

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αρ.Φρ. Πρωτοκ: 721
Ημερομηνία: 24-2-20



«Συσγέτιση μεταξύ εδαφικών ιδιοτήτων και συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων σε εδαφικά και φυτικά δείγματα που ελήφθησαν από το Θριάσιο Πεδίο Αττικής»

ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ

Περίληψη

Όπως είναι γνωστό στις μέρες μας η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα τεράστιο πρόβλημα σε παγκόσμια κλίμακα. Το πρόβλημα της ρύπανσης επιδεινώνεται λόγω της παρουσίας του ανθρώπου ο οποίος ευθύνεται για τη ρύπανση των εδαφών, των υδάτων αλλά και της ατμόσφαιρας. Ένας τρόπος με τον οποίο ο άνθρωπος προκαλεί μόλυνση του περιβάλλοντος είναι οι βιομηχανικές δραστηριότητες των οποίων τα απόβλητα εμπλουτίζουν την ατμόσφαιρα με τοξικές ενώσεις όπως το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα αλλά και βαρέα μέταλλα. Αν και τα βαρέα μέταλλα μπορεί να έχουν φυσιολογική αιτία παρουσίας στο έδαφος, όπως για παράδειγμα η αποσάθρωση των ορυκτών, ωστόσο η υπερβολική συγκέντρωση αυτών οφείλεται στις διεργασίες του ανθρώπου. Επομένως, σε εδάφη γύρω από βιομηχανικές περιοχές αναμένουμε μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων.

Μία τέτοια περιοχή είναι το Θριάσιο Πεδίο στην Αθήνα, το οποίο αποτελεί τη βιομηχανική περιοχή της Αττικής για δεκαετίες και λογικό είναι τα εδάφη να είναι εμπλουτισμένα με βαρέα μέταλλα. Επίσης, αποτελεί και κατοικημένη περιοχή. Εύκολα καταλαβαίνει κανείς, λοιπόν, τους κινδύνους που επιφυλάσσονται για τους ανθρώπους αλλά και τα φυτά της περιοχής λόγω της παρουσίας υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Η μελέτη μας, λοιπόν, είχε ως στόχο να μετρήσουμε τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων τόσο σε εδαφικά δείγματα τις περιοχής όσο και στα φυτά αλλά και να εξετάσουμε τους κινδύνους που επιφυλάσσονται για τον άνθρωπο. Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, πήραμε εδαφικά δείγματα σε 31 σημεία της περιοχής και έτσι διαπιστώσαμε τις συγκεντρώσεις των παρακάτω βαρέων μετάλλων:

- Αργίλιο (Al)
- Κάδμιο (Cd)
- Χρώμιο (Cr)
- Σίδηρος (Fe)
- Μολυβδαίνιο (Mo)
- Μόλυβδος (Pb)
- Βανάδιο (V)

Αυτά τα 7 βαρέα μέταλλα, θέλαμε να μετρήσουμε στο έδαφος και στα φυτά, αλλά και να εξετάσουμε τους κινδύνους υγείας που επιφυλάσσουν για τον άνθρωπο.

Οι αναλύσεις μας, έδειξαν ότι από τα 7, οι συγκεντρώσεις των κάδμιο, χρώμιο και μόλυβδος ήταν σε υψηλότερη συγκέντρωση στο έδαφος από τα όρια συγκέντρωσης που είχαμε θέσει. Το παράδοξο ήταν ότι οι συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών ήταν σε χαμηλότερη συγκέντρωση στα φυτά σε σχέση με αυτό που περιμέναμε να βρούμε, δηλαδή υψηλές συγκεντρώσεις και σ' αυτά. Καταλήξαμε

στο συμπέρασμα ότι τα φυτά είχαν αναπτύξει ανθεκτικότητα στις υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων.

Όσον αφορά την εκτίμηση του κινδύνου υγείας, το χρώμιο και ο μόλυβδος βρέθηκαν ότι είχαν τη μεγαλύτερη συμβολή, δηλαδή ήταν τα πιο τοξικά στοιχεία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ. σελ 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ. σελ 7

2.1 Περιγραφή της τοποθεσίας. σελ 7

2.2 Δειγματοληψία και ανάλυση. σελ 7

2.3 Διαθεσιμότητα και δείκτες κινδύνου των βαρέων μετάλλων για την ανθρώπινη υγεία.σελ 9

2.4 Στατιστική επεξεργασία. σελ 11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ. σελ 12

3.1 Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα εδάφη. σελ 12

3.2 Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα φυτά. σελ 12

3.3 Διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων σελ 12

3.4 Αξιολόγηση του κινδύνου των βαρέων μετάλλων για την υγεία. σελ 13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΖΗΤΗΣΗ. σελ 14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ σελ 16

ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ. σελ 17

ΠΙΝΑΚΕΣ. σελ 22

1. Εισαγωγή

Η υψηλή συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος έχει κατά βάση ανθρώπινη αιτία (Fleming et al. 2013, Ma et al. 2013; Rinklebe and Shaheen, 2015) , διότι υπό φυσιολογικές συνθήκες αυτά απαντώνται σε φυσιολογικές τιμές. Η βιομηχανική παραγωγή και η εξόρυξη μετάλλων από τα ορυχεία είναι οι κυριότεροι παράγοντες με τους οποίους μολύνονται τα εδάφη. Ένα μεγάλο ποσοστό των αέριων ρύπων των βιομηχανιών και των αποβλήτων των διεργασιών εξόρυξης καταλήγουν στο έδαφος εμπλουτίζοντάς το με βαρέα μέταλλα (Li et al., 2015A; Ok et al. 2011, a,b; Shaheen et al., 2014) . Τα βαρέα μέταλλα ζημιώνουν, όπως είναι γνωστό άλλωστε, τόσο το ζωικό όσο και το φυτικό βασίλειο.

Βιομηχανίες οι οποίες δραστηριοποιούνται καιρό στο χώρο της παραγωγής, ελέγχονται αυστηρά από τις κυβερνήσεις μέσω των νόμων με απότερο σκοπό τη μείωση της μόλυνσης που προκαλούν. Αντίθετα, βιομηχανίες με μικρό σχετικά ιστορικό δράσης λέγεται ότι μολύνουν περισσότερο λόγω του ότι οι νόμοι δεν εφαρμόζονται με την ίδια αυστηρότητα. Αυτό γίνεται κυρίως στην Ασία (Wang et al., 2004; Zu et al., 2011), την Αφρική Αφρική (Cherfi et al., 2014 ; Cele and Maboeta, 2016) αλλά και στην Αμερική (Bech et al., 2012). Σε άλλες χώρες, υπάρχει το φαινόμενο όπου παρ'όλο που οι βιομηχανίες έχουν μεγάλο ιστορικό δραστηριότητας, οι κρατικοί νόμοι δεν εφαρμόζονται και η μόλυνση συνεχίζει να αυξάνεται και τα εδάφη συνεχίζουν να εμπλουτίζονται με βαρέα μέταλλα και άλλες τοξικές ενώσεις.

Τέτοια περιοχή αποτελεί και το Θριάσιο Πεδίο. Το πρόβλημα εκεί εντοπίζεται κυρίως στη Βορειοανατολική πλευρά του πεδίου. Εκεί, το πρόβλημα είναι έντονο διότι βρίσκεται η χωματερή των Αθηνών αλλά και δραστηριοποιούνται διαφόρων ειδών βιομηχανίες όπως βιομηχανίες σιδήρου, εργοστάσια αποβλήτων και ανακύκλωσης, εργοστάσια που κατεργάζονται απορρίμματα αλλά και διυλιστήρια πετρελαίου. Τελευταία έχουν συμβεί ατυχήματα όπως πυρκαγιές σε εργοστάσια. Τέτοια περιστατικά εξαπολύουν τεράστιες ποσότητες αέριων ρύπων όπως διοξείδιο του άνθρακα με τις όσες αρνητικές συνέπειες έχει αυτό.

Όπως προείπαμε, το Θριάσιο Πεδίο αποτελεί και κατοικημένη περιοχή. Υπάρχουν δύο μεγάλες πόλεις εκεί ο Ασπρόπυργος και η Ελευσίνα με τεράστιο αρχαιολογικό ενδιαφέρον κλασσικής εποχής. Στη βορειοανατολική πλευρά του πεδίου, εκεί όπου η επικινδυνότητα είναι μεγάλη, υπάρχουν διάφορες κατοικίες ανθρώπων, οικονομικά στερημένων, οι οποίοι καλλιεργούν διάφορα φυτά για τη δική τους κατανάλωση. Ο κίνδυνος λοιπόν για αυτούς τους ανθρώπους είναι τεράστιος λόγω της ρύπανσης των εδαφών.

