσοστά της άμμου, της ιλύος και της αργίλου τοποθετήθηκαν στο τριγωνικό διάγραμμα μηχανικής σύστασης κατά το αμερικάνικο σύστημα και προσδιορίστηκε η κατηγορία της μηχανικής τους σύστασης (Εικόνα 4.1).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων (Πίνακας 4.1 , Εικόνα 4.1) τα περισσότερα δείγματα χαρακτηρίζονται ως αμμοπηλώδη, με εξαίρεση ένα δείγμα που χαρακτηρίζεται ως πηλώδες, ένα δείγμα ιλυοπηλώδες και ένα δείγμα αργιλοπηλώδες. Τα εδάφη εμφανίζουν λοιπόν ομοιογένεια ως προς την κοκκομετρία τους με κυρίαρχο κλάσμα το κλάσμα της άμμου (31,58%-66,82%), ακολουθεί με μικρή διαφορά το κλάσμα της ιλύος (22,86%-62,86%) και σε μικρότερο ποσοστό το κλάσμα της αργίλου (4,61%-29,37%).

Πίνακας 4.1: Μηχανική σύσταση επιφανειακών εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης.

<u>Δείγματα</u>	<u>Άμμος %</u>	<u>Ιλύς %</u>	<u>Άργιλος %</u>	<u>Κατηγορία μηχανικής σύστασης</u>
1	65,87	27,62	6,51	Αμμοπηλώδες
2	58,25	33,33	8,42	Αμμοπηλώδες
3	54,44	40,00	5,56	Αμμοπηλώδες
4	39,20	43,81	16,99	Πηλώδες
5	61,10	32,38	6,51	Αμμοπηλώδες
6	65,87	29,52	4,61	Αμμοπηλώδες
7	61,10	25,71	13,18	Αμμοπηλώδες
8	54,44	28,57	16,99	Αμμοπηλώδες
9	31,58	62,86	5,56	Ιλυοπηλώδες
10	50,63	32,38	16,99	Αμμοπηλώδες
11	63,96	23,81	12,23	Αμμοπηλώδες
12	49,68	39,05	11,28	Αμμοπηλώδες
13	59,20	26,67	14,13	Αμμοπηλώδες
14	38,25	32,38	29,37	Αργιλοπηλώδες
15	66,82	22,86	10,32	Αμμοπηλώδες



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

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

4.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ

Σύμφωνα με τον Σιαβάλα (2013), το μεγαλύτερο μέρος των ανόργανων συστατικών των εδαφών της λεκάνης της Μεγαλόπολης αποτελείται κυρίως από πυριτικά ορυκτά, ενώ σε μικρότερο βαθμό συμμετέχουν τα ανθρακικά. Αναλυτικότερα, στην περιοχή της Μεγαλόπολης έχει βρεθεί ο μέσος όρος της τιμής του χαλαζία να αποτελεί περίπου το 50% του ανόργανου μέρους των δειγμάτων, οι δε συγκεντρώσεις των αργιλικών ορυκτών να είναι ελαφρώς υψηλές, ενώ ο ιλλίτης και ο χλωρίτης κυριαρχούν, με τον καολινίτη να εμφανίζεται σε μικρό αριθμό δειγμάτων. Επιπλέον ο μοσχοβίτης είναι λιγότερο κοινός, ενώ δεν ανιχνεύτηκε τάλκης. Παρότι τα περιθώρια της λεκάνης Μεγαλόπολης δομούνται κατά μεγάλο μέρος από ασβεστόλιθους, ασβεστίτης ανιχνεύτηκε μόνο σε εδάφη αναπτυγμένα επάνω σε αποθέσεις πλούσιες σε ανθρακικό ασβέστιο (μάργες, κρητίδες).

Η περιεκτικότητα σε ασβεστίτη βρέθηκε να ξεπερνά το 10%, ενώ σε κάποια δείγματα ξεπερνά το 30%. Επίσης συμμετέχουν αξιοσημείωτα ποσοστά ορυκτά της ομάδας των αστρίων. Ο μέσος όρος της περιεκτικότητας σε ορθόκλαστο, όπου αυτό ανιχνεύτηκε, είναι 6%, ενώ σε αντίθεση με την ομάδα των αλκαλικών αστρίων τα πλαγιόκλαστα συμμετέχουν στο σύνολο των δειγμάτων. Επιπλέον ανιχνεύτηκε σιδηροπυρίτης σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (<1%) καθώς και πολύ μικρές συγκεντρώσεις οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου, με τη μορφή αιματίτη και πυρολουσίτη αντίστοιχα (Σιαβάλας 2013).

4.3 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι ολικές συγκεντρώσεις έξι βαρέων μετάλλων προσδιορίστηκαν στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης καθώς και το pH και η περιεκτικότητά των εδαφών σε οργανικό άνθρακα (Corg). Αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στον Πίνακα 4.2.

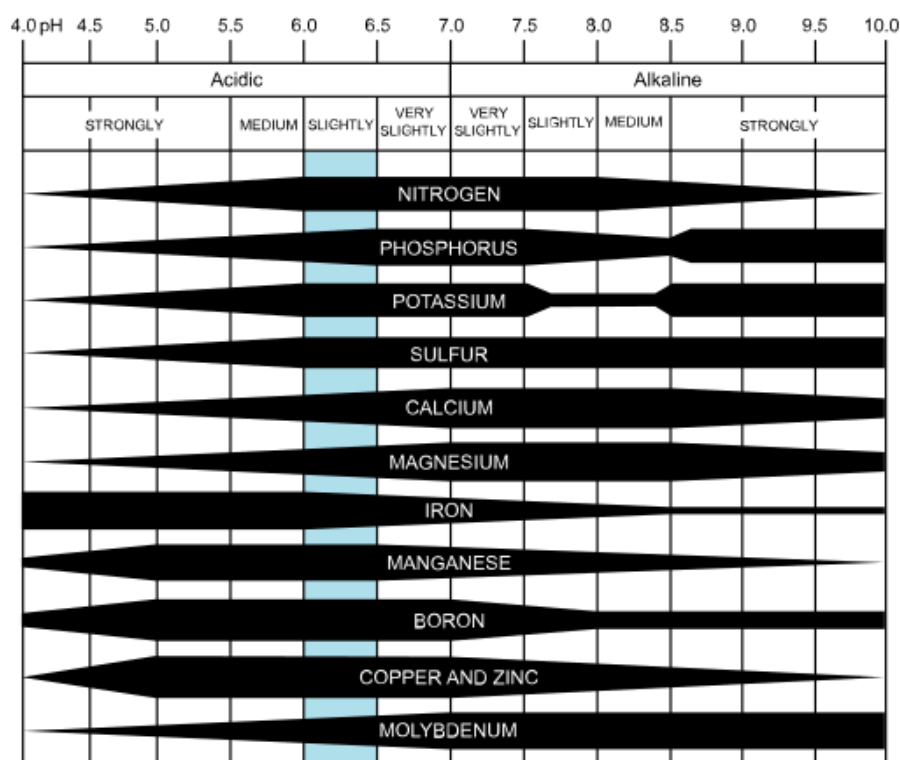
Πίνακας 4.2: Ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, οργανικού άνθρακα και pH στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης σε mg/kg.

Δείγμα	Ni	Pb	Zn	Mn	Cr	Cu	Corg %	pH
1	95,15	95,15	55,80	651,83	97,25	27,96	4,08	7,05
2	123,92	123,92	64,38	1137,50	146,57	36,39	5,45	6,89
3	107,78	107,78	45,73	986,23	122,84	18,35	2,00	6,77
4	156,82	156,82	68,49	1117,11	156,95	40,79	5,58	7,57
5	142,45	142,45	98,10	1065,93	163,96	38,37	5,63	7,64
6	159,80	159,80	58,21	549,47	80,76	34,62	4,72	7,85
7	147,45	10,77	71,11	730,31	248,72	47,08	2,08	7,64
8	159,56	10,89	80,04	549,71	203,44	44,74	5,15	7,69
9	105,35	7,30	50,79	653,66	141,72	25,48	1,87	7,89
10	140,14	10,31	72,13	801,46	201,31	35,94	5,50	7,92
11	78,63	43,84	59,82	1027,34	123,99	34,65	1,05	6,93
12	79,88	16,04	51,00	1476,56	131,06	83,06	3,09	7,36
13	157,45	12,87	73,10	953,42	191,00	38,77	5,61	7,99
14	180,56	11,65	71,13	749,70	193,39	40,23	1,00	8,16
15	250,72	21,10	102,96	2176,64	128,79	90,75	5,73	7,91

- pH

Το pH είναι ένας σημαντικός παράγοντας του εδάφους γιατί επηρεάζει τη διαλυτότητα των θρεπτικών στοιχείων σε αυτό και την αφομοιωσιμότητά τους από τα φυτά, καθώς και τη μικροβιολογική δραστηριότητα του εδάφους. Όσο πιο όξινες γίνονται οι συνθήκες του εδάφους, τόσο αυξάνει η διαλυτότητα των μετάλλων, ενώ όσο πιο αλκαλικές είναι αυτές, τα μέταλλα γίνονται δυσκίνητα. Έτσι σε εδάφη με χαμηλό pH τα μέταλλα είναι δυνατό, λόγω της μεγάλης διαλυτότητάς τους, να καταστούν τοξικά για τα φυτά (Παντέρια και Γαλανοπούλου 2015).

Η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων μεταβάλλεται ανάλογα με το pH του εδάφους (Εικόνα 4.2). Για παράδειγμα σε πολύ αλκαλικά εδάφη, στοιχεία όπως ο φώσφορος, ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και το μαγγάνιο, έχουν μικρή διαθεσιμότητα.



