

ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ: ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΤΑ

Αναγνωστόπουλος Β. Δημήτρης, Αγρότης- Γεωπόνος Παν. Θεσσαλίας,
dvanagnosto@yahoo.gr

1. Εισαγωγή- Μόλυνση Εδαφών από Βαρέα Μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα ορίζονται ως μια μεγάλη ομάδα μεταλλικών και μεταλλοειδών κατιόντων που έχουν βιολογικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον (**Singh et al., 2011**). Χαρακτηριστικό τους, σύμφωνα με τον **Wild (1995)** αποτελεί ότι έχουν ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 5 ή 6 gr cm^{-3} ενώ πιο σύγχρονες αναφορές κάνουν λόγο ότι αυτό δεν είναι απόλυτο πια καθώς έχουν βρεθεί περιπτώσεις με πυκνότητες που κυμαίνονται από 3,5 ως 7 gr cm^{-3} αν και ελάχιστες (**Appenroth, 2010 and Duffus, 2002**). Ωστόσο, έχουν αναφερθεί επιβλαβείς επιπτώσεις σε πληθώρα αναφορών όπως σε μικροοργανισμούς του εδάφους (**Baath, 1989**), στα φυτά (**Yadav, 2010, Sharma and Agrawal, 2005**), στα ζώα (**Rakwar et al., 2008**), ακόμα και στον άνθρωπο (**Martin and Griswold, 2009**). Έτσι πλέον προσθέτετε για τις ιδιότητες αυτές των στοιχείων ο όρος εν δυνάμει τοξικά στοιχεία.

Ο **Alloway (1995)** αναφέρει ότι κρίσιμα βαρέα μέταλλα για το περιβάλλον και τον άνθρωπο είναι το αρσενικό (As), το κάδμιο(Cd), ο υδράργυρος (Hg), το μολυβδαίνιο (Mo), το θάλλιο(Tl) και το ουράνιο(U). Ωστόσο στην ομάδα των μετάλλων ανήκουν και στοιχεία (καλούνται μικροστοιχεία) που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών όπως είναι ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu) και το μαγγάνιο (Mn) ενώ για τα ζώα το μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn) και το κοβάλτιο (Co). Άλλωστε

Σύμφωνα με τον **Μήτσιο (2004)** τα βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή στο έδαφος προέρχονται από διάφορες πηγές, οι κυριότερες των οποίων είναι:

- Η γεωχημεία του φλοιού της γης,
- η αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων.
- η χρήση λιπασμάτων, παρασιτοκτόνων, μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων,
- η ιλύς βιολογικού καθαρισμού,
- οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις,

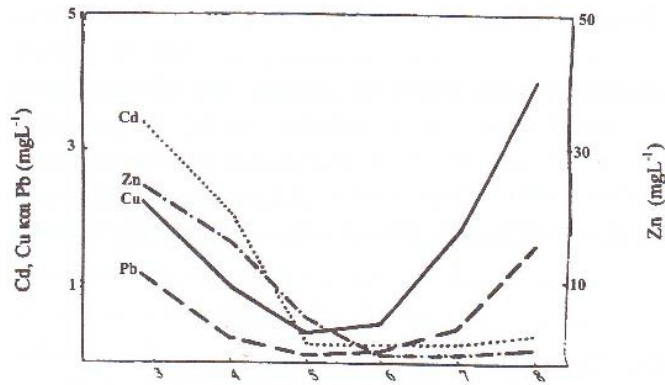
- η τέλεια και ατελής καύση των ορυκτών και συνθετικών καυσίμων,
- η λειτουργία βιομηχανιών χημικών, επιμετάλλωσης και χρωμάτων,
- η μη ελεγχόμενη απόθεση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων (πχ η καύση ελαστικών αφήνει υπολείμματα Cu και Zn),
- η χρήση πυρομαχικών,
- η ενεργοποίηση ηφαιστειακών δραστηριοτήτων και τα πυρηνικά ατυχήματα,
- ακόμη, ο **Καλουβρουζιώτης (2010)** προσθέτει ότι οι χαλυβουργίες και βιομηχανίες μετάλλων που έχουν σαν κύριο προϊόν επεξεργασίας το κάρβουνο και αποτεφρωτήρια είναι οι κύριες πηγές μόλυνσης του ατμοσφαιρικού αέρα με Pb, Cd, Zn και Cu,
- τέλος, προσεκτική διαχείριση απαιτείται στην κοπριά των πουλερικών και των χοίρων καθώς περιέχει υψηλά επίπεδα Cu και Zn.

2. Εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητα των μετάλλων

Η ικανότητα ή όχι ιονισμού ενός μετάλλου, ο αριθμός οξειδωσης, ο σχηματισμός ή όχι συμπλοκών με οργανικές ενώσεις και η κινητικότητα τους εξαρτάται από τη φύση του ιόντος αλλά και από τις παρακάτω ιδιότητες του εδάφους (Μήτσιος, 2004):

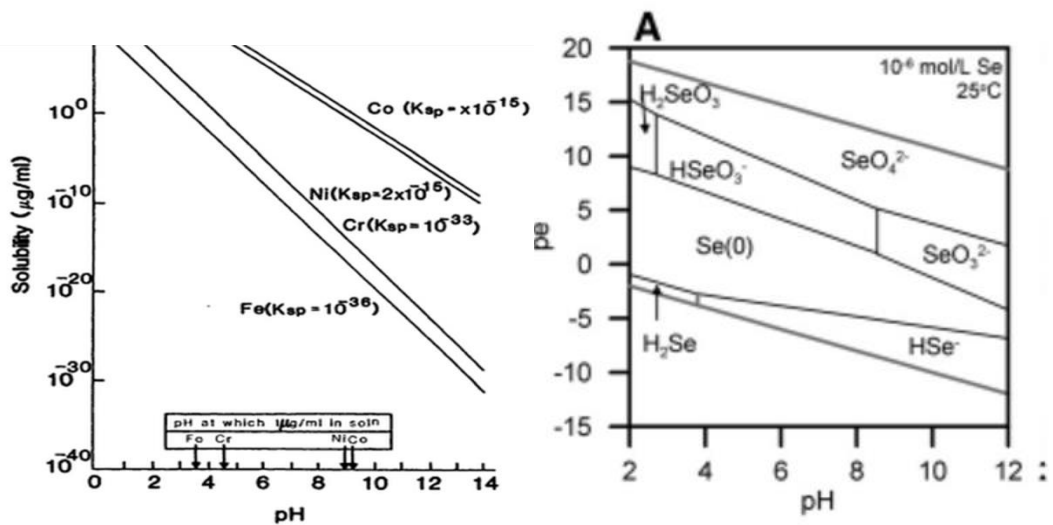
- Από το pH του εδάφους,
- από το δυναμικό οξειδοαναγωγής,
- από το ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας στο έδαφος,
- από την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων στο έδαφος (ΙΑΚ),
- από την παρουσία ανθρακικών αλάτων στο έδαφος,
- από την περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου,
- από τα ορυκτά της αργίλου.

Γενικά, τα βαρέα μέταλλα ως κατιόντα είναι πιο κινητικά σε όξινες συνθήκες και αυξάνοντας το pH περιορίζετε η βιοδιαθεσιμότητα των στοιχείων αυτών. Από την άλλη τα ανιόντα μολυβδαίνιου γίνονται περισσότερο διαθέσιμα με την αύξηση του pH (Alloway, 1995). Ενώ αντίστοιχα βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και ο μόλυβδος παρουσιάζουν χαμηλότερη συγκέντρωση στο έδαφος σε pH 5-6 (Μήτσιος, 2004).



Εικόνα 1: Σχέση βαρέων μετάλλων σε σχέση με το pH του εδάφους (Μήτσιος, 2004).