Σε μία τέτοια περίπτωση, όπως είναι το Θριάσιο Πεδίο τα βαρέα μέταλλα τα οποία θα εξαπολυθούν λόγω της ρύπανσης έχουν δύο οδούς. Είτε θα απορροφηθούν από τα φυτά είτε από

τους ανθρώπους μέσω της σκόνης του εδάφους. Αξίζει να σημειωθεί, πως μία προηγούμενη μελέτη στο Θριάσιο πεδίο εντόπισε υψηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων τα οποία μεταφέρονται με τον αέρα (Saitanis et al., 2013) . Στη μελέτη αυτή όμως δεν μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα φυτά αλλά δεν έγινε και εκτίμηση των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία. Ακόμη καμία προηγούμενη μελέτη δεν έχει ασχοληθεί με τη Βορειοανατολική πλευρά του Θριάσιου Πεδίου. Το σημείο αυτο αποτελεί εστία μόλυνσης όπως εξηγήθηκε προηγουμένως.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, πως το Θριάσιο Πεδίο είναι μια περίπτωση σπάνιας μόλυνσης με μεγάλο ιστορικό δραστηριότητας αλλά και συνεχούς μόλυνσης στη βορειοανατολική μεριά κυρίως, περιοχή που εγκυμονεί κινδύνους για τους ανθρώπους και τα φυτά της περιοχής λόγω των τεραστίων ποσοτήτων εκτόξευσης ρύπων, αλλά και μία περιοχή που δεν έχει μελετηθεί ποτέ πριν για τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα φυτά και δεν έχει γίνει εκτίμηση του κινδύνου. Για τους λόγους αυτούς, λοιπόν, το Θριάσιο Πεδίο αποτελεί μία σημαντική περίπτωση μελέτης η οποία πρέπει να ληφθεί υπ'όψιν διότι μπορεί να οδηγήσει και σε άλλες παρόμοιες μελέτες.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να μετρηθούν οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στα φυτά, να εξετάσουμε το επίπεδο μεταφοράς των βαρέων μετάλλων από το έδαφος σε είδη φυτών της περιοχής και τέλος να γίνει εκτίμηση του κινδύνου που προκαλείται λόγω της εδαφικής σκόνης που έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Περιγραφή της τοποθεσίας

Η περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε η μελέτη μας βρίσκεται 25 km ανατολικά από το κέντρο της Αθήνας. Το κλίμα είναι μεσογειακό, με μέση ετήσια βροχόπτωση 390 mm και μέση θερμοκρασία 18° C (Gasparatos et al., 2015).

2.2 Δειγματοληψία και ανάλυση

Η μελέτη μας ξεκίνησε τον Ιούλιο του 2015, ένα μήνα μετά από ένα τεράστιο ξέσπασμα πυρκαγιάς σε ένα εργοστάσιο το οποίο κατεργάζονταν υλικά ανακύκλωσης. Γύρω από το εργοστάσιο αυτό συλλέξαμε τα 31 εδαφικά δείγματα σε βάθος 0-5 εκατοστά. Επίσης συλλέχθηκαν και τα φυτά από κάθε σημείο. Τα είδη που εντοπίσαμε σε κάθε σημείο ήταν τα παρακάτω:

Heliotropium europaeum,

Oryzopsis miliaceae,

Arundo donax,

Avena barata,

Amaranthis retroflexus,

Aster spp.,

Solanum elaeagnifolium,

Cichorium intybus,

Conyza spp.

Ακόμη, πήραμε και δείγματα φύλλων από δένδρα της περιοχής τα οποία ήταν τα παρακάτω:

Morus alba,

Olea europea,

Platanus Orientalis

αλλά και φύλλα απο δύο διακοσμητικούς θάμνους

Nerium deander,

Pitosporum heterophyllum.

Η ακριβής γεωγραφική θέση και τα χαρακτηριστικά των φυτών που συλλέξαμε φαίνονται στον συμπληρωματικό [Πίνακα] [S1] παρακάτω. Τα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν αερεξήρανθηκαν και κοσκινίστηκαν σε κόσκινο 2mm και σε κόσκινο 500μm. Η ανάλυση για τον χαρακτηρισμό του εδάφους διεξήχθη για τα δείγματα που κοσκινίστηκαν με τον κόσκινο 2mm

όπως προτείνεται κατά τον Rowell (1994):

- Κοκκομετρική σύσταση (με πυκνόμετρο Βουγιούκου)
- Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (εκχύλιση εδάφους με $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1 M pH 7)
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC 1:1 H_2O)
- Οργανική ουσία (με τη μέθοδο υγρής οξείδωσης Walkley και Black)
- Τα οξείδια Al εκχυλίστηκαν με διθειονικό νάτριο (αντιπροσωπεύει όλα τα ελεύθερα οξείδια αργιλίου κατά τους Mehra και Jackson (1960)).
- Οξείδια του Al με οξαλικό αμμώνιο (αυτά αντιπροσωπεύουν τα άμορφα οξείδια κατά τους Loeppert και Inskeep (1996) (βλέπε Πίνακα [S2])).

Τα δείγματα εδάφους που πέρασαν από το κόσκινο των 100 μm αναλύθηκαν με aqua regia για τη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων (πέψη στους 140°C για 5 ώρες με μίγμα πυκνών οξέων HCl/HNO_3 σε αναλογία 3:1, Ure, 1995).

Στα δείγματα των φυτών έγινε ξέπλυμα με νιτρικό οξύ 2% HNO_3 , έπειτα ξεπλύθηκαν με νερό και έγινε ξήρανση στους 70°C . Έπειτα κονιορτοποιήθηκαν σε μύλο άλεσης. Στην συνέχεια 0,5 g του κονιορτοποιημένου αποτεφρώθηκε στους 500°C για 5 ώρες και εκχυλίστηκε με 20 mL διαλύματος HCl 20% (Miller, 1998). Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Al, Cd, Cr, Fe, Mo, Pb, και V τόσο στα φυτά όσο και στα εδάφη που αναλύθηκαν παρουσιάζονται στον [Πίνακα] [S3] (συμπληρωματικό υλικό). Τα ανώτερα επιτρεπόμενα όρια για τα στοιχεία Cd και Pb πάρθηκαν σύμφωνα με την Οδηγία του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 86/278/EEC (CEC, 1986). Τα όρια για το χρώμιο δεν δίνονται στις παρπάνω οδηγίες και για το λόγο αυτό πάρθηκαν από τις Μέγιστες Επιτρεπόμενες Συγκεντρώσεις (MAC) κατά τους Kabata-Pendias (2011, σελ. 24).

2.3 Διαθεσιμότητα και δείκτες κινδύνου των βαρέων μετάλλων για την ανθρώπινη υγεία

Μετρήσαμε τους δείκτες διαθεσιμότητας των παραπάνω στοιχείων και ιχνοστοιχείων σύμφωνα με τους Antoniadis et al. (2016).

Συντελεστής μεταφοράς (TC): Δίνεται από τον τύπο $TC=Cp/Cs$, όπου:

Cp : η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στην υπέργεια βιομάζα του φυτού σε mg/kg.

Cs : οι εκχυλιζόμενες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων με τη μέθοδο aqua-regia (στο φασματοφωτόμετρο) σε mg/kg εδάφους.

Συντελεστής ρύπανσης (CF): Δίνεται από τον τύπο $Cf=Cs/C_{Refs}$, όπου

C_{Refs} : η συγκέντρωση αναφοράς των στοιχείων σε μη μολυσμένες περιοχές σε mg/kg. Οι τιμές πάρθηκαν σύμφωνα με τους Kabata-Pendias (2011).

Δείκτης συσσώρευσης στο έδαφος (I_{geo}): Δίνεται από τον τύπο: $I_{geo}=\log_2(Cs/1.5 C_{Refs})$

Ανάλογα με τη τιμή I_{geo} , τα επίπεδα του δείκτη συσσώρευσης διακρίνονται με λατινικούς χαρακτήρες όπως παρακάτω:

Κλάση I: $I_{geo}<0$

Κλάση II: $I_{geo}=0-1$

Κλάση III: $I_{geo}=1-2$

Κλάση IV: $I_{geo}=2-3$

Κλάση V: $I_{geo}=3-4$

Κλάση VI: $I_{geo}=4-5$

Κλάση VII: $I_{geo}>5$

Επίσης μετρήσαμε ένα ακόμη παράγοντα που έχει να κάνει με τους κινδύνους στην ανθρώπινη υγεία λόγω κατάποσης εδάφους με τη μορφή αιωρούμενης σκόνης. Αυτός ο παράγοντας είναι η Μέση Ημερήσια Δόση (ADD: Average Daily Dose) ανά mg εδάφους kg σωματικού βάρους ανά ημέρα και αφορά σε ουσίες μη καρκινογόνες.

Δίνεται από τον τύπο $ADD=(IR \times ED \times 10^{-6}) / (BW \times AT)$, όπου:

IR: Η κατάποση της σκόνης. Μετράμε για αντικειμενικούς λόγους έναν ενήλικα άνθρωπο (100 mg σκόνη/ημέρα)

EF: Η συχνότητα της έκθεσης του ανθρώπου (25 ημέρες/έτος).

ED: Η διάρκεια της έκθεσης (25 χρόνια).

BW: Το σωματικό βάρος του ανθρώπου.

AT: Ο χρόνος της έκθεσης (2190 ημέρες, 6 χρόνια).

Οι τιμές πάρθηκαν όπως προτείνονται από τους Li et al. (2015a) και Li et al. (2015b).

Έτσι, με βάση την Μέση Ημερήσια Δόση (ADD) μετρήσαμε τον κίνδυνο που προέρχεται από το έδαφος HQs(Hazard Quotient Soil).

Δίνεται από τον τύπο $HQs=Μέση \ Ημερήσια \ Δόση/RfD$, όπου

RfD: Η δόση αναφοράς για ένα μέταλλο(στοιχείο) σε ίδιες μονάδες με τη Μέση Ημερήσια Δόση.