Εικόνα 4.2: Διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με το pH (πηγή: <https://agropublic.gr>)

Το pH των εδαφικών δειγμάτων κυμαίνεται μεταξύ 6,77 και 8,16 με την πλειοψηφία των δειγμάτων να κυμαίνεται πάνω από 7 (Πίνακας 4.2). Τα εδάφη που έχουν τιμές pH μεταξύ 6,6 και 7,3 χαρακτηρίζονται ουδέτερα, μεταξύ 7,4 και 7,8 ελαφρώς αλκαλικά και μεταξύ 7,9 και 8,3 μέτρια αλκαλικά (Παντέρια και Γαλανοπούλου 2015). Έτσι τα εδάφη

της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης χαρακτηρίζονται ως προς το pH ουδέτερα έως μέσα αλκαλικά. Η αλκαλικότητα αυτή των εδαφών σχετίζεται με την παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων που δομούν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης της Μεγαλόπολης και τα οποία αποτελούν το μητρικό υλικό των εδαφών της περιοχής.

- **Οργανικός άνθρακας (Corg)**

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

Η περιεκτικότητα των επιφανειακών εδαφών της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης σε οργανικό άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 1,00% και 5,73% με μέση τιμή 3,90% (Πίνακας 4.2). Τα εδάφη εμφανίζουν μέτριες έως πλούσιες περιεκτικότητες σε οργανικό άνθρακα εξαιτίας της παρουσίας των λιγνιτικών κοιτασμάτων και της γεινίασης του επιφανειακού εδάφους με τον οργανικό ορίζοντα.

- **Βαρέα μέταλλα**

Στα εδαφικά δείγματα που λήφθηκαν από τη λεκάνη της Μεγαλόπολης επιλέχθηκαν να προσδιοριστούν έξι (6) βαρέα μέταλλα τα: Ni, Pb, Zn, Mn, Cr και Cu. Αυτά είναι και τα πιο συχνά απαντώμενα στα αστικά εδάφη και στην υπτάμενη τέφρα. Για τα βαρέα μέταλλα που εμφάνισαν το μεγαλύτερο ρυπαντικό φορτίο δημιουργήθηκε ο χάρτης κατανομής τους με το πρόγραμμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ArcMap.

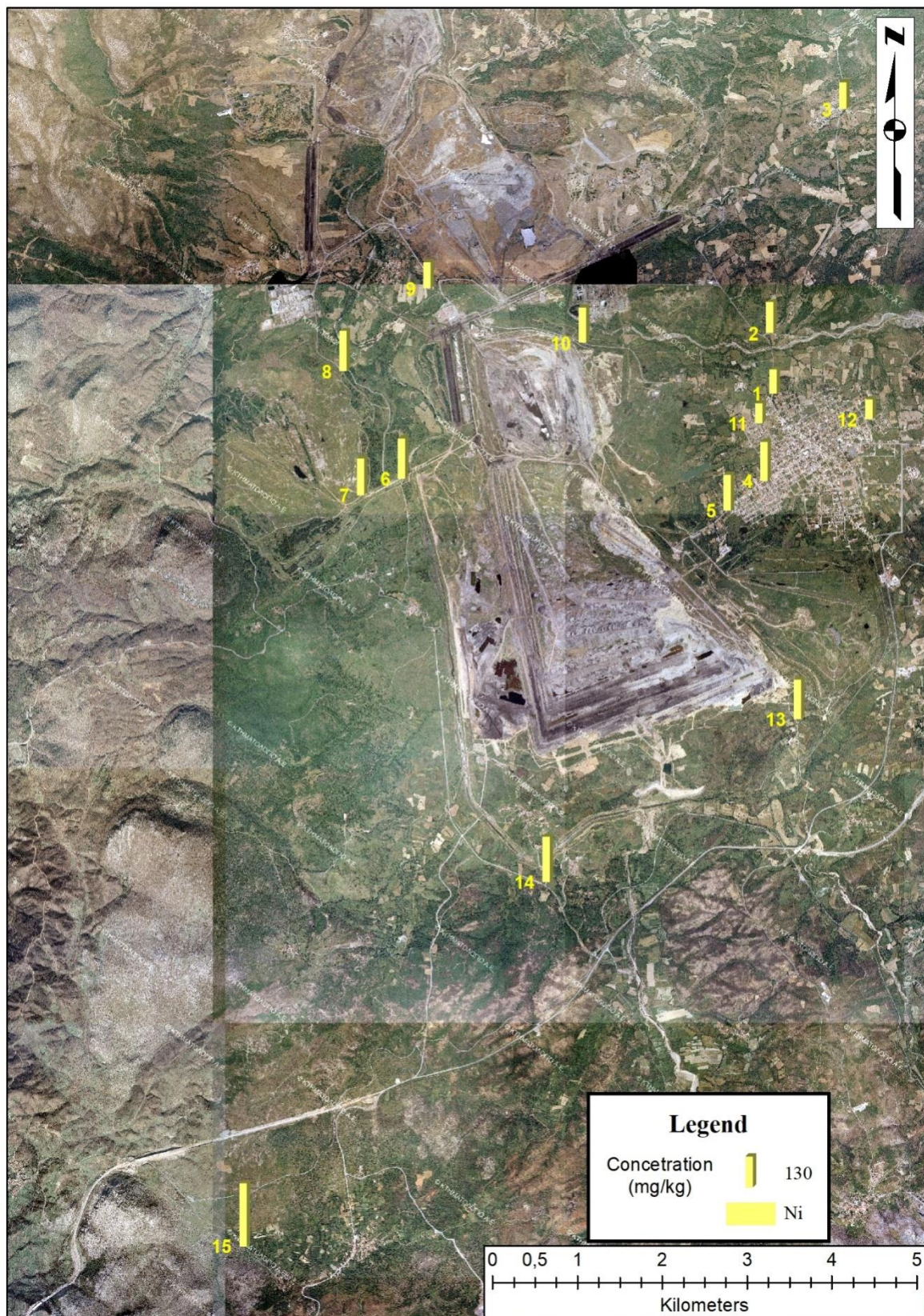
Νικέλιο (Ni)

Οι συγκεντρώσεις νικελίου που ανιχνεύτηκαν στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης κυμαίνονται μεταξύ 78,63 και 250,72 mg/kg με μέση τιμή 139,04 mg/kg. Η περιοχή εμφανίζεται επιβαρυσμένη σε νικέλιο, αν συγκριθούν οι τιμές αυτές με τη μέση τιμή του Ni στα επιφανειακά εδάφη (29 mg/Kg, Kabata-Pendias 2011) και στο φλοιό της γης (75mg/kg, Alloway 1995).

Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των εδαφών της λεκάνης της Μεγαλόπολης σε νικέλιο με αντίστοιχες περιοχές της Ελλάδας και του κόσμου. Αναλυτικότερα:

Οι συγκεντρώσεις του Ni στα εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στην ίδια περιοχή σε προηγούμενες μελέτες (23,1-149,7 mg/kg, Σιαβάλας 2013) και μικρότερες από αυτές στη λεκάνη Κοζάνης-Πτολεμαΐδας (49,60-464,40 mg/kg, Τσιγαρίδας, 2014). Συγκρινόμενες με αντίστοιχες περιοχές του κόσμου κοντά σε λιγνιτωρυχεία είναι υψηλότερες από αυτές όπως για παράδειγμα στην πόλη Gujarat στην Ινδία (57,6-82,6 mg/kg, Ladwani et al. 2012), στο λιγνιτωρυχείο Ταογυαν στην Κίνα (16,79-34,26mg/kg, Xu et al., 2021), στην περιοχή Inner Mongolia, αυτόνομη περιοχή στη βόρεια Κίνα (7,10-64,89 mg/kg, Chen et al. 2021) καθώς και στο λιγνιτωρυχείο PhanMe στο Βιετνάμ (24,00-63,20 mg/kg, Hoang et al., 2020).

Από το γεωχημικό χάρτη κατανομής του Ni στην περιοχή μελέτης παρατηρείται ότι, τα περισσότερα σημεία δειγματοληψίας εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις νικελίου (Εικόνα 4.3). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις απαντώνται στο νοτιοδυτικό περιθώριο της λεκάνης και πιθανώς σχετίζονται με τα οφιολιθικά πετρώματα της περιοχής τα οποία χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη περιεκτικότητά τους σε νικέλιο.