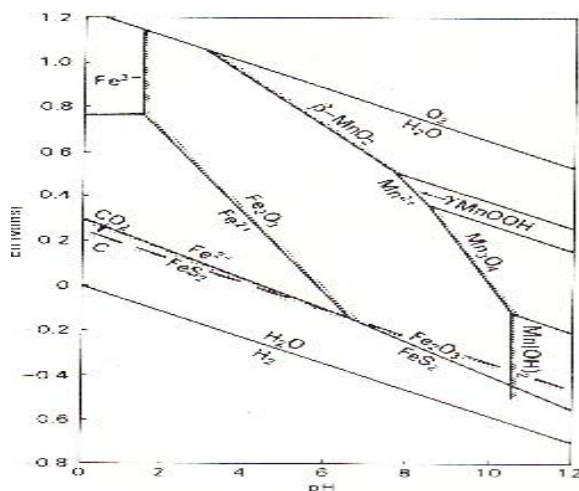
Χαρακτηριστικά σε έρευνα του McGrath (1995) παρουσιάζεται η μείωση της διαλυτότητας των βαρέων μετάλλων, χρωμίου, κοβάλτιου και του μικροθρεπτικού σιδήρου με την αύξηση του pH (Εικόνα 2). Τέλος, ανάλογα με την παρουσία του pH επηρεάζονται και οι μορφές παρουσίας των στοιχείων όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται σε έρευνα των Seby et al. (2001) και Vesper et al. (2007) για το σελήνιο (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Μεταβολή της διαλυτότητας και της παρουσίας μετάλλων σε σχέση με το pH.

Αρκετά βαρέα μέταλλα μπορεί να επηρεαστούν έμμεσα από συνθήκες αναγωγής. Τα θειικά ιόντα μειώνονται σε θειούχα σε pE κάτω του -2.0 και αυτό το φαινόμενο με την υγροποίηση και έπειτα διάλυση θειούχων μετάλλων όπως FeS_2 , HgS , CdS , CuS , MnS και ZnS (Sposito and Page, 1985). Οι Rose et al. (1979) σε έρευνα τους παρουσιάζουν πως μπορεί να επηρεαστεί η παρουσία και η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων όπως μαγγανίου αλλά και του μετάλλου σιδήρου στην εικόνα 3 σε

συνάρτηση του pH και του δυναμικού οξειδοαναγωγής. Όμοια έρευνα έκαναν και Seby et al. (2001) και Vesper et al. (2007) για το σελήνιο (Εικόνα 2).



Εικόνα 3: Μεταβολή της παρουσίας μετάλλων σε σχέση με το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Rose et al., 1979).

Γενικά, τα κατιόντα των βαρέων μετάλλων δημιουργούν ισχυρά σύμπλοκα με οργανικές ομάδες όπως καρβοξυλικές, φαινολικές, ενολικη- υδροξυλική (Μήτσιος, 2004, Kahapanagiotis et al., 1991, Weng et al., 2002). Οι **Weng et al. (2002)** σε ερευνά του δηλώνουν ότι τα πιο σημαντικά σύμπλοκα τα παρουσιάζουν ο χαλκός και ο μόλυβδος σε σχέση με το κάδμιο, το νικέλιο και το ψευδάργυρο. Αντίστοιχα, οι **Kahapanagiotis et al. (1991)** αναφέρουν για ισχυρά σύμπλοκα με χαλκό και κάδμιο να παρατηρούνται.

Τα περισσότερα βαρέα μέταλλα με εξαίρεση το μολυβδαίνιο εκφράζονται ως κατιόντα στο εδαφικό διάλυμα. Έτσι όσο περισσότερο αρνητική είναι η επιφάνεια του εδάφους τόσο μεγαλύτερη και η προσρόφηση των μεταλλικών ιόντων. Γι' αυτό είναι και σημαντικός ο ρόλος επηρεασμού της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους. Σύμφωνα με τους **Rybicka and Kyziol (1991)** και **Usman et al. (2005)** τα ορυκτά της αργίλου μπορεί να είναι φορέας μετάλλων καθώς δημιουργούνται σύμπλοκα μέσω ρόφησης. Ακόμα οι **Rybicka and Kyziol (1991)** δηλώνουν ότι τα βαρέα μέταλλα απορροφούνται από ένυδρα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου αλλά και από ανθρακικά άλατα.