Οι τιμές των μετάλλων πάρθηκαν όπως προτείνεται από τους Saha et al.(2015a) για τον μόλυβδο (Pb) και όπως αναφέρεται από τους Khan et al.(2015) για το κάδμιο (Cd) και το χρώμιο (Cr) ενώ το αργίλιο και το σίδηρο οι τιμές πάρθηκαν από το USD HHS (2010).

Ακόμη, υπολογίσαμε τους δείκτες κινδύνου HI:(Hazard Index), το οποίο ισούται με το σύνολο των κινδύνων που προέρχονται από το έδαφος (HQs) για το κάθε στοιχείο ξεχωριστά.

Άρα, $HIs=\Sigma(HQs)$, δηλαδή υπάρχει μία μόνο τιμή HI η οποία περιέχει όλα τα στοιχεία για κάθε μελετημένη περιοχή.

2.4 Στατιστική επεξεργασία

Εφαρμόσαμε one-way ANOVA για τις μέσες τιμές στα 31 σημεία που μελετήσαμε. Αυτό έγινε για να εξετάσουμε αν υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στα φυτά του ίδιου είδους αλλά και ανάμεσα στα βαρέα μέταλλα σε όλα τα φυτά συνολικά. Μετά εφαρμόσαμε το τεστ πολλαπλής εμβέλειας για να εξετάσουμε τη σημαντικότητα των διαφορών. Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$. Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics 2.1.

3. Αποτελέσματα

3.1 Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα εδάφη

Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των στοιχείων που μετρήσαμε στα εδαφικά μας δείγματα, βρέθηκε υψηλότερη για τα περισσότερα από αυτά. Οι τιμές τόσο των συγκεντρώσεων όσο και των ορίων φαίνονται στον [Πίνακα] [1] παρακάτω. Από, όλα τα στοιχεία που μετρήσαμε το Cd, Cr και Pb έχουν ειδικά όρια συγκεντρώσεων, δηλαδή τα Μέγιστα Επιτρεπόμενα Όρια (τιμές MAC) ενώ τα υπόλοιπα Al, Fe, Mo και V ήταν όλα υψηλότερα από τα όρια που είχαμε θέσει. Έτσι, για το Cr βρέθηκε μέση τιμή 233,2 (200), για το Cd η μέση τιμή ήταν 2,6 (3) και για το Pb η μέση τιμή ήταν 275,9 (300) (σε παρένθεση οι τιμές MAC)(όλες οι τιμές σε mg/kg).

3.2 Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα φυτά

Όπως προαναφέρθηκε, στα 31 σημεία όπου πάρθηκαν τα εδαφικά δείγματα συλλέχθηκαν και τα φυτά. Συνολικά συλλέξαμε 14 διαφορετικά είδη φυτών και 4 από αυτά βρέθηκαν τουλάχιστον σε 3 διαφορετικά σημεία. Αυτά ήταν τα παρακάτω:

Oryzopsis miliaceae (κοινή ονομασία γρήλαρη n=5),

Avena barbata (κοινή ονομασία αγριοβρώμη n=4),

Heliotropium europaeum (κοινή ονομασία ηλιοτρόπιο n=4),

Olea europea (κοινή ονομασία ελιά n=3),

όπου n ο αριθμός των σημείων που βρέθηκαν και συλλέχθηκαν τα φυτά. Για κανένα από τα φυτά που μελετήθηκαν δεν υπάρχουν όρια ασφάλειας για τα βαρέα μέταλλα αλλά μπορεί να μετρηθεί το Pb και το Cd παίρνοντας ως ένδειξη την οδηγία 1881/2006 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (KEG 2006). Σύμφωνα με τη οδηγία λοιπόν αλλά και θεωρώντας πως τα φυτά περιέχουν 90% τότε τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια αντιστοιχούν σε 3mg Pb/kg και 2mg Cd/kg ξηρού βάρους. Στη μελέτη μας βρήκαμε 7,21mg/kg για το Pb [Πίνακας] [2].

3.3 Διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων

Για να μετρήσουμε τη κινητικότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος αλλά και τη μεταφορά αυτών από το έδαφος στο φυτά χρησιμοποιήσαμε τον συντελεστή μεταφοράς TC [Πίνακας] [3]. Αυτό έγινε συγκρίνοντας τα στοιχεία μεταξύ τους για τα 4 φυτά που βρέθηκαν τουλάχιστον 3 φορές και δεν διαπιστώσαμε σημαντικές διαφορές. Επίσης, συγκρίναμε και τα 4 φυτά μεταξύ τους για κάθε σημείο υπήρξαν σημαντικές διαφορές.

Η μόλυνση του εδάφους μετρήθηκε με τον συντελεστή ρύπανσης CF [Πίνακας] [4]. Η μέση τιμή των στοιχείων ήταν υψηλότερη από την κανονική στο έδαφος, επιβεβαιώνοντας μ'αυτόν τον τρόπο την επίδραση του ανθρώπου στη ρύπανση των εδαφών.

Η συσσώρευση των βαρέων μετάλλων επίσης μετρήθηκε στο έδαφος Igeo με το Pb να έχει τη μεγαλύτερη συσσώρευση και να ακολουθούν τα Cd, Cr και Fe.

3.4 Αξιολόγηση του κινδύνου των βαρέων μετάλλων για την υγεία

Το Pb και το Cr είχαν τον υψηλότερο δείκτη HQ, πράγμα που σημαίνει πως τα δύο αυτά στοιχεία ήταν τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία λόγω της υψηλής συσσώρευσης τους στο έδαφος και συνεπώς την υψηλή συμμετοχή τους στο σύνολο των δεικτών κινδύνου. Τα στοιχεία που ακολούθησαν ήταν το Al και το Fe.

Στον [Πίνακα] [6] φαίνεται η Μέση Ημερήσια Δόση για όλα τα στοιχεία.

4. Συζήτηση

Στη μελέτη μας, λοιπόν, στο Θριάσιο Πεδίο της Αττικής μελετήσαμε τις συγκεντρώσεις επτά στοιχείων σε εδαφικά δείγματα. Τα στοιχεία Pb, Cd και Cr ξεπέρασαν τα όρια αναφοράς όπως φαίνεται και στον [Πίνακα] [1] και αυτό οφείλεται στις έντονες ανθρώπινες δραστηριότητες που συμβαίνουν εδώ και δεκαετίες αλλά γίνονται ακόμη πιο έντονες τα τελευταία χρόνια Σύμφωνα με του Kim et al. (2015) υπάρχουν 3 κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα βαρέα μέταλλα ανάλογα με το βαθμό της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Αυτές είναι οι εξής:

- *Ανεπαρκής*
- *Κανονικό*
- *Υπερβολικό ή τοξικό*

Συνεπώς, αν λάβουμε υπόψιν τη δική μας μελέτη τα στοιχεία Pb, Cd και Cr κατατάσσονται στη κατηγορία "υπερβολικό ή τοξικό"

Η μελέτη μας στο Θριάσιο Πεδίο αποτελεί μία περίπτωση μελέτης υψηλού ενδιαφέροντος διότι μέσω αυτής μπορεί να καταλάβει κανείς την καταστροφική και οδυνηρή συμβολή του ανθρώπου στο περιβάλλον. Αρκεί μόνο να συγκρίνουμε την έρευνα μας με άλλες παρόμοιες και εύκολα θα διαπιστώσουμε πως το Θριάσιο Πεδίο αποτελεί μία περίπτωση όπου πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή αλλά και να ελεγχθεί μέσω της πολιτικής με νομοθετικά και οικονομικά μέτρα.

Έτσι, αναφέρουμε μία παρόμοια μελέτη που αφορούσε εδάφη στο κέντρο της Αθήνας (Massas et al. (2016)) με τις μετρήσεις να δείχνουν για το Pb=110 mg/kg (275), Cr=80 mg/kg (233) και Fe=1,7% (3,2%), σε παρένθεση οι δικές μας τιμές. Το ίδιο συμβάν, με τα εδάφη του κέντρου Αττικής συνέβη και σε άλλες παρόμοιες μελέτες για τα στοιχεία Pb, Cd και Cr όπως των Zu et al.(2014) σε περιοχή στη Κίνα, και ξανά το ίδιο σε μελέτη των Saha et al (2015b) στο Μπακλαντζέ. Επίσης, οι Li et al. (2014) εξέτασαν εδάφη σε περιοχές εξόρυξης στη Κίνα και ακόμη κι εκεί τα επίπεδα των Cr, Pb ήταν χαμηλότερα σε σχέση με το δικό μας έργο.

Οι τιμές της δική μας μελέτης είναι παρόμοιες με μελέτες σε περιοχές με μακροχρόνια ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως είναι λογικό άλλωστε καθώς μία τέτοια περιοχή αποτελεί και το Θριάσιο Πεδίο. Τέτοιες μελέτες είναι των Antoniadis et al. (2016) για εδάφη σε ορυχείο στη Γερμανία αλλά και των Wang et al. (2009) για εδάφη κοντά σε χυτήριο στη Κίνα. Εκεί οι τιμές των Pb και Cd ήταν παρόμοιες με τη δική μας μελέτη.

Πέραν, από τα εδαφικά δείγματα συλλέξαμε και τα φυτά της περιοχής. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων σ'αυτά φαίνονται στον [Πίνακα] [2]. Εκεί ενδιαφέρον δείχνουν τα Fe που έφτασε 646 mg/kg ξηρού βάρους και Pb=11 mg/kg ξηρού βάρους. Το παράδοξο που εντοπίζεται όμως στα φυτά είναι ότι οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι χαμηλότερες απ'ότι αναμέναμε σε σχέση με

το έδαφος διότι περιμέναμε τα βαρέα μέταλλα να απορροφηθούν από τα φυτά.