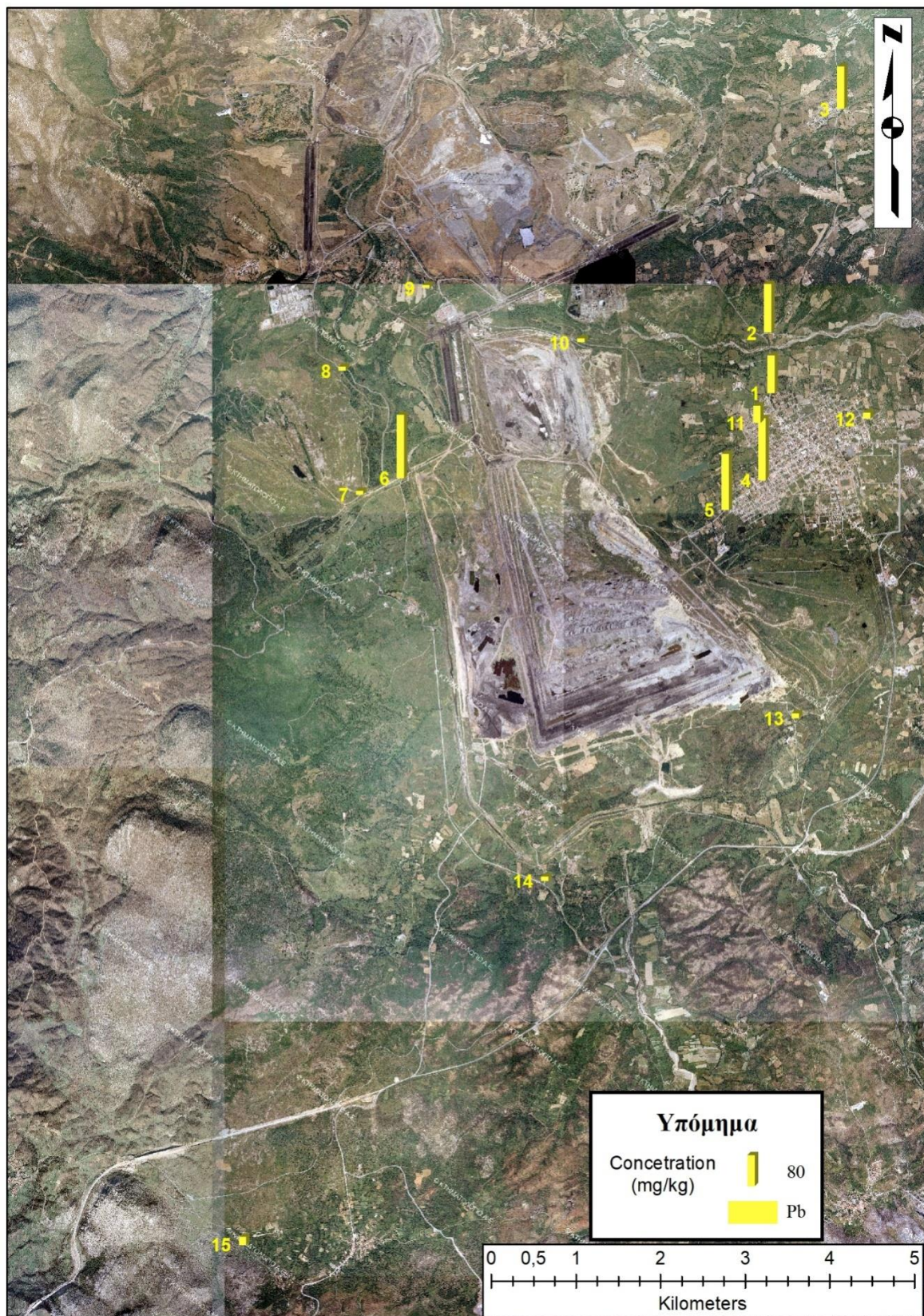
Εικόνα 4.3: Γεωχημικός χάρτης κατανομής Ni στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.

Μόλυβδος (Pb)

Στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης ανιχνεύτηκαν τιμές μολύβδου από 7,30 ως 159,80 mg/kg με μέση τιμή 62,05mg/kg. Οι συγκεντρώσεις αυτές συγκρινόμενες με τη μέση τιμή του Pb στα επιφανειακά εδάφη σε όλο τον κόσμο (27mg/kg, Kabata-Pendias 2011) και στο φλοιό της γης (17mg/kg, Rudnick & Gao 2013) είναι υψηλότερες υποδηλώνοντας επιβάρυνση των εδαφών της περιοχής μελέτης ως προς το μόλυβδο, που πιθανότατα σχετίζεται με την εξόρυξη και την καύση του λιγνίτη.

Οι συγκεντρώσεις Pb που προσδιορίστηκαν στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης είναι υψηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί σε προηγούμενη μελέτη στην ίδια περιοχή (0,70-25,20 mg/kg, Σιαβάλας 2013) καθώς και σε άλλες αντίστοιχες περιοχές στην Ελλάδα, όπως, στη λεκάνη Κοζάνης-Πτολεμαΐδας (2,01-2,51 mg/kg, Τσιγαρίδας 2014). Επίσης ξεπερνούν αυτές στην πόλη Gujarat στην Ινδία (12,70-22,08 mg/kg, Ladwani et al. 2012), στο λιγνιτωρυχείο Taoyuan στην Κίνα (21,36-44,98 mg/kg, Xu et al., 2021), στην περιοχή Inner Mongolia, αυτόνομη περιοχή στη βόρεια Κίνα (13.05-53.21 mg/kg, Chen et al. 2021) καθώς και στο λιγνιτωρυχείο PhanMe στο Βιετνάμ (3,80-117,00 mg/kg, Hoang et al. 2020).

Από το γεωχημικό χάρτη κατανομής του Pb (Εικόνα 4.4) συμπεραίνεται ότι τα υψηλότερα ποσοστά του μολύβδου εμφανίζονται κυρίως στην πόλη της Μεγαλόπολης κατά μήκος των κεντρικών οδικών αρτηριών, καθώς και δυτικά των ατμοηλεκτρικών μονάδων, επίσης κατά μήκος κεντρικών δρόμων. Έτσι οι πηγές προέλευσης μεγάλου ποσοστού του μολύβδου στην περιοχή μελέτης είναι ανθρωπογενείς και σχετίζονται με τις μεταφορές. Ο μόλυβδος δηλαδή, εκτός από την καύση του λιγνίτη, προέρχεται και από την καύση ορυκτών καυσίμων κατά την κίνηση των οχημάτων.



Εικόνα 4.4: Γεωχημικός χάρτης κατανομής Pb στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.

Ψευδάργυρος (Zn)

Η συγκέντρωση του ψευδαργύρου στα εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης κυμαίνεται μεταξύ 45,73 και 102,76 mg/kg με μέση τιμή 68,19 mg/kg. Η μέση τιμή του Zn στα επιφανειακά εδάφη είναι 70 mg/Kg (Kabata-Pendias 2011) και στο φλοιό της γης 67 mg/kg (Rudnick and Gao 2003), επομένως σύμφωνα με τις τιμές αυτές η περιοχή δεν είναι επιβαρυσμένη με ψευδάργυρο.

Οι συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν στα εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης είναι αντίστοιχες με αυτές που έχουν μετρηθεί σε προηγούμενη μελέτη στην ίδια περιοχή (0,50-155,10 mg/kg, Σιαβάλας 2013) και με αυτές στην περιοχή Inner Mongolia, αυτόνομη περιοχή στη βόρεια Κίνα (23.87-137.00 mg/kg, Chen et al. 2020). Είναι υψηλότερες από τις συγκεντρώσεις Zn που προσδιορίστηκαν στο λιγνιτωρυχείο Ταογυαν στην Κίνα (49,32-89,37 mg/kg, Xu et al. 2021) και χαμηλότερες από αυτές στο λιγνιτωρυχείο PhanMe στο Βιετνάμ (52,00-612,00 mg/kg, Hoang et al. 2020).

Μαγγάνιο (Mn)

Στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης, η ολική συγκέντρωση του μαγγανίου κυμαίνεται μεταξύ 549,47 και 2176,64 mg/kg με μέση τιμή 975,12 mg/kg. Συγκρινόμενες με τις συγκεντρώσεις των επιφανειακών εδαφών (488 mg/kg, Kabata-Pendias 2011) και του φλοιού της γης (438,59 mg/kg, Rudnick and Gao 2003) είναι αρκετά υψηλότερες υποδεικνύοντας επιβάρυνση των εδαφών σε αυτό.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Mn παρατηρούνται στην πόλη της Μεγαλόπολης και στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή. Η επιβάρυνση της περιοχής σε Mn πιθανόν να οφείλεται, εκτός της εξορυκτικής δραστηριότητας και στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και συγκεκριμένα στην παρουσία, στα ανατολικά περιθώρια της λεκάνης, κερατολίθων, πλούσιων σε Mn, αλλά και στην παρουσία των οφιολίθων στο δυτικό περιθώριο. Το Mn είναι ένα ευκίνητο γενικά στοιχείο επιδεκτικό σε μεταβολές του pH.

Οι συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν είναι υψηλότερες από αυτές που έχουν βρεθεί σε προηγούμενη μελέτη στην ίδια περιοχή (μέση τιμή 706 mg/kg και μέγιστη 1734

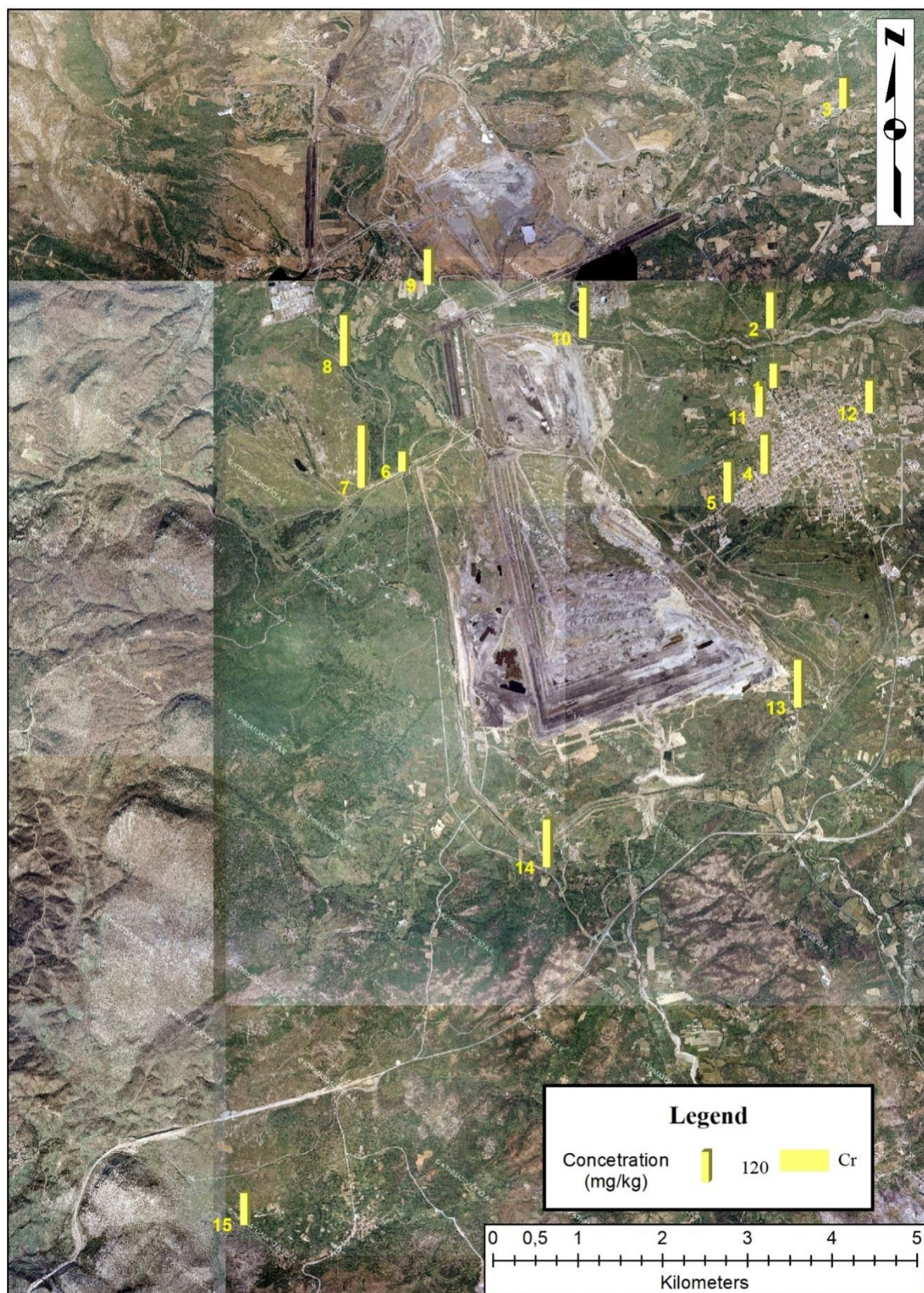
mg/kg, Σιαβάλας 2013), από αυτές που έχουν μετρηθεί σε αντίστοιχες μελέτες στην περιοχή της πόλης Gujarat στην Ινδία (549-1411 mg/kg, Ladwani et al. 2012), στο λιγνιτωρυχείο Ταογυαν στην Κίνα (349,60-841,33 mg/kg, Xu et al. 2021) και στην περιοχή Inner Mongolia, αυτόνομη περιοχή στη βόρεια Κίνα (157.40-1126.30 mg/kg, Chen et al. 2021).