3. Μετακίνηση των μετάλλων από το έδαφος στις ρίζες

Η μετακίνηση των μετάλλων από το έδαφος στις ρίζες των φυτών μπορεί να γίνει παθητικά ή ενεργητικά, ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας ή μη. Η παθητική μετακίνηση δεν απαιτεί ενέργεια και γίνεται με διάχυση των μεταλλικών ιόντων στην ενδοδερμίδα της ρίζας. Από την άλλη, ενεργητική πρόσληψη (διαπνοή) απαιτεί κατανάλωση ενέργειας όπου υπάρχει περίπτωση από την παρουσία τοξινών των βαρέων μετάλλων να υπάρχει αναστολή της διαδικασίας (Alloway, 1995). Οι **Kabata-Penias and Pendia (1992)** αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι ο μόλυβδος κυρίως απορροφάτε με παθητικό τρόπο ενώ ο χαλκός, το μολυβδαίνιο και ο ψευδάργυρος απορροφούνται είτε με ενεργητικό είτε και με τους δύο τρόπους.

Η προσρόφηση των διαφόρων μεταλλικών ιόντων εξαρτάται και από την παρουσία και των άλλων ιόντων στο εδαφικό διάλυμα. Χαρακτηριστικά σύμφωνα με το **Barber (1984)** η παρουσία χαλκού δρα ανασταλτικά στην απορρόφηση ψευδαργύρου ενώ ο **Graham (1981)** αναφέρει ότι η απορρόφηση χαλκού από ψευδάργυρο, αμμώνιο, ασβέστιο και κάλιο. Στην ριζόσφαιρα αναπτύσσεται έντονη μικροβιακή δραστηριότητα και παρουσιάζεται παρουσία οργανική ουσίας που όπως προαναφέραμε δημιουργεί σύμπλοκα με τα βαρέα μέταλλα όπως και οξείδια σιδήρου και μαγγανίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις η απορρόφηση των μετάλλων είναι περιορισμένη (Alloway, 1995). Όσον αφορά το pH και το ρόλος του τον αναλύσαμε πριν αλλά ο **Καλουβρουζιώτης (2010)** αναφέρει ότι τα φυτά έχουν την ικανότητα να αλλάξουν το pH του εδάφους στον ριζοκύλινδρο και έτσι να επηρεάζεται και η μετακίνηση μετάλλων προς την ρίζα.

Συμπερασματικά, η μετακίνηση των μετάλλων στο φυτό επηρεάζεται σίγουρα και από τις χημικές ιδιότητες του εδάφους που αναφέραμε αλλά επιπλέον από την περιεκτικότητα των τοξικών στοιχείων στο έδαφος, από την μορφή και το είδος του μετάλλου, από τις συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας, από το στάδιο ανάπτυξης και το είδος του φυτού, από την μεταφορά του μετάλλου στην ρίζα και από την ρίζα στον βλαστό και στα φύλλα (**Μήτσιος, 2004**).

4. Ανοχή των φυτών σε σχέση με τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη

Έχουν αναφερθεί και εξεταστεί σε πολλά καλλιεργούμενα φυτά η ανοχή τους σε άλατα. Σίγουρα υπάρχουν φυτά τα οποία είναι περισσότερο και λιγότερο ευαίσθητα σε

συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Ακόμα, γίνονται και προσπάθειες να αναπτυχθούν ποικιλίες ανθεκτικές.