Το γεγονός αυτό εξηγείται ότι τα φυτά που συλλέξαμε ήταν ζιζάνια και ως γνωστόν, τα ζιζάνια έχουν τεράστια ικανότητα προσαρμογής ακόμη και σε εδάφη όπου δεν ευνοείται η ανάπτυξη φυτών. Τα φυτά αυτά, λοιπόν, που συλλέχθηκαν προσαρμόστηκαν στην υψηλή συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων και το αξιοσημείωτο είναι ότι κανένα από αυτά δεν εμφάνισε συμπτώματα τοξικότητας. Αυτή η συμπεριφορά των φυτών δείχνει παρόμοια με αυτή των φυτών αποκλεισμού αλλά όχι με αυτή των φυτών υπερσυσσωρευτών. Τα φυτά υπερσυσσωρευτές μπορούν και απορροφούν τα στοιχεία στη βιομάζα τους (Shaheen and Rinklebe 2015; Bech et al. 2016), ενώ από την άλλη μεριά οι αποκλειστές ανέχονται την υψηλή συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Amer et al. 2013). Οι Sierra et al. (2012) ανέφεραν ότι οι αποκλειστές μπορούν να επιβιώσουν και σε συνθήκες υψηλής μόλυνσης του εδάφους χωρίς να εμφανίσουν συμπτώματα τοξικότητας.

Οι συντελεστές μεταφοράς των βαρέων μετάλλων από το έδαφος προς τα φυτά (TC) [Πίνακας] [3], όπως είναι λογικό, ήταν όλοι χαμηλότεροι διότι τα φυτά έδειξαν ανθεκτικότητα απέναντι στα βαρέα μέταλλα όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Οι τιμές των TC επίσης, βασίζονται και στον τύπο των βαρέων μετάλλων που διατίθενται στο έδαφος. Αργή εναπόθεση αυτών για δεκαετίες (όπως στη δική μας περίπτωση στο Θριάσιο Πεδίο) δίνουν χαμηλότερες τιμές TC ακόμη και σε μολυσμένα εδάφη. Αυτό γιατί οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων που εναποτίθενται υπόκεινται σε διαδικασία γήρανσης στο έδαφος και αυτό σημαίνει πως οι νέες ποσότητες που θα έρθουν να προστεθούν συγκρατώνται με μεγαλύτερες δυνάμεις στα κολλοειδή του εδάφους. Για το λόγο αυτό, οι τιμές TC τείνουν να είναι χαμηλότερες όταν τα βαρέα μέταλλα διατίθενται αργά στο έδαφος για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Testiati et al. 2013).

Επίσης οι δείκτες ρύπανσης (CF) και συσσώρευσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Igeo) φαίνονται στον [Πίνακα] [4]. Αυτοί έδειξαν υψηλή μόλυνση του εδάφους με τις τιμές τους να είναι υψηλότερες, κυρίως για τα στοιχεία Pb και Cr σε σχέση με άλλες μελέτες όπως των Massas et al (2013) επίσης στο Θριάσιο Πεδίο αλλά και τη μελέτη των Li et al (2014) σε μολυσμένα εδάφη σε ορυχείο στη Κίνα.

Ακόμη, εκτιμήσαμε τον κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία λόγω κατάποσης του εδάφους [Πίνακας] [6]. Βρήκαμε ότι ο μέσος όρος του δείκτη HI από τα 31 σημεία μελέτης ήταν 1,619 που είναι και η μεγαλύτερη τιμή που έχει αναφερθεί δείχνοντας μ'αυτόν τον τρόπο τη σοβαρότητα της κατάστασης αλλά και μέγεθος των κινδύνων που εγκυμονεί στο έδαφος. Οι Li et al.(2015b) ανέφεραν το Pb να έχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό HQ σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία.

5. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν ήταν τα εξής:

- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα εδάφη που μελετήσαμε ήταν υψηλότερες από τα επίπεδα αναφοράς. Παρ'όλα αυτά οι συγκεντρώσεις τους στα φυτά ήταν μέτριες, αλλά αυτό οφείλεται στο ότι τα φυτά της περιοχής είχαν αναπτύξει ανθεκτική συμπεριφορά λόγω της υψηλής έκθεσης στα μέταλλα για μεγάλη χρονική περίοδο.
- Ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία έδειξε ότι από όλα τα στοιχεία, μεγαλύτερο ποσοστό λόγω κατάποσης του εδάφους υπό τη μορφή αιωρούμενης σκονής είχαν τα Cr και Pb.
- Συμπεραίνουμε ότι, η μείωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος του Θριάσιο πεδίου είναι μία πράξη αναγκαία. Συνεπώς, ένα μελλοντικό σχέδιο θα μπορούσε να ήταν πέρα από τη μείωση, και η ακινητοποίηση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος ή η εσαγωγή νέων φυτικών ειδών.

Βιβλιογραφία

- Amer, N., Al Chami, Z., Al Bitar, L., Mondelli, D., & Dumontet, S. (2013) Evaluation of *Atriplex halimus*, *Medicago lupulina* and *Portulaca oleracea* for phytoremediation of Ni, Pb, and Zn. *International Journal of Phytoremediation*, 15, 498-512.
- Antoniadis, V., Shaheen, S. M., Boersch, J., Frohne, T., Du Laing, G., and Rinklebe, J. 2016. Bioavailability and risk assessment of potentially toxic elements in garden edible vegetables and soils around a highly contaminated former mining area in Germany. *Journal of Environmental Management*. (in press) DOI 10.1016/j.jenvman.2016.04.036
- Bech, J., Roca, N., Tume, P., Ramos-Miras, J., Gil, C., & Boluda, R. (2016) Screening for new accumulator plants in potential hazards elements polluted soil surrounding Peruvian mine tailings. *Catena*, 136, 66-73.
- Cherfi, A., Abdoun, S., & Gaci, O. (2014) Food survey: Levels and potential health risks of chromium, lead, zinc and copper content in fruits and vegetables consumed in Algeria. *Food and Chemical Toxicology*, 70, 48-53.
- Cherif, J., Mediouni, C., Ammar, W. B., & Jemal, F. (2011) Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Environmental Sciences*, 23, 837-844.
- Council of the European Communities (1986) *The Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, When Sewage Sludge is Used in Agriculture*. Council Directive of 12 June 1986. *Official Journal of the European Communities No L 181/6*
- Fleming, M., Tai, Y., Zhuang, P., & McBride, M. B. (2013) Extractability and bioavailability of Pb and As in historically contaminated orchard soil: Effects of compost amendments. *Environmental Pollution*, 17, 90-97.
- Gasparatos, D., Mavromati, G., Kotsovilis, P., & Massas, I. 2015. Fractionation of heavy metals of the Thriassio plain: a residential, agricultural, and industrial area in Greece.

Environmental Earth Sciences, 74, 1099-1108.

- Kabata-Pendias, A. (2011) *Trace Elements in Soils and Plants*, 4th Ed. Boca Raton: CRC Press.
- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., Qamar, Z., & Waqas, M. (2015) The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants micronutrients, and associated health risk: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 13772-13799.
- Kim, R.Y., Yoon, J.-K., Kim, T.-S., Yang, J.E., Owens, G., & Kim, K.-R. (2015) Bioavailability of heavy metals in soils: Definitions and practical implementations—A critical review. *Environmental Geochemistry and Health*, 37, 1041-1061.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006): *Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln*. Amtsblatt der Europäischen Union. L 364/5. Brüssel.
- Li, H., Shi, W.-Y., Shao, H.-B., & Shao, M.-A. (2009) The remediation of the lead-polluted garden soil by natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 169, 1106-1111.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T. J., Yuan, Z., & Huang, L. (2014) A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 468-469, 843-853.
- Li, P., Lin, C., Cheng, H., Duan, X., & Lei, K. (2015a) Contamination and health risks of soil heavy metals around a lead/zinc smelter in southwestern China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 391-399.
- Li, N., Kang, Y., Pan, W., Zeng, L., Zhang, Q., & Luo, J. (2015b) Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment*, 521-522, 144-151.