Χρώμιο (Cr)

Η ολική συγκέντρωση του χρωμίου στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης κυμαίνεται μεταξύ 80,76 και 248,72 mg/kg με μέση τιμή 155,45 mg/kg. Συγκρινόμενες με τη μέση τιμή του Cr στα επιφανειακά εδάφη του κόσμου (59,5 mg/kg, Kabata-Pendias 2011) και τη μέση τιμή του Cr στον φλοιό της γης (92 mg/kg, Rudnick and Gao 2003) προκύπτει ότι οι τιμές ολικής συγκέντρωσης Cr στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης είναι αυξημένες, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην εξορυκτική δραστηριότητα και στην καύση του λιγνίτη.

Οι συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν είναι μεγαλύτερες από αυτές που έχουν μετρηθεί σε προηγούμενη μελέτη στην ίδια περιοχή (10,20-179,00 mg/kg, Σιαβάλας, 2013) και μικρότερες από αυτές σε αντίστοιχες μελέτες στη λεκάνη Κοζάνης-Πτολεμαΐδας (164,5-936,5 mg/kg, Τσιγαρίδας 2014). Επίσης είναι υψηλότερες συγκρινόμενες με τις συγκεντρώσεις χρωμίου που προσδιορίστηκαν στην πόλη Gujarat στην Ινδία (37 mg/kg, Ladwani et al. 2012) στο λιγνιτωρυχείο Ταογυαν στην Κίνα (36,00-94,40 mg/kg, Xu et al. 2021), στην περιοχή Inner Mongolia, αυτόνομη περιοχή στη βόρεια Κίνα (31,60-159,20 mg/kg, Chen et al. 2021).

Από το γεωχημικό χάρτη κατανομής του χρωμίου προκύπτει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του στοιχείου παρατηρούνται κυρίως εκατέρωθεν του λιγνιτωρυχείου και δευτερευόντως στην πόλη της Μεγαλόπολης (Εικόνα 4.5). Έτσι ενισχύεται η άποψη ότι σημαντικό μέρος του χρωμίου στα εδάφη σχετίζεται με την καύση του λιγνίτη.



Εικόνα 4.5: Γεωχημικός χάρτης κατανομής Cr στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.

Χαλκός (Cu)

Η ολική συγκέντρωση του χαλκού στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης κυμαίνεται μεταξύ 18,35 και 90,75 mg/kg με μέση τιμή 42,48 mg/kg. Η μέση τιμή στα επιφανειακά εδάφη στον κόσμο κυμαίνεται στα 38,9 mg/Kg (Kabata-Pendias 2011) και η μέση τιμή του Cu στο φλοιό της γης κυμαίνεται στα 50 mg/kg (Alloway 1990). Οι συγκεντρώσεις σε χαλκό των δειγμάτων είναι αντίστοιχες με τις παραπάνω τιμές και συνεπώς τα εδάφη της περιοχής μελέτης δεν είναι επιβαρυμένα από το χαλκό.

Σε προηγούμενη μελέτη στην ίδια περιοχή έχουν προσδιοριστεί συγκεντρώσεις χαλκού που κυμαίνονται μεταξύ 3,80 και 88,10 mg/kg (Σιαβάλας 2013), ελάχιστα χαμηλότερες από αυτές της παρούσας εργασίας. Υψηλότερες συγκεντρώσεις χαλκού έχουν προσδιοριστεί στη λεκάνη Κοζάνης-Πτολεμαΐδας (2,09-140,40 mg/kg, Τσιγαρίδας 2014), στην πόλη Gujarat στην Ινδία (67,5-199,3 mg/kg, Ladwani et al. 2012), καθώς και στο λιγνιτωρυχείο PhanMe στο Βιετνάμ (84,00-423,00 mg/kg, Hoang et al. 2020). Συγκριτικά χαμηλότερες τιμές χαλκού έχουν μετρηθεί στο λιγνιτωρυχείο Taoyuan στην Κίνα (12,29-39,09 mg/kg, Xu et al. 2021) και στην περιοχή Inner Mongolia, αυτόνομη περιοχή στη βόρεια Κίνα (5.34-52.76 mg/kg, Chen et al. 2021).

4.4 ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Στο έδαφος, ένα μέρος των χημικών στοιχείων βρίσκεται δεσμευμένο στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών και ουσιαστικά δε μετακινείται εύκολα. Ένα δεύτερο μέρος αφορά σε διάφορους ρύπους και ιόντα τα οποία είναι προσροφημένα στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών, της οργανικής ύλης και διαφόρων άμορφων οξειδίων. Το κλάσμα αυτό είναι εύκολα ανταλλάξιμο μεταξύ στερεής και ρευστής φάσης και βιοδιαθέσιμο στο περιβάλλον.

Βιοδιαθεσιμότητα ονομάζεται η ποσότητα των διαφόρων μετάλλων που είναι διαθέσιμη για πρόσληψη από έναν οργανισμό από το περιβάλλον του (Κατρίτσης 2016). Η έννοια αυτή αναφέρεται στην κινητικότητα, μεταφορά και διάχυση των διαφόρων χημικών στοιχείων από το έδαφος στην ατμόσφαιρα ή στο νερό, την πρόσληψή τους από τους

οργανισμούς και τελικά τη βιωσιμότητά τους σε αυτούς. Η βιοδιαθεσιμότητα είναι μια ευρύτερη έννοια που αφορά όλους τους οργανισμούς στους οποίους είναι δυνατό να μεταφερθεί ένα στοιχείο από το έδαφος και γενικότερα από το περιβάλλον, π.χ. την τροφική αλυσίδα, και περιλαμβάνει τη φυτοδιαθεσιμότητα, δηλαδή τη μεταφορά ουσιών από το έδαφος στα φυτά (Δημητρέλος 2015).

Ο προσδιορισμός των βιοδιαθέσιμων βαρέων μετάλλων είναι σημαντικός γιατί, επειδή οι ρύποι αυτοί δεν αποικοδομούνται, παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον και καταλήγουν στην τροφική αλυσίδα, συνεπώς καθίστανται τοξικοί για τους οργανισμούς. Το βιοδιαθέσιμο λοιπόν ποσοστό ενός μετάλλου αποτελεί ένδειξη της τοξικότητάς του.

Από μόνες τους οι ολικές συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων στο έδαφος δεν αρκούν για να παρέχουν πληροφορίες για την κινητικότητα, τη βιοδιαθεσιμότητα, την τοξικότητα και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και τους οργανισμούς που διαβιούν σε αυτό. Είναι σημαντικό να υπολογιστούν και να ληφθούν υπόψη διάφοροι γεωχημικοί παράγοντες. Έτσι, η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων στα εδάφη εξαρτάται από το pH του εδάφους, το οξειδοαναγωγικό δυναμικό, τη θερμοκρασία, την περιεχόμενη οργανική ουσία, την περιεχόμενη υγρασία, την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους, την ολική συγκέντρωση του στοιχείου στο έδαφος, τη μορφή του μετάλλου κ.ά. (Αθουσάκη, 2009).

Ενώ οι ολικές συγκεντρώσεις των διαφόρων χημικών στοιχείων στο έδαφος δίνουν πληροφορίες για τη γεωχημική συμπεριφορά τους σε αυτό, εάν πρέπει να εκτιμηθεί η περιβαλλοντική επικινδυνότητά τους και οι φάσεις οι οποίες δύναται να τα αποδεσμεύσουν στα υδατικά συστήματα ή στα φυτά, τότε χρησιμοποιείται η διαδικασία της κλασματικής εκχύλισης, δηλαδή η επιλεκτική διάλυση αυτών των φάσεων με τη χρήση ειδικών διαλυτών και η ανάλυση των επιμέρους κλασμάτων.