Ο ηλίανθος σε πειράματα εφαρμογών προσαρμόζεται και φιλτράρει σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις από βαρέα μέταλλα (**Adesodun et al., 2010, Mani et al., 2012, Mukhtar et al., 2010**). Συγκεκριμένα, οι **Adesodun et al., (2010)** βρήκαν ότι ο ηλίανθος φιλτράρει ικανοποιητικές συγκεντρώσεις Zn και έπειτα Pb. Οι **Mani et al. (2012)** αναφέρουν για ανθεκτική εφαρμογή του φυτού σε εδάφη ρυπασμένα με Cr. Ακόμα οι **Mukhtar et al. (2010)** βρήκαν ότι ο ηλίανθος είναι ανθεκτικός σε εδάφη ρυπασμένα με Ni. Οι **Wuana and Okieimen (2010)** αναφέρουν ότι το καλαμπόκι έχει την δυνατότητα να προσαρμοστεί σε ρυπασμένα εδάφη. **Οι Arbaoui et al. (2013)** αναφέρουν ότι το κενάφ ανέχεται εδάφη σε ψευδάργυρο και κάδμιο. Ωστόσο σύμφωνα με τους **Bada and Raji (2010)** η παρουσία καδμίου σε ένα έδαφος επηρεάζει την ανάπτυξη του φυτού (π.χ. το ύψος) ενώ σε εδάφη με παρουσία αρσενικού καλό είναι να αποφεύγονται καθώς το μέταλλο αυτό παρουσιάζει μέτρια τοξικότητα στο φυτό αλλά και το κενάφ δεν είναι σε θέση να το φιλτράρει σε ικανοποιητικό βαθμό (**Manzano et al., 2012**). Όμοια ωφέλιμη δράση φιλτραρίσματος του Zn σε ρυπασμένα εδάφη παρουσιάζει ο βίκος σύμφωνα με τους **Masu et al. (2007)**.

Από την άλλη ένα φυτό που είναι ευαίσθητο σε εδάφη με βαρέα μέταλλα είναι το μπιζέλι. Συγκεκριμένα, τα όρια ανοχής αρσενικού στο έδαφος είναι 24 μmol , για τον μόλυβδο 1,4 mmol και για τον ψευδάργυρο 3,2 mmol (**Paivoke, 2003**). Επίσης, οι περισσότερες βιβλιογραφικές πηγές κάνουν λόγο για όριο ανοχής καδμίου μόλις στα 0,50 Mm (**Siddique et al., 2009 and Rodriquez- Serano et al. 2006**). Επίσης, η καλλιέργεια της βρώμης παρουσιάζει μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης και σε εδάφη ρυπασμένα με νικέλιο μόλις 0,154 mg καδμίου ($\text{CdSO}_4/\xi\eta\rho\acute{o}$ gr έδαφος) είναι ικανά να επιφέρουν σημαντικές μειώσεις στο ρυθμό ανάπτυξης του φυτού (**Astolfi et al. , 2011 & Dan et al., 2008**).

Ακόμα μεταξύ των οικοτύπων διαφέρει η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων σε φυτά. Σε οικοτύπους κοντά σε αυτοκινητόδρομους βρέθηκαν φυτά ανεκτικά στο Pb ενώ το ίδιο αναφέρεται για φυτά κάτω από γαλβανισμένους φράκτες (**Καλουβρουζιώτης, 2010**).

Στο πλαίσιο σχέσης βαρέων μετάλλων και φυτών σημαντικό ρόλο παίζουν και εδαφικοί παράγοντες που αναφέραμε παραπάνω όπως η οξύτητα, η ικανότητα

ανταλλαγής κατιόντων, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, το ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας στο έδαφος, η παρουσία ανθρακικών αλάτων στο έδαφος, η περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου και από τα ορυκτά της αργίλου.

Τέλος, οι μεταλλοτοξικότητες στα φυτά είναι αποτέλεσμα σύνθετων αντιδράσεων που συμβαίνουν στο έδαφος και στο φυτό. Συγκεκριμένα, υπάρχουν σχέσεις μεταξύ ιόντων ή ακόμα και διαφορετική σχέση μετάλλων με φυτικούς γενοτύπους. Η ερμηνεία των σχέσεων αυτών είναι πιθανοί βιοχημικοί μηχανισμοί των φυτών και έτσι εκφράζονται ανθεκτικότητες και ευαισθησίες σε βαρέα μέταλλα. Ανακαλύπτοντας αυτούς τους βιοχημικούς δρόμους θα είναι ένα τρόπος προσαρμογής με την παραγωγή βελτιωμένων χημικών, ποικιλιών και πρακτικών διαχείρισης (Καλουβρουζιώτης, 2010).