- Massas, I., Ehaliotis, C., Kalivas, D., & Panagopoulos, G. (2010) Concentrations and availability indicators of soil heavy metals; the case of children's playgrounds in the city of Athens (Greece). *Water, Air and Soil Pollution*, 212, 51-63.
- Massas, I., Kalivas, D., Ehaliotis, C., & Gasparatos, D. (2013) Total and available heavy metal concentrations in soils of the Thriassio plain (Greece) and assessment of soil pollution indexes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 6751-6766.
- Mehra, O. P., & Jackson, M. L. (1960) Iron oxides removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In *Clays and Clay Minerals* (pp. 317-327). Proceedings of the 7th National Congress of Pergamon, London.
- Ok, Y. S., Kim, S. C., Kim, D. K., Skousen, J. G., Lee, J. S., Cheong, Y. W., Kim, S. J., & Yang, J. E. (2011a) Ameliorants to immobilize Cd in rice paddy soils contaminated by abandoned metal mines in Korea. *Environmental Geochemistry & Health*, 33, 23-30.
- Ok, Y. S., Lee, S. S., Jeon, W. T., Oh, S. E., Usman, A. R. A., & Moon, D. H. (2011b) Application of eggshell waste for the immobilization of cadmium and lead in a contaminated soil. *Environmental Geochemistry & Health*, 33, 31-39.
- Rowell, D. L. (1994) *Soil Science: Methods and Applications*. Harlow, UK: Prentice Hall.
- Rinklebe, J., & Shaheen, S. M. (2014) Assessing the mobilization of cadmium, lead, and nickel using a seven-step sequential extraction technique in contaminated floodplain soil profiles along the central Elbe River, Germany. *Water Air & Soil Pollution*, 225:2039. DOI:10.1007/s11270-014-2039-1
- Saha, S., Hazra, G. C., Saha, B., & Mandal, B. (2015a). Assessment of heavy metals contamination in different crops grown in long-term sewage-irrigated areas of Kolkata, West Bengal, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 187, 4087.
- Saha, N., Rahman, M. S., Jolly, Y. N., Rahman, A., Sattar, M. A., Hai, & M. A. (2015b)

Spatial distribution and contamination assessment of six heavy metals in soils and their transfer into mature tobacco plants in Kushtia District, Bangladesh. Environmental Science and Pollution Research, pp. 1-13. DOI 10.1007/s11356-015-5575-3

- Saitanis, C. J., Frantasyeva, M. V., Steinnes, E., Palmer, M. W., Ostrovnaya, T. M., & Gundorina, S. F. (2013) Spatiotemporal distribution of airborne elements monitored with the moss bags technique in the Greater Thriassion Plain, Attica, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment, 185*, 955-968.
- Shaheen, S. M., & Rinklebe, J. (2015) Phytoextraction of potentially toxic elements from a contaminated floodplain soil using Indian mustard, rapeseed, and sunflower. *Environmental Geochemistry and Health, 37*, 953-967.
- Shaheen, S. M., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., Rupp, H., & Meissner, R. (2014) Temporal dynamics of soluble Cd, Co, Cu, Ni, and Zn and their controlling factor in a contaminated floodplain soil using undisturbed groundwater lysimeter. *Environmental Pollution, 191*, 223-231.
- Sierra, M. J., Rodríguez-Alonso, J., & Millán, R. (2012) Impact of the lavender rhizosphere on the mercury uptake in the field. *Chemosphere, 89*, 1457-1466.
- Testiati, E., Parinet, J., Massiani, C., Laffont-Schwob, I., Rabier, J., Pfeifer, H.-R., Lenoble, V., Masotti, V., & Prudent, P. (2013) Trace metal and metalloid contamination levels in soils and in two native plant species of a former industrial site: Evaluation of the phytostabilization potential. *Journal of Hazardous Materials, 248-249*, 131-141.
- U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. 2010. *Dietary Guidelines for Americans, 2010. 7th Edition, Washington, DC: U.S. Government Printing Office (Available at <http://health.gov/dietaryguidelines/dga2010/DietaryGuidelines2010.pdf>. Accessed on 24th November 2015).*

- Wang, J., Zhang, C.B., & Jin, Z.X. (2009) The distribution and phytoavailability of heavy metal fractions in rhizosphere soils of *Paulownia fortunei* (seem) Hems near a Pb/Zn smelter in Guangdong, PR China. *Geoderma*, 148, 299-306.
- Wang, J.-J., Guo, Y.-Y., Guo, D.-L., Yin, S.-L., Kong, D.-L., Liu, Y.-S., & Zeng, H. (2012) Fine root mercury heterogeneity: Metabolism of lower-order roots as an effective route for mercury removal. *Environmental Science and Technology*, 46, 769-777.
- Zu, Y., Bock, L., Schwartz, C., Colinet, G., & Li, Y. (2014) Mobility and distribution of lead, cadmium, copper and zinc in soil profiles in the peri-urban market garden of Kunming, Yunnan Province, China. *Archives in Agronomy and Soil Science*, 60, 133-149.

Πίνακας 1. Συγκέντρωση ιχνοστοιχείων (mg kg^{-1} , Al και Fe σε %) στις 31 μελετημένες θέσεις.

	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη Τιμή	10 th - εκατ. ^b	50 th - εκατ. ^c	90 th - εκατ. ^d	Κανονικά Όρια ^e	Συγκεντρώσεις Υποβάθρου ^f
Al	39.0	13.2	14.1	49.1	21.4	47.0	49.0	-	-
Cd	2.6	3.4	0.1	16.9	0.6	1.5	5.4	3	0.49
Cr	233.2	219.6	57.9	1244.4	99.0	172.2	392.9	200	23.84
Fe	32.5	13.6	7.8	74.4	16.0	35.2	45.0	-	-
Mo	17.0	14.9	6.5	91.8	9.3	14.3	18.8	-	2.15
Pb	275.9	484.7	15.5	2284.1	28.9	93.7	565.9	300	29.69
V	59.6	12.3	37.3	82.3	44.9	58.2	74.6	-	90.54

a. Τυπική Απόκλιση.

b. 10th εκατοστημόριο.

c. 50th εκατοστημόριο.

d. 90th εκατοστημόριο.

e. Για το χρώμιο Cr: τα μέγιστα όρια συγκέντρωσης πάρθηκαν από (Kabata-Pendias 2011, p. 24). Για το Cd και το Pb: 86/278/EEC Directive (CEC 1986).

f. Ο μέσος όρος όλων των συγκεντρώσεων υποβάθρου (Background levels) ποικίλει Kabata-Pendias (2011).

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις στοιχείων (mg kg⁻¹, Al in g kg⁻¹) στα φυτά στη περιοχή μελέτης.

	n ^a	Τυπική			10 th - εκατ. ^c	50 th -εκατ. ^d	90 th -εκατ. ^e	
		Μέση Τιμή	Απόκλιση. ^b	Ελάχιστη τιμή				Μέγιστη τιμή
Al	31	217.72	242.50	59.98	1180.66	66.17	135.67	426.94
Cd	2	0.63	0.08	0.57	0.69	0.59	0.63	0.68
Cr	15	2.36	1.15	1.02	4.83	1.24	2.00	3.86
Fe	31	153.16	132.25	50.17	646.39	56.15	112.01	263.20
Pb	7	7.21	2.23	4.88	11.10	5.07	6.45	9.85

a. Αριθμός θέσεων που βρέθηκαν τα φυτά.

b. Τυπική απόκλιση.

c. 10th εκατοστημόριο.

d. 50th εκατοστημόριο.

e. 90th εκατοστημόριο.

Πίνακας 3. Συντελεστής μεταφοράς “έδαφος προς φυτό” (TC). Όλες οι τιμές αναφέρονται σε 10^3 για λόγους σαφήνειας.

	Al	Fe	επίπεδο- <i>p</i>
<i>Oryzopsis miliaceae</i>	4.07a	4.57a	0.0***
<i>Avena barbata</i>	8.72a	6.52a	0.0005***
<i>Heliotropium europeum</i>	5.24a	4.21a	0.0002***
<i>Olea europea</i>	4.93a	4.79a	0.176
<i>p</i> -value	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ

Διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια σειρά δείχνουν σημαντικές διαφορές.

ΜΣ. Μη σημαντικό..

*** Σημαντικότητα σε επίπεδο $p < 0.001$.

Πίνακας 4. Συντελεστής μόλυνσης (CF) και συντελεστής συσσώρευσης (Igeo) των στοιχείων της περιοχής μελέτης.

	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη Τιμή	10 th - εκατ.	50 th -εκατ.	90 th -εκατ.
<u>Συντελεστής Μόλυνσης (CF)</u>							
Al	2.69a	0.75	0.94	3.27	1.56	3.13	3.27
Cd	5.40a	6.88	0.14	34.46	1.16	3.15	11.11
Cr	3.65a	3.44	0.91	19.49	1.55	2.70	6.15
Pb	9.29a	16.32	0.52	76.93	0.97	3.16	19.06
Επίπεδο -p	2.7x10 ^{-3**}						
<u>Συντελεστής Συσσώρευσης (Igeo)</u>							
Al	0.77b	0.52	-0.67	1.12	0.06	1.06	1.12
Cd	1.13bc	1.49	-3.44	4.52	-0.37	1.07	2.88
Cr	0.95bc	0.91	-0.73	3.70	0.05	0.85	2.04
Pb	1.38cd	1.81	-1.52	5.68	-0.63	1.06	3.64
επίπεδο-	0.0***						

p

Τα διαφορετικά γράμματα στην πρώτη σειρά υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών.

** Σημαντικότητα σε $p < 0.01$.

*** Σημαντικότητα σε $p < 0.001$.

Πίνακας 5. Δείκτης γεω-συσσώρευσης, I_{geo} , του ιχνοστοιχείου στην περιοχή μελέτης.

	Υψηλότερη κατηγορία (σε παρένθεση: αριθμός δειγμάτων σε κάθε κατηγορία)	Κατηγορίες στα εδάφη (σε παρένθεση: ο αριθμός των εδαφών σε κάθε κατηγορία)	Ποσοστό μη μολυσμένων εδαφών της κατηγορίας I
Al	IV (7)	III (12)	10
Cd	VI (1)	II (10)	17
Cr	V (1)	II (15)	10
Pb	VII (1)	II (8)	23

Κατηγορία I: $I_{geo} < 0$,

Κατηγορία II: $I_{geo} = 0-1$,

Κατηγορία III: $I_{geo} = 1-2$,

Κατηγορία IV: $I_{geo} = 2-3$,

Κατηγορία V: $I_{geo}=3-4$,

Κατηγορία VI: $I_{geo}=4-5$

Κατηγορία VII: $I_{geo}>5$.