Στον Πίνακα 4.3 αναφέρονται οι εκχυλίσιμες ποσότητες των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης. Η εκχυλίσιμη ποσότητα αναφέρεται στην ποσότητα που δύναται να προσληφθεί από τα φυτά για το επόμενο μεγάλο χρονικό διάστημα (πιθανότατα 8-10 έτη) (Δημητρέλος 2015).

Πίνακας 4.3: Εκχυλίσιμες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης σε mg/kg.

Δείγμα	Pb	Ni	Cu _(0,28)	Mn _(1,4)	Zn _(0,39)
1	2,00	3,75	1,40	45,92	4,69
2	3,44	3,65	3,43	50,58	1,98
3	1,29	3,77	1,10	47,10	1,61
4	9,08	3,11	3,58	51,62	2,66
5	0,99	1,70	2,89	43,60	5,99
6	0,27	1,30	1,72	7,90	1,64
7	0,78	5,54	4,78	17,50	1,33
8	0,96	3,29	5,05	17,35	1,36
9	0,38	1,28	1,16	29,69	0,87
10	0,94	1,15	1,57	27,02	0,86
11	3,46	2,67	3,04	46,40	2,25
12	0,85	1,75	15,13	51,77	1,99
13	0,92	0,98	1,05	32,55	1,21
14	0,80	0,96	2,28	25,97	0,31
15	0,89	4,49	3,47	44,82	2,14

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3, οι συγκεντρώσεις του βιοδιαθέσιμου **μολύβδου** στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζουν μικρό εύρος διαφοράς μεταξύ τους. Εξαίρεση αποτελούν οι θέσεις 2, 4 και 11 που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες. Η υψηλότερη συγκέντρωση διαθέσιμου μολύβδου παρατηρείται στην θέση 4 (9,08 mg/kg), στην πόλη της Μεγαλόπολης.

Όσον αφορά στο **νικέλιο**, στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας παρατηρείται πως οι βιοδιαθέσιμες συγκεντρώσεις κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών από 0,96 - 5,54 mg/kg. Η θέση 7, κοντά στα λιγνιτωρυχεία, εμφανίζει την υψηλότερη συγκέντρωση (5,54 mg/kg) και ακολουθεί το δείγμα 15 (4,49 mg/kg), το οποίο βρίσκεται στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης και πιθανώς σχετίζεται με την παρουσία των οφιολιθικών πετρωμάτων στην περιοχή, τα οποία είναι πλούσια σε νικέλιο. Η επιβάρυνση του εδάφους με διαθέσιμο Ni είναι πιθανώς λιθογενούς προέλευσης, καθώς και απόρροια της δραστηριότητας εξόρυξης λιγνίτη στην περιοχή.

Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει μια ισχυρή γραμμική συσχέτιση του λόγου των διαθέσιμων προς ολικών συγκεντρώσεων του Ni με το pH με $r=0,83$ ($F=28,57$).

Επομένως το pH σχετίζεται με το λόγο διαθέσιμων προς ολικών τιμών Ni και συνεπώς με τη διαθεσιμότητα του νικελίου σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (με πιθανότητα 95%).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3, οι συγκεντρώσεις του βιοδιαθέσιμου **χαλκού** στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζουν μικρό εύρος διαφοράς μεταξύ τους. Εξαίρεση αποτελεί η θέση 12, που έχει ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση (15,13 mg/kg), στην πόλη της Μεγαλόπολης και είναι πολύ πιθανό να οφείλεται σε ανθρωπογενή αίτια.

Οι ολικές και οι βιοδιαθέσιμες συγκεντρώσεις του Cu έχουν μια γραμμική συσχέτιση με $r=0,69$ ($F=11,58$). Ασθενής γραμμική συσχέτιση προκύπτει μεταξύ του λόγου διαθέσιμων προς ολικών συγκεντρώσεων χαλκού με $r=0,34$ ($F=1,70$).

Στην περίπτωση του βιοδιαθέσιμου **μαγγανίου**, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3, οι τιμές των συγκεντρώσεων στις θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη διακύμανση μεταξύ τους (7,90-51,77 mg/kg). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στα δείγματα 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12 και 15, δηλαδή κυρίως στην Μεγαλόπολη και στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, που πιθανά υπάρχει εμπλουτισμός των εδαφών σε μαγγάνιο λιθογενούς προέλευσης.

Οι ολικές και οι βιοδιαθέσιμες συγκεντρώσεις του Mn έχουν μια μέτρια γραμμική συσχέτιση με $r=0,62$ ($F=8,25$). Επιπλέον με βάση την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει μια μέτριας έντασης γραμμική συσχέτιση του λόγου των διαθέσιμων προς ολικών συγκεντρώσεων του Mn με το pH με $r=0,60$ ($F=7,11$). Επομένως το pH σχετίζεται με το λόγο διαθέσιμων προς ολικών και συνεπώς με τη διαθεσιμότητα του μαγγανίου σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (με πιθανότητα 95%).

Τέλος, οι βιοδιαθέσιμες μορφές του **ψευδάργυρου** δεν παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στις θέσεις δειγματοληψίας. Η υψηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στην θέση 5 με τιμή 5,99 mg/kg στα όρια της πόλης της Μεγαλόπολης και η χαμηλότερη στη θέση 14 με τιμή 0,31 mg/kg, νότια του λιγνιτωρυχείου.

Με βάση την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει μια μέτριας έντασης γραμμική συσχέτιση του λόγου των διαθέσιμων προς ολικών συγκεντρώσεων του Zn με το pH με $r=0,58$ ($F=6,69$). Επομένως το pH σχετίζεται με το λόγο διαθέσιμων προς ολικών τιμών Zn

και συνεπώς με τη διαθεσιμότητα του ψευδαργύρου σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (με πιθανότητα 95%).

4.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Για να προσδιοριστούν τα επίπεδα της ρύπανσης των εδαφών, των ιζημάτων ή του νερού χρησιμοποιούνται διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη πέρα από τις προσδιορισμένες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και τις συγκεντρώσεις τους σε μη ρυπασμένα εδάφη, ιζήματα ή νερά στην ίδια περιοχή, δηλαδή τη λεγόμενη συγκέντρωση υποβάθρου. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η γνώση των φυσικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο φλοιό της γης ή στα εδάφη, στα ιζήματα και στο νερό, οι οποίες συνδέονται άμεσα με την ορυκτολογική σύσταση των μητρικών πετρωμάτων. Με τη βοήθεια των διαφόρων περιβαλλοντικών δεικτών είναι εφικτός σε ένα βαθμό ο διαχωρισμός των φυσικών και των ανθρωπογενών πηγών των βαρέων μετάλλων (Σοφιάνσκα 2013).

Για να εκτιμηθούν καλύτερα τα επίπεδα της πιθανής ρύπανσης των εδαφών της λεκάνης της Μεγαλόπολης θεωρήθηκε σκόπιμο να προσδιοριστούν διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες. Οι δείκτες που προσδιορίστηκαν είναι οι ακόλουθοι:

4.5.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

4.5.1.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (Igeo, Index of geoaccumulation)

Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης Igeo (Index of geoaccumulation), ο οποίος προτάθηκε από τον Müller (1979) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

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

όπου:

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

B_n είναι η γεωχημική συγκέντρωση του υποβάθρου ή τιμή αναφοράς του μετάλλου και

1,5 είναι ένας συντελεστής διόρθωσης της μάζας του υποβάθρου (background matrix correction factor).

Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης I_{geo} αναφέρεται στο βαθμό ρύπανσης μιας συγκεκριμένης περιοχής και ταξινομείται σε επτά επίπεδα στα οποία αυξάνεται σταδιακά η ρύπανση της περιοχής (Πίνακας 4.4), ξεκινώντας από την τάξη 0 για τις μη επιβαρυμένες περιοχές και καταλήγοντας στην τάξη 6 για τις εξαιρετικά ρυπασμένες περιοχές.

Πίνακας 4.4: Ταξινόμηση του δείκτη I_{geo} - Βαθμός επιβάρυνσης (πηγή: Müller, 1979)

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

Για όλα τα βαρέα μέταλλα που προσδιορίστηκαν στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε ο δείκτης γεωσυσσώρευσης (I_{geo}) (Πίνακας 4.5).

Σαν τιμές του γεωχημικού υποβάθρου επιλέχθηκαν οι τιμές των βαρέων μετάλλων στο στερεό φλοιό της γης (average shales) σύμφωνα με τους Turekian and Wedepohl (1961). Σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη γεωσυσσώρευσης έγινε η κατάταξη των εδαφών στις επτά τάξεις του δείκτη.

Με βάση τους παραπάνω δείκτες I_{geo} τα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης δεν είναι ιδιαίτερα επιβαρυμένα σε βαρέα μέταλλα γιατί για τα περισσότερα από τα στοιχεία οι αντίστοιχοι δείκτες παρουσιάζουν αρνητικές τιμές. Αναλυτικότερα:

Ως προς το **Mn** όλα τα δείγματα, εκτός από το δείγμα 12 που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης και το δείγμα 15 στα νοτιοδυτικά περιθώρια της λεκάνης, έχουν αρνητικές τιμές I_{geo} και ανήκουν στην τάξη I_{geo} ίση με 0. Επομένως η περιοχή στην οποία βρίσκονται χαρακτηρίζεται μη επιβαρυμένη ως προς το Mn. Τα δείγματα 12 και 15

ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 1 και οι αντίστοιχες περιοχές θεωρούνται μη επιβαρυμένες έως ελαφρώς επιβαρυμένες από το Mn.

Πίνακας 4.5: Τιμές δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης.