5. Δείκτες και Διεργασίες Περιβαλλοντικής Μόλυνσης στα εδάφη

Τα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα για την ύπαρξη της ζωής σε καθορισμένες όπως συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος και στα ύδατα. Ωστόσο λόγω ανθρώπινων και φυσικών δραστηριοτήτων οι ποσότητες στο περιβάλλον συνεχώς αυξάνονται και έχουν την δυνατότητα να μετακινούνται τόσο σε χερσαία όσο και σε υδάτινα οικοσυστήματα. Η συνεχόμενη ανοδική πορεία τα καθιστά ακόμα και τοξικά μερικά από τα ιχνοστοιχεία.

Προς αυτήν κατεύθυνση γίνονται ενέργειες να καθοριστούν σε πρώτη φάση όρια ρύπων στο περιβάλλον. Για παράδειγμα για το χρώμιο στο πίνακα 2 αναφέρονται χαρακτηριστικά τα όρια ανοχής στο έδαφος του ανάλογα τις συνθήκες. Ανάλογα έχουν γίνει προσπάθειες ορισμού ορίων για το σύνολο των ρύπων.

Πίνακας 1: Όρια ανοχής στο χρώμιο εδάφους ανάλογα με την περίπτωση (Μήτσιος, 2004).

Περίπτωση	Όρια ανοχής (mg Cr/ kg ξηρού εδάφους).
Ανάπτυξη καλλιεργειών	70

Εσωτερικοί κήποι	600
Πάρκα, παιδικές χαρές κ.α.	1000

Πριν προχωρήσουμε όμως σε όρια ανοχής καλούμαστε να γνωρίζουμε την μέση συγκέντρωση των στοιχείων σε υδάτινους, χερσαίους και ατμοσφαιρικούς αποδέκτες καθώς και τους μηχανισμούς κατανομής τους (**Καλουβρουζιώτης, 2010**).

Ένας τρόπος να ελέγξουμε την ισορροπία των στοιχείων με την χρήση φυτών ή ζώων που μπορούν να λειτουργήσουν σαν βιοσυσσωρευτές. Οι βιοσυσσωρευτές παρουσιάζουν την δράση της φυτοεξυγίανσης. Ο όρος φυτοεξυγίανση, αναφέρεται σε κάθε σύστημα ή διαδικασία στην οποία χρησιμοποιούνται φυτά, για την *in situ* ή *ex situ* εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών, υλικών καθιζήσεως και υδάτων (επιφανειακών ή υπόγειων), μέσω της απομάκρυνσης, της διάσπασης και της σταθεροποίησης των ρυπαντών (**Cunningham et al.,1996, Schnoor et al, 1995 στο Ζαμπετάκης κ.α., 2005**)

Ακόμα έναν άλλος τρόπος να διαπιστώσουμε την ύπαρξη βαρέων μετάλλων ή τοξικών στοιχείων είναι να βρεθούν φυτά δείκτες που αναπτύσσονται σε περιοχές ρυπασμένες.

5.1. Φυτά ως εφαρμογές φυτοεξυγίανσης

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες από ερευνητές να απομονωθούν φυτά που έχουν την ικανότητα να απορροφούν ποσότητες βαρέων μετάλλων από τα εδάφη. Ακόμα και τα παραδείγματα των φυτών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα αποτελούν τέτοια φυτά. Στο πίνακα 2 αναφέρονται διάφορα είδη οικογενειών που μπορούν να εφαρμοστούν για την φυτοεξυγίανση των εδαφών (**Ζαμπετάκης κ.α., 2005**).

Πίνακας 2: Οικογένειες φυτών που έχουν την ικανότητα φυτοεξυγίανση διάφορων βαρέων μετάλλων (Ζαμπετάκης κ.α., 2005).