Πίνακας 6. Τιμές αναφοράς πρόσληψης σκόνης και μέση ημερήσια δόση (ADDS, σε μg στοιχείο ανά kg σωματικού βάρους ανά ημέρα) και συνιστώσα κινδύνου της άμεσης πρόσληψης σκόνης εδάφους-ανθρώπου (HQS). Σε παρένθεση η δόση αναφοράς (RfD) στις ίδιες μονάδες όπως και η ADDS.

	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση	10-εκατ.	50-εκατ.	90-εκατ.
<i>Μέση Ημερήσια Δόση</i>					
Al	164.29a	46.01	95.42	191.66	199.93
Cd (1)	10.78a	13.74	2.32	6.29	22.19
Cr (3)	950.70a	895.24	403.53	701.89	1601.69
Fe	132.46a	55.35	65.28	143.70	183.44
Pb (3.5)	1124.82a	1976.20	117.76	381.95	2307.13

επίπεδο-p 0.0***

Εκτίμηση Κινδύνου (H0)

Al	0.002a	0.001	0.001	0.002	0.002
Cd	0.035a	0.045	0.007	0.019	0.071
Cr	0.307b	0.299	0.120	0.229	0.529
Fe	0.001a	0.000	0.000	0.001	0.001
Pb	0.311b	0.558	0.025	0.097	0.606

επίπεδο-p 0.0***

*** Σημαντικότητα σε επίπεδο $p < 0.001$.

Συμπληρωματικός Πίνακας S1. Γεωγραφική θέση και χαρακτηριστικά, των κύριων ειδών στις 31 θέσεις .

Απόσταση		Κύρια είδη	Θέση		Υψόμετρο m
a	m		B @ 38 ⁰	A @ 23 ⁰	
0		N.A.	04'17"	38'03"	78
1	375.4	<i>Heliotropium europaeum</i>	04'04"	38'04"	70

2	405.8	<i>Oryzopsis milliacea</i>	04°05''	38°13''	72
3	530.9	<i>Oryzopsis milliacea</i>	04°06''	38°21''	71
4	720	<i>Morus alba L.</i>	04°06''	38°31''	68
5	524.1	<i>Arundo donax</i>	04°06''	37°46''	72
6	742	<i>Heliotropium europaeum</i>	04°10''	37°34''	76
7	294.6	<i>Oryzopsis milliacea</i>	04°07''	37°51''	82
8	71.5	<i>Avena barbata</i>	04°18''	38°01''	80
9	184	<i>Oryzopsis milliacea</i>	04°23''	38°05''	84
10	433.7	<i>Amaranthus retroflexus</i>	04°28''	38°14''	86
11	689.1	<i>Olea europea</i>	04°32''	38°24''	88
12	678.3	<i>Amaranthus retroflexus</i>	04°27''	38°29''	83
13	856.7	<i>Arundo donax</i>	04°22''	38°80''	78
14	876.7	<i>Aster spp.</i>	04°13''	38°39''	78
15	1145.9	<i>Aster spp.</i>	04°34''	38°45''	84
16	1209.5	<i>Platanus orientalis</i>	04°38''	38°45''	84
17	1409.1	<i>Heliotropium europaeum</i>	04°47''	38°48''	89
18	1662.9	<i>Nerium oleander</i>	04°52''	38°56''	96
19	1282.9	<i>Oryzopsis milliacea</i>	03°41''	37°37''	56
20	1308.1	<i>Olea europea</i>	03°44''	37°44''	56
21	1503.5	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	03°47''	37°16''	58
22	1771.2	<i>Olea europea</i>	03°54''	36°56''	62
23	1387.2	<i>Nerium oleander</i>	04°05''	37°09''	71
24	723.3	<i>Aster spp.</i>	03°57''	37°47''	67

25	794.8	<i>Avena barbata</i>	03'52"	38'15"	64
26	733.6	<i>Pitosporum heterophyllum</i>	03'53"	38'10"	64
27	958.5	<i>Cichorium intybus</i>	03'50"	37'43"	63
28	786	<i>Conyza spp.</i>	03'55"	37'47"	66
29	878.4	<i>Amaranthus retroflexus</i>	03'50"	37'49"	61
30	704.7	<i>Avena barbata</i>	03'54"	38'02"	65
31	530.1	<i>Aster spp.</i>	03'59"	38'04"	66

N.A. Non-applicable.(Δεν εφαρμόστηκαν)

a. Απόσταση από την υποπευόμενη πηγή ρύπανσης (καμμένο εργοστάσιο).

Συμπληρωματικός πίνακας S2. Εδαφική ανάλυση των 31 εδαφικών δειγμάτων.

	Πηλός	Ιλύς	Άμμος	CEC	pH	EC	OC ^a	Mn-d. ^b	Mn-o. ^c	Fe-d. ^b	Fe-o. ^c
				cmol _c		μS	%	mg kg ⁻¹			
	%			kg ⁻¹		cm					
						10	0.5				1012.
1	21	15	64	26.79	6.57	60	1	1166.67	364.40	17087	8
						76	1.8				
2	12	10	78	28.04	6.79	8	3	132.58		4587	478.4
						77	1.3				
3	13	13	74	17.07	6.82	3	3	375.00		5818	385.6
						11	1.5				6536.
4	21	22	57	26.19	7.19	94	2	1564.39	250.80	65757	0
						29	3.0				
5	25	23	52	34.96	7.13	9	0	2196.97	581.20	27924	865.6
						20	2.5				2694.
6	26	28	46	29.42	6.78	50	4	1458.33	245.60	24200	4

						11	2.0				1134.
7	28	28	44	22.95	7.07	51	3	2117.42	408.40	34518	8
						52	1.9				2771.
8	25	27	48	37.98	7.23	9	1	1200.76	333.20	21681	6
						65	2.1				
9	32	26	42	32.00	7.19	1	5	1738.64	384.40	28556	670.8
						14	1.9				1551.
10	24	26	50	29.14	7.33	05	1	1821.97	483.20	28530	6
						51	4.0				
11	30	28	42	27.50	6.93	7	2	1689.39	339.60	29541	816.8
12											
						45	0.4				
13	15	15	70	11.06	6.34	2	7	723.48	81.20	9806	116.8
						14	1.2				1523.
14	20	28	52	17.18	6.83	10	9	1227.27	193.60	17375	6
						51	0.7				2226.
15	28	26	46	32.06	7.18	6	0	1943.18	415.20	51893	8
						79,	3.0				
16	24	20	56	19.50	7.11	4	4	2147.73	446.80	28367	868.0
						12	3.0				1090.
17	22	28	50	33.13	6.94	51	0	1363.64		23886	8
						10	1.0				
18	20	24	56	15.62	6.95	50	9	1443.18		15583	446.0

						53	0.8				1136.
19	22	22	56	20.40	7.16	3	6	670.45	150.40	13234	0
						17	2.7				5116.
20	23	22	55	23.60	7.06	40	7	2007.58	500.00	46666	0
						81	1.7				1147.
21	24	32	44	32.10	7.35	5	2	1564.39	293.60	25643	6
						15	1.9				4396.
22	14	16	70	24.07	7.04	34	5	1181.82	146.40	42840	0
						12	2.5				7876.
23	12	18	70	14.94	7.06	02	4	2386.36	321.60	61363	0
						11	4.2				
24	24	20	56	21.68	6.89	00	5				
						12	2.3				2289.
25	16	16	68	20.26	6.91	79	8	1049.24	230.80	16015	6
						98	1.0				
26	20	30	50	22.99	7.10	8	9	1651.52		32996	
						24	0.9				3212.
27	17	17	66	18.00	8.72	00	0	844.70	60.80	16431	8
						21	4.6				2775.
28	22	24	54	30.10	7.37	10	0	2094.70	607.60	30037	6
						23	5.1				1600.
29	31	23	46	26.08	7.00	00	9	2291.67		32840	4
30	13	15	72	17.75	7.08	11	1.7	481.06	102.80	22689	4660.

						36	6				0
						76	4.7				1205.
31	22	21	57	20.64	7.39	9	2	1579.55	311.60	27261	2

a. Οργανικός άνθρακας (υγρή οξείδωση Walkley και Black)

b. Ολικά "ελεύθερα" οξείδια Mn και Fe που έχουν εξαχθεί από το διθειονίτη.

c. Εκχυλισμένα με οξαλικό αμμώνιο άμορφα οξείδια Mn και Fe.

Συμπληρωματικός πίνακας-S3. Τα όρια ανίχνευσης (LOD, $\mu\text{g L}^{-1}$) των αναλυτικών τεχνικών στην ICP-OES και η επακόλουθη LOD για κάθε μία από τις διεξαχθείσες εκχυλίσεις (aqua regia και 1M NH_4NO_3 στο έδαφος, Και εκχύλιση οξέος σε φυτά).