Δείγμα	Igeo Mn	Igeo Cr	Igeo Cu	Igeo Ni	Igeo Pb	Igeo Zn
1	-0,97	-0,47	-1,27	-0,10	1,67	-1,35
2	-0,16	0,12	-0,89	0,28	2,05	-1,15
3	-0,37	-0,14	-1,88	0,08	1,85	-1,64
4	-0,19	0,22	-0,73	0,62	2,39	-1,06
5	-0,26	0,28	-0,81	0,48	2,25	-0,54
6	-1,21	-0,74	-0,96	0,65	2,41	-1,29
7	-0,80	0,88	-0,52	0,53	-1,48	-1,00
8	-1,21	0,59	-0,59	0,65	-1,46	-0,83
9	-0,96	0,07	-1,41	0,05	-2,04	-1,49
10	-0,67	0,58	-0,91	0,46	-1,54	-0,98
11	-0,31	-0,12	-0,96	-0,38	0,55	-1,25
12	0,21	-0,04	0,30	-0,35	-0,90	-1,48
13	-0,42	0,50	-0,80	0,63	-1,22	-0,96
14	-0,77	0,52	-0,75	0,82	-1,36	-1,00
15	0,77	-0,07	0,43	1,30	-0,51	-0,47

Ως προς το **Cr** τα δείγματα 1, 3, 6, 11, 12, 15 εμφανίζουν αρνητικές τιμές Igeo και ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 0. Επομένως οι αντίστοιχες περιοχές χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυμένες περιοχές από το Cr. Τα υπόλοιπα εννέα δείγματα ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 1 και οι αντίστοιχες περιοχές θεωρούνται μη επιβαρυμένες έως ελαφρώς επιβαρυμένες από το χρώμιο.

Ως προς το **Cu**, δεκατρία από τα δεκαπέντε δείγματα παρουσιάζουν αρνητικές τιμές Igeo και ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 0 και άρα χαρακτηρίζονται μη επιβαρυμένα από το χαλκό. Τα δείγματα 12 και 15 ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 1 και οι αντίστοιχες περιοχές θεωρούνται μη επιβαρυμένες έως ελαφρώς επιβαρυμένες σε χαλκό.

Ως προς το **Ni**, μόνο τρία δείγματα (1, 11, 12) εμφανίζουν αρνητικές τιμές Igeo και ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 0. Επομένως η περιοχή στην οποία βρίσκονται χαρακτηρίζεται μη επιβαρυσμένη ως προς το νικέλιο. Έντεκα δείγματα (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14) ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 1 και οι αντίστοιχες περιοχές χαρακτηρίζονται μη επιβαρυσμένες έως ελαφρώς επιβαρυσμένες από το νικέλιο. Το δείγμα 15 ανήκει στην τάξη Igeo ίση με 2 και η περιοχή στην οποία βρίσκεται χαρακτηρίζεται ελαφρώς επιβαρυσμένη σε νικέλιο.

Ως προς το **Pb** οκτώ από τα δείγματα (7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15) παρουσιάζουν αρνητικές τιμές του δείκτη Igeo και επομένως κατατάσσονται στην τάξη Igeo ίση με 0 και η αντίστοιχη περιοχή τους χαρακτηρίζεται ως μη επιβαρυσμένη σε μόλυβδο. Ένα δείγμα (11) ανήκει στην τάξη Igeo ίση με 1 και η περιοχή που ανήκει χαρακτηρίζεται μη επιβαρυσμένη έως ελαφρώς επιβαρυσμένη από το μόλυβδο. Δύο δείγματα (1, 3) ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 2 και η αντίστοιχη περιοχή τους θεωρείται ελαφρώς επιβαρυσμένη σε μόλυβδο. Τέλος, τα υπόλοιπα τέσσερα δείγματα (2, 4, 5, 6) ανήκουν στην τάξη Igeo ίση με 3 και η αντίστοιχη περιοχή τους θεωρείται ελαφρώς έως έντονα επιβαρυσμένη σε μόλυβδο.

Ως προς τον **Zn** όλα τα δείγματα εμφανίζουν αρνητικές τιμές του δείκτη Igeo και κατατάσσονται στην τάξη Igeo ίση με 0, επομένως όλα τα εδάφη της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυσμένα σε ψευδάργυρο.

4.5.1.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PI (Pollution Index)

Ο δείκτης ρύπανσης PI (Pollution Index), ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των πιο επιβλαβών για το περιβάλλον βαρέων μετάλλων δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

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

όπου:

PI: ο δείκτης ρύπανσης για κάθε ένα στοιχείο,

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

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

Κατάταξη εδαφών ως προς τα επίπεδα ρύπανσης σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη PI (Konstantinova et al. 2019, Yang et al. 2020):

PI<1: μη ρυπασμένο έδαφος

1≤PI<2: χαμηλό επίπεδο ρύπανσης

2≤PI<3: μέτριο επίπεδο ρύπανσης

3≤PI<5: ισχυρή ρύπανση

PI≥5: πολύ ισχυρή ρύπανση

Στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης προσδιορίστηκε ο δείκτης Ρύπανσης (PI) για τα 6 βαρέα μέταλλα (Πίνακας 4.6):

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα δείκτη Ρύπανσης PI στα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης

Δείκτης	Mn	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
PI	1,15	1,73	0,94	2,04	3,10	0,72

Ο δείκτης Ρύπανσης (PI) για τον Zn και για τον Cu κυμαίνεται από 0 έως 1 και τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως προς μη ρυπασμένα από τα μέταλλα αυτά.

Για τα βαρέα μέταλλα Mn και Cr ο δείκτης PI κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 και τα εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης εμφανίζουν χαμηλό επίπεδο ρύπανσης ως προς τα στοιχεία αυτά.

Για το Ni ο δείκτης PI κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3 και τα εδάφη της περιοχής μελέτης εμφανίζουν μέτριο επίπεδο ρύπανσης ως προς το Ni.

Για τον Pb ο δείκτης PI κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 και τα εδάφη εμφανίζουν ισχυρή ρύπανση ως προς το Pb.

4.5.1.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PLI (Pollution Load Index)

Ο δείκτης ρύπανσης φορτίου PLI είναι ένας δείκτης που συμβάλλει στην συνολική εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης των εδαφών μιας περιοχής και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

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

Όπου:

n: ο αριθμός των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν και

PI: οι τιμές του δείκτη ρύπανσης PI για το κάθε μέταλλο.

Κατάταξη εδαφών ως προς τα επίπεδα ρύπανσης σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη PLI (Μεγαδούκα 2016):

PLI<1: Χαμηλή ρύπανση

1<PLI<3: Μέτρια ρύπανση

3<PLI<6: Σημαντική ρύπανση

PLI>6: Πολύ υψηλή ρύπανση

Στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης ο δείκτης PLI υπολογίστηκε ίσος με 1,43, δηλαδή κατατάσσεται μεταξύ 1 και 3. Επομένως τα επιφανειακά εδάφη της περιοχής μελέτης εμφανίζουν μέτρια ρύπανση ως προς τα 6 βαρέα μέταλλα.

4.5.1.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (MEC)

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί εάν η προέλευση των ρύπων είναι φυσική ή ανθρωπογενής. Όταν ο δείκτης αυτός λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 1 τότε επικρατούν οι ανθρωπογενούς προέλευσης πηγές ρύπανσης. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση (Kowalska et al. 2018):

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

Όπου:

C: η περιεκτικότητα του εδάφους σε βαριά μέταλλα,

T: ανεκτά επίπεδα σύμφωνα με τον Kloke (1979) (Πίνακας 4.7),

n: το πλήθος των βαρέων μετάλλων

Πίνακας 4.7: Ανεκτά επίπεδα βαρέων μετάλλων στα εδάφη (Kloke, 1979)

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

Ο δείκτης MEC υπολογίστηκε ίσος με 0,67. Οι τιμές του δείκτη αυτού είναι μικρότερες του 1 και υποδεικνύουν λιθογενή προέλευση των στοιχείων. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι τα βαρέα μέταλλα που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία έχουν σε ένα βαθμό γεωγενή προέλευση, προέρχονται δηλαδή από την αποσάθρωση των πετρωμάτων της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως προς το βαθμό ρύπανσής τους, κυρίως εξαιτίας των λιγνιτωρυχείων που δραστηριοποιούνται στην περιοχή. Για το λόγο αυτό, υπάρχει απόλυτη ανάγκη ειδικής έρευνας και μελέτης για την ορθή διαχείρισή τους.

Με την παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές και γεωχημικές αναλύσεις στα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης.

Από την κοκκομετρική ανάλυση προέκυψε ότι τα εδάφη εμφανίζουν ομοιογένεια ως προς την κοκκομετρία τους και χαρακτηρίζονται κυρίως ως αμμοπηλώδη.

Οι τιμές του pH υποδηλώνουν περιβάλλον ουδέτερο έως μέσο αλκαλικό. Η παρουσία στην ευρύτερη περιοχή ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστολίθων, δολομιτών κ.ά.), τα οποία με την αποσάθρωση τροφοδοτούν το έδαφος με βάσεις, δικαιολογούν αυτές τις τιμές.

Τα επιφανειακά εδάφη της λεκάνης της Μεγαλόπολης είναι πλούσια σε οργανική ουσία, λόγω της γεινίασης του επιφανειακού εδάφους με τον οργανικό ορίζοντα, αλλά και της παρουσίας των λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Χαμηλές ολικές συγκεντρώσεις μετρήθηκαν για τα βαρέα μέταλλα χαλκό και ψευδάργυρο, υψηλότερες για το μαγγάνιο και το χρώμιο ενώ μέτρια ρύπανση των εδαφών προσδιορίστηκε ως προς το νικέλιο και κυρίως ως προς το μόλυβδο. Η ρύπανση αυτή σε ένα μεγάλο ποσοστό είναι ανθρωπογενούς προέλευσης και οφείλεται πρωτίστως στην εξορυκτική δραστηριότητα του λιγνίτη που λαμβάνει χώρα στην περιοχή, καθώς και στη λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών. Η ιπτάμενη τέφρα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση του λιγνίτη και είναι πλούσια σε βαρέα μέταλλα τα μεταφέρει και τα αποθέτει στα εδάφη και τα ύδατα της ευρύτερης περιοχής επιβαρύνοντάς τα.