Βαρέα μέταλλα	Οικογένεια
Καδμιο(Cd)	Brassicaceae
Κοβάλτιο(Co)	Lamiaceae, Scrophulariaceae
Χαλκός(Cu)	Cyperaceae,Lamiaceae,Poaceae,Scrophulariaceae

Μαγγάνιο(Mn)	Apocynaceae,Cunoniaceae,Proteaceae
Νικέλιο(Ni)	Brassicaceae,Violaceae,Cunoniaceae,Proteaceae
Σελήνιο(Se)	Fabaceae
Θάλιο(Ti)	Brassicaceae
Ψευδάργυρος(Zn)	Brassicaceae,Violaceae

Μέχρι σήμερα έχουν προσδιοριστεί περισσότερα από 400 φυτικά είδη, που ανήκουν σε τουλάχιστον 45 οικογένειες φυτών, με ικανότητες συσσώρευσης βαρέων μετάλλων (έως και 5% του ξηρού τους βάρους) εκ των οποίων κάποια χρησιμοποιούνται ήδη σε προγράμματα φυτοεξυγίανσης (Λαζαράτος κ.α. 2006). Ο πιο γνωστός υπερσυσσωρευτής είναι το *Thlaspi caerulescens*. Ενώ τα περισσότερα φυτά εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας σε συγκεντρώσεις Zn περίπου 100 ppm, το *Thlaspi caerulescens* μπορεί να συσσωρεύσει έως και 26.000 ppm χωρίς κανένα σύμπτωμα. Εκτός από Zn, έχει την ικανότητα να συσσωρεύει και μεγάλες ποσότητες Cd. Επίσης, το *Indian mustard (Brassica juncea)* συσσωρεύει σημαντικές ποσότητες μολύβδου και χρησιμοποιείται ευρέως σε προγράμματα φυτοεξυγίανσης. Άλλα φυτικά είδη που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι η λεύκα, το τριφύλλι, ο ηλίανθος, το καλάμι, το άλυσσο και η τσουκνίδα. Οι λεύκες έχουν αποδειχθεί πολύ αποτελεσματικές στην προσρόφηση και συσσώρευση αρσενικού και καδμίου. Οι ηλίανθοι έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την εξυγίανση επιφανειακών υδάτων κοντά στο Τσερνομπίλ κυρίως από ραδιενεργό στρόντιο και καίσιο (Δανηλίδου, 2010).

Μια πρόσφατη έρευνα των **Gupta et al. (2013)** αναφέρει ότι οι εφαρμογές φυτοεξυγίανσης δεν πρέπει να γίνονται σε καλλιέργειες οι οποίες έχουν άμεση σχέση με την διατροφή των ανθρώπων και των ζώων. Προς αυτή την κατεύθυνση προτείνουν καλλιέργειες αρωματικών φυτών για την παραγωγή αιθέριου ελαίου. Τέτοια φυτά με θετική δράση φυτοεξυγίανση μπορεί να είναι: *Vectiria zizanioides*, *Cymbopogo martini*, *Cymbopogon flexuosus*, *Cymbopogon winterianus*, *Mentha sp.*, *Ocimum basilicum*.

5.2. Φυτά αναπτυσσόμενα σε επιβαρυνόμενα με μέταλλα εδάφη και πως παρουσιάζεται

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες προκειμένου να ταυτοποιηθούν είδη που έχουν σαν ενδιαίτημα εδάφη ρυπασμένα με βαρέα μέταλλα. Ο **Bothe (2010)** αναφέρει ότι το φυτό *Minuartia (Alsine) verna* είναι ενδημικό σε περιοχές ρυπασμένες με ψευδάργυρο. Οι **Becker and Dierschke (2008)** βρήκαν ότι ένα υποείδος του *Armeria maritima* έχει αναφερθεί ότι φύεται σε περιοχές ρυπασμένες με βαρέα μέταλλα. Το γένος *Thlaspi alpestre* έχει αναφερθεί ότι έχει την ικανότητα να αναπτύσσεται ανταγωνιστικά σε εδάφη με βαρέα μέταλλα (**Koch et al. 1998**). Ακόμα, ο Bothe (2010) αναφέρει το είδος *Thlaspi goesingense* για εδάφη με νικέλιο σε χώρες τις νοτιοανατολικής Ευρώπης. Το είδος *Silene vulgaris* έχει βρεθεί ότι αναπτύσσεται σε ρυπασμένα εδάφη με χαλκό και γενικότερα με βαρέα μέταλλα. Το *Cardaminopsis halleri* επιβιώνει σε ρυπασμένα εδάφη εκτός αν περιέχουν χαλκό (**Becker and Dierschke, 2008**). Ένα άλλο είδος είναι το *Festuca aquisgranensis* το οποίο έχει απομονωθεί σε περιοχές της Ευρώπης με βαρέα μέταλλα (**Patzke and Brown, 1990**). Το *Viola lutea* και όπως και άλλα είδη του γένους έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται σε πληθυσμούς σε εδάφη με ψευδάργυρο στην δυτική Ευρώπη και ανατολική Ευρώπη (**Schwickerath, 1944**).