	LOD ^a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Φυτό		Aqua regia	
		S-to-L ^b	LOD ($\mu\text{g kg}^{-1}$) ^c	S-to-L	LOD (mg kg^{-1})
Al	28.0	100	2.800	50	1.400
Cd	2.7	100	0.270	50	0.135

Cr	7.1	100	0.710	50	0.355
Fe	6.2	100	0.620	50	0.310
Mo	12.0	100	1.200	50	0.600
Pb	42.0	100	4.200	50	2.100
V	7.5	100	0.750	50	0.375

a. Όρια ανίχνευσης.

b. Αναλογία εξαγωγής στερεών προς υγρό.

c. Τα όρια ανίχνευσης σε mg kg^{-1} είναι το προϊόν της αναλογίας εκχύλισης στερεών προς υγρό LOD ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Συμπληρωματικός πίνακας-S4. Ιχνοστοιχεία εκχυλισμένα από εδάφη με aqua regia στα 31 δείγματα εδάφους (mg kg^{-1} , με εξαίρεση το Al που αναφέρεται σε mg g^{-1}).

	Al	Cd	Cr	Fe	Mo	Pb	V
1	49.07	0.57	10726	37,45	14.52	37.61	81.19
2	24.53	0.07	133.24	14,17	928	21.06	47.53
3	41.65	0.49	175.91	35,33	13,68	132.31	63.7

4	41.52	0.54	57.90	16.01	8.96	17.2	44.93
5	30.97	1.24	139.15	23.41	9.63	82.1	47.84
6	48.64	1.82	179.10	36.70	12.29	371.88	73.28
7	48.11	1.65	193.90	29.83	11.43	48.4	61.5
8	42.15	0.75	315.72	36.23	13.99	69.38	57.96
9	49.05	0.91	163.08	34.86	15.50	70.77	74.34
10	33.41	2.29	307.31	36.21	18.22	359.06	56.64
11	21.45	2.28	506.30	27.23	31.55	161.34	49.74
12							
13	49.06	5.26	229.34	46.25	16.27	157.97	82.3
14	49.01	7.11	1244.44	50.55	91.76	976.87	59.88
15	49.04	1.32	100.20	27.69	11.77	31.62	58.44
16	48.73	0.89	139.47	24.29	11.89	136.67	55.7
17	47.06	1.76	347.78	35.25	13.09	168.16	64.2
18	16.60	3.42	389.16	40.83	17.49	1408.31	37.25
19	47.68	1.38	127.16	36.36	13.09	104.49	60.64
20	47.82	2.28	124.41	35.66	14.79	29.75	72.15
21	47.74	2.14	183.29	43.85	16.91	420.87	72.86
22	46.84	1.43	87.99	22.94	12.02	104.88	53.42
23	47.85	1.39	126.07	39.37	16.09	67.86	76.85
24	45.09	16.88	168.25	33.12	17.66	71.15	55.21
25	47.85	0.66	199.14	44.99	16.51	15.52	73.48
26	23.62	9.29	426.19	74.44	23.61	2284.15	50.16
27	31.67	2.20	133.18	21.06	9.09	79.15	40.53
28	14.13	1.09	61.77	7.83	6.55	39.28	44.42
29	23.80	4.88	264.87	36.08	15.71	520.23	47.52
30	46.97	1.40	195.62	27.86	12.56	82.88	55.87
31	47.77	1.91	168.41	31.32	14.67	205.94	68.89

Συμπληρωματικός πίνακας-S5. Ιχνοστοιχεία που εξήχθησαν από τα φυτά στα 31 δείγματα εδάφους (mg kg⁻¹, Al σε mg g⁻¹).

	Al	Cd	Cr	Fe	Pb
1	273.51			128.9	
2	314.98			195.1	
3	66.17			55.51	
4	74.26			50.17	
5	215.32			168	
6	426.94			263.2	7.67
7	135.67			112.01	
8	1180.66		2.77	646.39	9.02
9	91.66			74.58	
10	154.24			143.18	
11	168.08		1.19	155.72	5.19
12	69.67			67.47	
13	156.05		2.73	158.55	6.45
14	136.72	0.57	2.02	104	
15	67.3		4.83	54.03	
16	99.29		1.32	99.64	
17	135.59		3.6	122.66	
18	110.23		1.84	107.91	
19	59.98		1.36	59.88	
20	267.76		2	221.88	
21	149.8		1.57	132.08	
22	64.57			56.15	
23	695.06		4.03	430.08	11.1
24	121.77		1.79	118.78	
25	199.62			103.7	
26	185.08		1.02	131.63	
27	112.73			69.84	
28	126.46			92.47	4.88
29	89.2			100.2	
30	65.83			72.42	
31	735.22	0.69	3.35	451.73	6.14

Συμπληρωματικός πίνακας-S6. Συντελεστής μόλυνσης, συντελεστής γεωσυγκόλλωσης και συντελεστής εμπλουτισμού στα 31 δείγματα εδάφους.

	Al	As	Cd	Cr	Pb
<i>Συντελεστής Μόλυνσης</i>					
1	3.27	8.85	1.16	1.68	1.27
2	1.64	4.89	0.14	2.09	0.71
3	2.78	7.44	1	2.76	4.46
4	2.77	4.85	1.11	0.91	0.58
5	2.06	5.21	2.54	2.18	2.77
6	3.24	7.82	3.72	2.81	12.52
7	3.21	7.23	3.37	3.04	1.63
8	2.81	5.8	1.52	4.95	2.34
9	3.27	9.04	1.86	2.55	2.38
10	2.23	4.59	4.67	4.81	12.09
11	1.43	3.24	4.66	7.93	5.43
12					
13	3.27	9.92	10.73	3.59	5.32
14	3.27	11.75	14.52	19.49	32.9
15	3.27	8.11	2.69	1.57	1.06
16	3.25	7.82	1.81	2.18	4.6
17	3.14	7.57	3.59	5.45	5.66
18	1.11	3.41	6.99	6.1	47.43
19	3.18	8.85	2.82	1.99	3.52
20	3.19	10.44	4.66	1.95	1
21	3.18	9	4.36	2.87	14.17
22	3.12	7.16	2.92	1.38	3.53
23	3.19	10.77	2.84	1.97	2.29
24	3.01	6.89	34.46	2.64	2.4
25	3.19	14.09	1.34	3.12	0.52
26	1.57	4.97	18.96	6.68	76.93
27	2.11	5.98	4.49	2.09	2.67
28	0.94	2.17	2.23	0.97	1.32
29	1.59	4.98	9.97	4.15	17.52
30	3.13	7.91	2.86	3.06	2.79
31	3.18	8.1	3.89	2.64	6.94

Συμπληρωματικός πίνακας-S7. Συντελεστές μεταφοράς εδάφους-φυτού σε 10^3 στα 31 δείγματα εδάφους.

	Al	Cr	Fe	Pb
1	12.84		13.76	
2	1.59		1.57	
3	2.82		3.76	
4	1.87		2.14	
5	1.26		1.65	
6	28.01		17.84	130.01
7	1.4		2.6	
8	2.79	1.62	2.06	
9	2.7		3.59	
10	1.82		2.68	
11	2.81	11.25	2.83	
12				
13	3.75		2.78	
14	5.03	3.86	4.3	
15				
16	1.35		1.25	
17	7.19		5.26	
18	1.46		1.89	
19	4.26		4.52	
20	3.15		5.17	
21	15.39	19.91	14.42	
22	12.03		2.54	
23	14.52	31.96	10.93	163.52
24	6.95		7.18	
25	2.08		2.27	
26	3.18	11.9	3.43	
27	1.79		3.13	
28	2.04		4.1	
29	3.56		3.32	
30	8.95		11.81	
31	7.83	2.39	1.77	

Πίνακας S4 (cont'd)

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>Συγκεντρώσεις Υποβάθρου</i>									
	15000	7.86	0.49	23.84	24.56	540	22.92	29.69	64.34
<i>Συντελεστής</i>									
<i>Γεωσυσσώρευσης</i>									
1	1.12	2.56	-0.37	0.16	0.97	0.37	1.72	-0.24	1.11
2	0.12	1.7	-3.44	0.48	0.76	-1.03	1.64	-1.08	0.63
3	0.89	2.31	-0.58	0.88	2.42	-0.28	1.87	1.57	2.15
4	0.88	1.69	-0.43	-0.73	-0.14	-0.9	0.64	-1.37	0.41
5	0.46	1.8	0.76	0.54	2	-0.38	1.5	0.88	2.53
6	1.11	2.38	1.31	0.9	4.89	0.13	1.81	3.06	3.06
7	1.1	2.27	1.17	1.02	1.35	-0.44	1.91	0.12	1.86
8	0.91	1.95	0.02	1.72	2.75	-0.08	2.97	0.64	2.22
9	1.12	2.59	0.31	0.77	2.56	0.23	1.77	0.67	1.71
10	0.57	1.61	1.64	1.68	3.8	-0.13	2.45	3.01	3.76
11	-0.07	1.11	1.63	2.4	3.24	-0.27	2.24	1.86	5.04
12									
13	1.12	2.73	2.84	1.26	2.64	0.4	2.24	1.83	3.42
14	1.12	2.97	3.27	3.7	6.4	0.74	4.26	4.46	4.77
15	1.12	2.43	0.84	0.07	1.28	0.02	1.44	-0.49	1.32
16	1.12	2.38	0.27	0.54	2.8	-0.27	2.02	1.62	1.53
17	1.06	2.34	1.26	1.86	3.82	-0.09	1.95	1.92	2.39
18	-0.44	1.18	2.22	2.02	8.18	-0.43	2.04	4.98	3.69
19	1.08	2.56	0.91	0.41	2.57	0.17	1.84	1.23	2.56
20	1.09	2.8	1.63	0.38	1.69	0.04	1.94	-0.58	1.76
21	1.09	2.58	1.54	0.94	3	0.22	1.95	3.24	2.64
22	1.06	2.26	0.96	-0.12	1.79	-0.58	1.16	1.24	2.43
23	1.09	2.84	0.92	0.4	2.7	0.35	2.06	0.61	1.92
24	1	2.2	4.52	0.81	1.68	-0.29	1.93	0.68	1.66
25	1.09	3.23	-0.16	1.06	0.55	-0.01	1.92	-1.52	0.68
26	0.07	1.73	3.66	2.15	5.09	0.16	2.63	5.68	4.75
27	0.49	2	1.58	0.48	2.09	-0.69	1.47	0.83	1.55
28	-0.67	0.53	0.57	-0.63	1.55	-2.24	0.1	-0.18	1.93
29	0.08	1.73	2.73	1.47	4.54	-0.33	1.78	3.55	3.43
30	1.06	2.4	0.93	1.03	1.94	-0.34	1.7	0.9	1.93
31	1.09	2.43	1.38	0.81	3.34	-0.06	1.55	2.21	2.71