Ως προς το μόλυβδο οι συγκεντρώσεις του αυξάνονται κυρίως κατά μήκος κεντρικών οδικών αρτηριών και πιθανά οφείλονται στις μετακινήσεις των οχημάτων και στην καύση των ορυκτών καυσίμων.

Το νικέλιο, πέρα των ανθρωπογενών του πηγών, έχει και λιθογενή προέλευση. Ένα μέρος του προέρχεται από την αποσάθρωση των πλούσιων σε νικέλιο οφιολιθικών πετρωμάτων στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης της Μεγαλόπολης.

Το μαγγάνιο έχει επίσης και λιθογενή προέλευση. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις του αποδίδονται στην παρουσία στα ανατολικά περιθώρια της περιοχής μελέτης κερατολίθων, πλούσιων σε Mn και οφιολίθων στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης της Μεγαλόπολης.

Από τα βιοδιαθέσιμα βαρέα μέταλλα που προσδιορίστηκαν, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν το μαγγάνιο και το νικέλιο. Προέκυψε μια ισχυρή γραμμική συσχέτιση του λόγου των διαθέσιμων προς ολικών συγκεντρώσεων του Ni με το pH και μια μέτριας έντασης γραμμική συσχέτιση του λόγου των διαθέσιμων προς ολικών συγκεντρώσεων του Mn και του Zn με το pH. Αυτό υποδεικνύει ότι το pH σχετίζεται με το λόγο διαθέσιμων προς ολικών και συνεπώς με τη διαθεσιμότητα των παραπάνω μετάλλων σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (με πιθανότητα 95%).

Συμπερασματικά, τα επιφανειακά εδάφη της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης είναι ελαφρώς έως μέτρια ρυπασμένα ως προς τα βαρέα μέταλλα που μελετήθηκαν. Μεγαλύτερη ρύπανση προσδιορίστηκε ως προς το μόλυβδο και ακολουθούν το νικέλιο, το μαγγάνιο και το χρώμιο. Τα επιφανειακά εδάφη δεν είναι ρυπασμένα ως προς το χαλκό και τον ψευδάργυρο.

Η μεγάλη εξορυκτική δραστηριότητα και η λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που λαμβάνουν χώρα εδώ και δεκαετίες στην περιοχή, δεν έχουν επιβαρύνει ιδιαίτερα τα εδάφη της περιοχής με τα βαρέα μέταλλα που μελετήθηκαν. Εντούτοις κρίνεται αναγκαία η αποκατάσταση των χώρων εξόρυξης, όταν αυτή σταματήσει, για αισθητικούς λόγους και λόγους αξιοποίησης των εκτάσεων αυτών για άλλες χρήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθανασάς Π., (2017). Η εφαρμογή ειδικών αναπτυξιακών προγραμμάτων (ΕΑΠ) στο χώρο της Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Αυτοδιοίκησης, η περίπτωση του ΕΑΠ λεκανοπεδίου Μεγαλόπολης ΠΕ Αρκαδίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα. Σελ. 106.
- Αθουσάκη Α., (2009). Βιοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων σε εδάφη. Μεταπτυχιακή εργασία. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης. Σελ. 94.
- Αλεξόπουλος Π., Λιάππης Κ., (2014). Βιολογικός καθαρισμός πετρελαιοειδών. Πτυχιακή Διπλωματική Εργασία. ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Σελ. 100.
- Αργυράκη Α., (2007). Σημειώσεις του μαθήματος Αναλυτική Γεωχημεία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Βαλαβανίδης Αθ., (2007). Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία. Ερευνητική μεθοδολογία για την εκτίμηση οικολογικού κινδύνου από επικίνδυνες χημικές ουσίες, Εκδόσεις: Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Βουράνη Β., Κωνσταντοπούλου Π., (2009). Περιβαλλοντική αποκατάσταση τοπίου Μεγαλόπολης με τη χρήση φυτών. Πτυχιακή εργασία. ΤΕΙ Καλαμάτας. Σελ. 98.
- Γαβριηλίδης Γ., (2012). Περιβαλλοντικά προβλήματα από την εκμετάλλευση συμβατικών καυσίμων και «πράσινες» λύσεις. Διπλωματική εργασία. ΤΕΙ Καβάλας. Σελ. 100.
- Γαλανοπούλου Σ., (2005). Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη θαλάσσιων επιφανειακών ιζημάτων περιοχής λιμένος Κερατσινίου. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών. Αθήνα. Σελ. 200.
- Γεννηματάς Π., (2013). Επεξεργασία λιγνίτη Μεγαλόπολης με βαρομετρικές μεθόδους. Πτυχιακή διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σελ. 75.
- Γιδαράκος Ε., Αϊβαλιώτη Μ., (2005). Τεχνολογίες Αποκατάστασης Εδαφών και Υπογείων Υδάτων από Επικίνδυνους Ρύπους. Εκδ: Ζυγός.
- Γκάγκα Α., (2007). Αντισταθμιστικό ισοζύγιο δημοσίων εκτάσεων εντός ορίων ΔΕΗ στη Μεγαλόπολη με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Διεπιστημονικό Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών. Σελ. 132.
- Γρηγορίου Μ., (2002). Μαθήματα Βιολογίας Γ΄ Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης, σελ. 294. Εκδ: Σαββάλα.
- Δημητρέλος Η., (2015). Προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων και της κρυσταλλικής δομής των συστατικών ιλύος βιολογικών καθαρισμών και αξιολόγηση του βαθμού διαθεσιμότητας των μετάλλων. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σελ. 285.
- ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε)., (2006). Έρευνα για την Υγιεινή και ασφάλεια των κατοίκων της περιοχής Μεγαλόπολης λόγω της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

- Ζηλάκου Σ., (2016). Εκτίμηση της κινητικότητας ιχνοστοιχείων από δείγματα λιγνίτη, ιπτάμενης τέφρας, τέφρας εστίας και αποθέσεων σε όξινο, ουδέτερο και βασικό περιβάλλον. Μεταπτυχιακή εργασία. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σελ. 90.
- Θέος Ν., (2010). Περιβαλλοντικές Επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ.164.
- Ιωάννου Δ., (2001). Μελέτη της προσρόφησης βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων στα ιζήματα του Θερμαϊκού κόλπου, με τη χρήση μαθηματικών προτύπων επιφανειακής συμπλοκοποίησης. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Διδακτορική διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης. Σελ. 159.
- Καβουρίδης Κ., Χαλούλος Κ., Λεοντίδης Μ. και Ρούμπος Χ., (2005). Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση και προοπτικές. Διημερίδα: Λιγνίτης και Φυσικό Αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας. ΤΕΕ.
- Καραγιάννης Ε., (2016). Διερεύνηση της ευστάθειας πρηνούς ορύγματος εκμετάλλευσης της ΔΕΗ ΑΕ στη Μεγαλόπολη. Διπλωματική εργασία. Σελ. 164.
- Κατρίτσης Δ.Χ., (2016). Κινητικότητα και βιοπροσβασιμότητα δυνητικά τοξικών στοιχείων σε επιφανειακά εδάφη του Λεκανοπεδίου Αθηνών. Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 162.
- Κελεπερτζής Α., (2006). Εργαστηριακές Ασκήσεις Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωχημείας. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κουϊμτζής Θ., (1989). Χημεία Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη. Εκδ: Ζήτη.
- Κουϊμτζής Θ., Μάτης Κ., (1993). Αρχές Τεχνολογίας Αντιρρύπανσης, σελ. 248. Εκδ: Ζήτη.
- Κωτούλας Α., (2007). Εκτίμηση κινδύνου από χρήση ιπτάμενης τέφρας ως εδαφοβολτιωτικό. Διπλωματική εργασία. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης. Σελ. 115.
- Λουκίδου Μ., (2003). Απομάκρυνση τοξικών μετάλλων από αραιά διαλύματα με την εφαρμογή της βιορρόφησης. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Χημείας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 260.
- Μαρίνου Γ., Αναστόπουλου Ι., (1957 – 1959). Η λιγνιτοφόρος λεκάνη Μεγαλοπόλεως. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (Ι.Γ.Ε.Υ.).
- Μεγαδούκα Δ., (2016). Ανάλυση περιβαλλοντικού κινδύνου από βαρέα μέταλλα γεωγενούς και ανθρωπογενούς προέλευσης σε δύο αντιπροσωπευτικές περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 250.
- Μπέλλος Δ., (2004). Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων - βαρέων μετάλλων και ραδιοκαϊσίου στο νερό – ίζημα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού. Διδακτορική διατριβή. ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη. Σελ. 187.
- Μήτσιος Ι., (2004). Γονιμότητα Εδαφών Θρεπτικά στοιχεία φυτών: Μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και εφαρμογές. Ζημελ. Αθήνα.

- Νικολόπουλος Κ., (2010). Η μεσαία λιγνιτοφόρα στοιβάδα στο ορυχείο Μαραθούσης της Λεκάνης Μεγαλόπολης: Παλαιό περιβάλλον απόθεσης. Πτυχιακή εργασία. Πολυτεχνείο Πάτρας. Σελ. 84.
- Παντέρα Α., Γαλανοπούλου Σ., (2015). Διδακτικές Σημειώσεις Δασική Εδαφολογία. ΓΠΑ. Καρπενήσι.
- Παπαγιαννόπουλος Δ., (2018). Ανάλυση μεθόδων αποκατάστασης εδαφών από βαρέα μέταλλα. Πτυχιακή εργασία. ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Σελ. 76.
- Παπαδημητρίου Ε., (2005). Τοξικοκινητική και βιοχημική μελέτη της επίδρασης χαλκού σε διάφορους ιστούς του αμφίβιου *Rana ridibunda*. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Βιολογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παπάζογλου Ε., (2004). Άρδευση του ενεργειακού φυτού *Arundo Donax* . Με νερά επιβαρυμένα με βαρέα μέταλλα και δυνατότητες χρήσης του για την απορρύπανση του περιβάλλοντος. Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 386.
- Πατσιούρα Α., (2004). Απομάκρυνση βαρέων μετάλλων με χρήση ελληνικών Λιγνιτών. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά.
- Σιαβάλας Γ., (2013). Η μελέτη των στρεών ρύπων που διασπείρονται σε εδάφη και ιζήματα σε σχέση με τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά των ενεργειακά αξιοποιούμενων συμβατικών καυσίμων. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σελ. 232.
- Σιδέρης Χ., (2009). Διερεύνηση της δράσεως του καδμίου και άλλων βαρέων μετάλλων στη συμπεριφορά, αντιοξειδωτική κατάσταση, ένζυμα και βιογενείς αμίνες εγκεφάλου επιμυών. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Ιατρικής ΕΚΓΑ. Αθήνα. Σελ. 150.
- Σοφιάνσκα Ε., (2013). Γεωχημική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε εδάφη, ύδατα και φυτά στο δυτικό τμήμα της λεκάνης της Δράμας, από την παρουσία και εκμετάλλευση κοιτασμάτων Μαγγανίου στην ευρύτερη περιοχή. Πειραματική αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Τμήμα Γεωλογίας. Σελ. 434.
- Τσιγαρίδας Κ., (2014). Διερεύνηση της ρύπανσης με βαρέα μέταλλα και ραδιενέργεια, της λεκάνης Κοζάνης-Πτολεμαΐδας με τη χρήση βιολογικών δεικτών, νερού και μικροοργανισμών. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Σελ. 309.
- Φραγκίσκος Α., (1995). Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών. Εκδ: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Χριστογιαννόπουλος Αθ., (2019). Τεχνική Περιγραφή: Προμήθεια συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου και διαχείρισης του δικτύου ύδρευσης του δήμου Μεγαλόπολης. Υπουργείο Εσωτερικών.
- Alloway B.J., (1990). Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional. London. UK.

- Alloway B., (1995). Heavy metals in soils. Second Edition. Springer-Verlag. USA 371p.
- Blaylock, M.J., Huang, J.W., (2000). Phytoextraction of metals. In: Raskin, I. Ensley B.D., (Eds). Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. John Wiley and Sons. New York. 53-70.
- Bouyoucos G.J., (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. *Soil Sci.* 23: 343-352.
- Bouyoucos G.J., (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron. J.* 43: 434-438.
- Bouyoucos G.J., (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
- Chen G., Yang Y., Liu X., Wang M. (2021). Spatial Distribution Characteristics of Heavy Metals in Surface Soil of Xilinguole Coal Mining Area Based on Semivariogram. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2021, 10, 290. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.3390/ijgi10050290>. Ανάκτηση 10/8/2021.
- Clayton G., and Clayton F., (1994). In *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*. Vol. 2C. John Wiley & Sons. New York.
- Donnelly T.H., Shergold J.H., Southgate P.N. and Barnes C.J., (1990). Events leading to global phosphogenesis around the Proterozoic Cambrian boundary. *Geological Society of America. Bulletin* 52: 273-287.
- Francis E.C, Auerbach S., (1983). eds. *Environment and Solid Wastes: Characterization, Treatment and Disposal*. Butterworth. Woburn. MA.
- Gaillardet J., Viers J., Dupn B., (2003). Trace elements in river waters. In: Drever JI (ed) *Surface and ground water, weathering and soils*. In: Holland HD. Turekian KK (eds) *Treatise on geochemistry*. Elsevier. Oxford 5:225-227
- Greig-Smith P.W., Becker H., Edwards P.J., Heimbach F., (1992). eds. *Ecotoxicology of Earthworms*. Intercept Ltd. Andover. The Netherlands.
- Hughes M.K., Lepp N.W. and Phipps D.A., (1980). Aerial heavy metal pollution in terrestrial ecosystems. *Adv. Ecol. Res* 11: 218-327.
- Iyaka Y., (2011). Nickel in soils: A review of its distribution and impacts. *Scientific Research and Essays* 6 (33): 6774-6777.
- Jokinen R. & Tähtinen H., (1987). Copper content of coarse mineral and peat soils and the growth of oats in pot experiment. *Annales Agriculturae Fenniae* 26:227-237.
- Kabata-Pendias A., (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press Inc. Boca Raton. Florida 505P.
- Kahle H., (1993). Response of roots of trees to heavy metals. *Environmental and experimental Botany* 33:99-119.
- Kavouridis K., Roumpos C., Galetakis M. & Pavludakis F., (2008). Methods and Technological Improvements for the Efficient Removal of the Overburden Hard Rock Formations at South Field Lignite Mine, Ptolemais, Greece. *Proced.of 9th International*

- Symposium: Continuous Surface Mining. 8-11 October 2008. Petrosani – Romania. 91-100.
- Kelepertzis A., Alexakis D., and Kita I., (2001). Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area. Korinthos. Greece. *Environ. Geochem. Health*. 23, 117–135.
- Kloke A., (1979). Content of Arsenic, Cadmium, Chromium, Fluorine, Lead, Mercury, and Nickel in Plants Grown on Contaminated Soils. United Nations-ECE Symposium. Geneva. pp. 51-53.
- Konstantinova E., Minkina T., Sushkova S., Konstantinova A., Rajput V., Sherstnev A., (2019). Urban soil geochemistry of an intensively developing Siberian city: A case study of Tyumen, Russia. *Journal of Environmental Management* 239. 366-375.
- Ladwany K., Ladwany K., Manik V. & Ramteke D., (2012). Assessment of heavy metal contaminated soil near coal mining area in Gujarat by toxicity characteristics leaching procedure. *International Journal of life sciences Biotechnology and farma research*. Vol. 1. No 4.
- Li J., Xie J., Sun Y., (2006). Risk assessment for safety of soils and vegetables around a lead/Zinc mine. *Environmental Geochemistry and Health* 28:37-44.
- Müller, G. (1979). Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungenseit 1971. *Umschau* 24. 778-783.
- Reddy M.S., Basha S., Joshi H.V., Jha B., (2005). Evaluation of the emission characteristics of trace metals from coal and fuel fired power plants and their fate during combustion. *J. Hazard. Mater.* 123. 242-249.
- Richard F.C., and Bourg A.M., (1991). Aqueous geochemistry of chromium. A review. *Journal of water Resources*, 25, 7. pp 807-816.
- Rudnick R. & Gao S., (2013). *Composition of the Continental Crust*. Treatise on geochemistry. 2nd Edition. Elsevier Science.
- Salminen R., Batista M.J., Bidovec M., Demetriades A., De Vivo B., De Vos W., Duris M., Gilucis A., Gregorauskiene V., Halamic J., Heitzmann P., Jordan G., Klaver G., Klein P., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mazreku A., O'Connor P.J., Olsson S.A., Ottesen R.T., Petersell V., Plant J.A., Reeder S., Salpeteur I., Sandstrom H., Siewers U., Steenfelt A., Tarvainen T., (2005). *Geochemical Atlas of Europe. Part 1. Background Information. Methodology and Maps*. Geological Survey of Finland. Espoo. pp 526.
- Sas-Nowosielska A., Kucharski R., Malkowski E., Pogrzeba M., Kuperberg J.M., Kryński K., (2004). Phytoextraction crop disposal - an unsolved problem. *Environ Pollut.* 128. 373-379.
- Shaw A.J., (1990). ed. *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. CRC Press. Boca Raton. FL.
- Stivanakis V.D., Papamantellos E., Galanoulis, (2003). Evaluation of Greek Portland cement based on Megalopolis fly ash addition. *Steel Grips* 1 (2003) 2. 140-144.
- Solomons N.W., (1980). Zinc and Copper in Medicine. In: Karcioğlu Z. and Sarper R.M. (eds). Charles C. Thomas. Springfield. Illinois pp. 224-275.

- Thornton I. et al., (1980). In: Trace Substances in Environmental Health XLV. Hemphill. DD (ed). Univ Missouri. Columbia.
- Turekian K.K., Wedepohl K.H., (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. Am. Bull. 72 (2), 175–192.
- Yang P., Drohan P., Yang M., Li H., (2020). Spatial variability of heavy metalecological risk in urban soils from Linfen. China. Catena 190 104554.
- World Health Organization Geneva (WHO), (2012). https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/EN_WHS2012_Full.pdf
- Wuana R., and Okieimen F.E., (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources. Chemistry. Risks and Best Available Strategies for Remediation. International Scholarly Research Network. ISRN Ecology. 2011: 402647:1-20.
- Xu J., Gui H., Chen J., Li C., Li Y., Zhao C. & Guo Y., (2021). A combined model to quantitatively assess human health risk from different sources of heavy metals in soils around coal waste pile, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. Διαθέσιμο στο: 10.1080/10807039.2021.1956299. Ανάκτηση 11/8/2021.
- Hoang N. V., Dao Le Q., Van D., Hoa P.L., (2020). Heavy metal contamination of soil based on pollution, geo-accumulation indices and enrichment factor in Phan Me coal mine area, Thai Nguyen province, Vietnam. Vietnam Journal of Earth Sciences, 42(2), 105-117.
- <http://www.ssi.swri.gr/index.php/el/services-gr-main/services-gr-3>.
- <http://www.arcadiaportal.gr>
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CE%9C%CE%B5%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CF%8C%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CF%82#/media/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:2011_Dimos_Megalopolis.png
- <https://megalopolis.gr/?p=110>
- πηγή: <https://agropublic.gr/arthra-apopseis/ph-edafous-fyta/>)