Συμπληρωματικός πίνακας-S8. Οι τιμές αναφοράς της κατάποσης σκόνης και η μέση ημερήσια δόση (ADDS, σε μg στοιχείο ανά kg σωματικού βάρους ανά ημέρα, με τιμές Al και Fe σε 10^3) και το πηλίκιο κινδύνου της οδού άμεσης πρόσληψης σκόνης εδάφους-ανθρώπου (HQS).

Co	Cr	Fe	Pb
<i>Μέση Ημερήσια Δόση</i>			
80.45	437	153	153
51.73	543	58	86
94.64	717	144	539
42.58	236	65	70
63.78	567	95	335
79.12	730	150	1516
73.55	791	122	197
97.66	1287	148	283
81.42	665	142	289
92.15	1253	148	1464
130.18	2064	111	658
113.99	935	189	644
187.4	5074	206	3983
67.08	409	113	129
82.5	569	99	557
91.87	1418	144	686
59.99	1587	166	5742
87.92	518	148	426
89.81	507	145	121
104.29	747	179	1716
71.71	359	94	428
103	514	160	277
78.98	686	135	290
99.44	812	183	63
119.16	1738	303	9312
66.69	543	86	323
38.77	252	32	160
69.79	1080	147	2121
75.57	798	114	338
71.74	687	128	840

Συμπληρωματικός πίνακας S4.

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>Ημερήσια Ανεκτή Δόση Αναφοράς</i>	100	0.3	0.3	70	3	150	185	30	20	335	300
<i>Συνιστώσα Κινδύνου (HO)</i>											
1	2	0.95	0.01	0	0.15	0	0.83	0	0.21	0.13	0.02
2	1	0.52	0	0	0.18	0	0.31	0	0.08	0.12	0.03
3	1.7	0.8	0.01	0	0.24	0.01	0.78	0	0.14	0.15	0.01
4	1.69	0.52	0.01	0	0.08	0	0.35	0	0.09	0.06	0.01
5	1.26	0.56	0.02	0	0.19	0	0.52	0	0.13	0.11	0.01
6	1.98	0.84	0.02	0	0.24	0.03	0.81	0	0.18	0.14	0.02
7	1.96	0.77	0.02	0	0.26	0	0.66	0	0.12	0.15	0.01
8	1.72	0.62	0.01	0	0.43	0.01	0.8	0	0.16	0.31	0.01
9	2	0.97	0.01	0	0.22	0.01	0.77	0	0.19	0.14	0.02
10	1.36	0.49	0.03	0	0.42	0.01	0.8	0	0.15	0.22	0.02
11	0.87	0.35	0.03	0	0.69	0.01	0.6	0	0.14	0.19	0.03
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2	1.06	0.07	0	0.31	0.01	1.02	0	0.22	0.19	0.02
14	2	1.26	0.1	0	1.69	0.08	1.11	0	0.28	0.77	0.06
15	2	0.87	0.02	0	0.14	0	0.61	0	0.17	0.11	0.01
16	1.99	0.84	0.01	0	0.19	0.01	0.54	0	0.14	0.16	0.01
17	1.92	0.81	0.02	0	0.47	0.01	0.78	0	0.15	0.15	0.01
18	0.68	0.36	0.05	0	0.53	0.29	0.9	0	0.12	0.17	0.02
19	1.94	0.95	0.02	0	0.17	0.01	0.8	0	0.19	0.14	0.04
20	1.95	1.12	0.03	0	0.17	0	0.79	0	0.17	0.15	0.02
21	1.95	0.96	0.03	0	0.25	0.01	0.97	0	0.19	0.15	0.02
22	1.91	0.77	0.02	0	0.12	0	0.51	0	0.11	0.09	0.02
23	1.95	1.15	0.02	0	0.17	0.01	0.87	0	0.21	0.17	0.03
24	1.84	0.74	0.23	0	0.23	0	0.73	0	0.14	0.15	0.02
25	1.95	1.51	0.01	0	0.27	0	0.99	0	0.16	0.15	0.02
26	0.96	0.53	0.13	0	0.58	0.03	1.64	0	0.18	0.25	0.02
27	1.29	0.64	0.03	0	0.18	0	0.46	0	0.1	0.11	0.01
28	0.58	0.23	0.01	0	0.08	0	0.17	0	0.03	0.04	0.02
29	0.97	0.53	0.07	0	0.36	0.02	0.8	0	0.13	0.14	0.02
30	1.91	0.85	0.02	0	0.27	0	0.61	0	0.13	0.13	0.02
31	1.95	0.87	0.03	0	0.23	0.01	0.69	0	0.16	0.12	0.02

Συμπληρωματικός πίνακας S6.

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>Ποσοστό συμμετοχής στη συνιστώσα κινδύνου</i>											
<i>(HO)</i>											
1	48.32	22.84	0.19	0.03	3.52	0.05	19.94	3.43	0.56	1.06	0.07
2	47.13	24.63	0.04	0.03	8.53	0.08	14.72	2.54	1.03	1.16	0.1
3	44.67	20.94	0.18	0.04	6.29	0.14	20.48	2.38	0.68	4.05	0.15
4	61.69	18.91	0.27	0.02	2.87	0.03	12.86	2.15	0.4	0.73	0.06
5	45.85	20.22	0.61	0.03	6.87	0.15	18.73	3.07	0.72	3.47	0.28
6	43.91	18.52	0.55	0.03	5.39	0.66	17.9	2.67	0.55	9.59	0.24
7	50.94	20.08	0.58	0.03	6.84	0.07	17.07	2.11	0.68	1.46	0.12
8	44.86	16.19	0.26	0.04	11.2	0.18	20.84	2.72	1.44	2.11	0.16
9	47.44	22.93	0.29	0.03	5.26	0.14	18.22	3.07	0.57	1.96	0.1
10	36.91	13.3	0.84	0.04	11.32	0.38	21.63	2.73	1.04	11.33	0.48
11	30.08	11.93	1.07	0.06	23.67	0.32	20.64	3.15	1.14	6.46	1.49
12											
13	41.25	21.89	1.47	0.03	6.43	0.13	21.02	3.01	0.68	3.8	0.29
14	25.83	16.24	1.25	0.03	21.87	1.1	14.4	2.37	1.73	14.71	0.46
15	52.55	22.79	0.47	0.03	3.58	0.06	16.04	2.93	0.5	0.97	0.09
16	51.59	21.72	0.31	0.03	4.92	0.18	13.9	2.38	0.74	4.13	0.1
17	44.11	18.61	0.55	0.03	10.87	0.32	17.86	2.38	0.62	4.5	0.16
18	14.79	7.96	1.02	0.02	11.56	6.35	19.67	1.79	0.63	35.85	0.37
19	46.63	22.69	0.45	0.03	4.15	0.14	19.22	2.97	0.6	2.92	0.19
20	46.03	26.35	0.73	0.03	3.99	0.08	18.55	2.68	0.64	0.82	0.1
21	40.42	19.97	0.6	0.03	5.17	0.17	20.06	2.67	0.56	10.18	0.17
22	53.9	21.61	0.55	0.03	3.37	0.1	14.27	2.08	0.44	3.45	0.2
23	44.12	26.04	0.43	0.03	3.87	0.15	19.62	3.18	0.66	1.79	0.11
24	46.28	18.56	5.78	0.03	5.76	0.08	18.38	2.28	0.67	2.09	0.1
25	39.91	30.83	0.18	0.03	5.54	0.03	20.29	2.23	0.54	0.37	0.04
26	14.29	7.88	1.87	0.03	8.6	0.51	24.34	1.83	0.65	39.49	0.52
27	46.19	22.9	1.07	0.03	6.48	0.15	16.6	2.45	0.69	3.3	0.14
28	49.46	19.95	1.27	0.05	7.21	0.25	14.81	2	0.65	3.93	0.43
29	27.88	15.31	1.91	0.03	10.34	0.67	22.84	2.52	0.69	17.41	0.41
30	49.41	21.82	0.49	0.03	6.86	0.1	15.84	2.24	0.59	2.49	0.13
31	46.99	20.89	0.63	0.02	5.52	0.24	16.65	2.55	0.5	5.79	0.21