Ο **Ernst (1982)** σε έρευνα του σε ρυπασμένα εδάφη με βαρέα μέταλλα στην Γερμανία προσπάθησε να καταγράψει την βλάστηση που αναπτύσσεται κυρίως. Συγκεκριμένα στον πίνακα 3 αναφέρετε η λίστα των ειδών καθώς και οι συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα στα φυτικά του μέρη.

Πίνακας 3: Είδη που αναπτύσσονται σε ρυπασμένα εδάφη με βαρέα μέταλλα και η απορρόφηση τους σε ψευδάργυρο, μολυβδαίνιο και καδμιο σε περιοχή της Γερμανίας (Ernst, 1982).

Plant species	Zn	Pb	Cd
<i>Thlaspi alpestre</i> ssp. <i>calaminare</i> (= <i>T. caerulescens</i>)	159.0	8.21	4.83
<i>Minuartia verna</i>	151.3	6.52	0.65
<i>Armeria maritima</i> ssp. <i>calaminaria</i>	112.8	11.60	1.10
<i>Silene cucubalus</i> var. <i>humilis</i>	40.8	0.29	0.02
<i>Plantago lanceolata</i>	39.2	2.35	0.19
<i>Lotus corniculatus</i>	30.4	0.05	0.02
<i>Anthyllis vulneraria</i>	28.8	0.15	0.03
<i>Festuca ovina</i>	28.3	0.97	0.13
<i>Campanula rotundifolia</i>	24.8	4.70	0.98
<i>Thymus serpyllum</i> agg.	22.9	3.96	0.33
<i>Cladonia rangifera</i> (podetium) (lichen)	21.4	8.08	0.40
<i>Rumex acetosa</i>	21.4	2.12	0.16
<i>Agrostis tenuis</i>	17.4	0.88	0.10
<i>Achillea millefolium</i>	14.8	1.38	0.02
<i>Euphrasia stricta</i>	14.3	0.94	0.10
<i>Viola lutea</i> ssp. <i>calaminaria</i>	8.9	0.19	0.02
<i>Pimpinella saxifraga</i>	8.2	0.26	0.03

Τέλος σύμφωνα με τον Καλουβρουζιώτης (2010) στα εδάφη που είναι ρυπασμένα με βαρέα μέταλλα η παρουσία της βλάστησης είναι ως εξής:

1. Ανώμαλες κοινότητες ενδεικτικών φυτών δείγμα παρουσίας στοιχείων της ύλης.
2. Φυτά που δεν αποτελούν χαρακτηριστική βλάστηση του ενδιαιτήματος.
3. Αλλαγές στην αφθονία φυτικών ειδών της περιοχής.
4. Ασυνήθιστα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά.
5. Δυσμορφίες στα φυτά.
6. Ασυνήθιστες συγκεντρώσεις μετάλλων στους ιστούς των φυτών.

Ακόμα, ο Cole (1980) υποστηρίζει ότι οι μολυσμένες περιοχές φυτών παρουσιάζονται σε μέρη όπου η καλοκαιρινή βροχόπτωση και οι ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης συνοδεύονται από χειμερινή ξηρασία γιατί καθώς η υγρασία ελαττώνεται οι συγκεντρώσεις των στοιχείων των ορυκτών του εδάφους γίνονται κρίσιμες.

6. Συγκεντρώσεις Μετάλλων σε Εδάφη και Φυτά

Σύμφωνα με τον **Levitt (1980)** οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος μπορεί να αποτελέσουν παράγοντα καταπόνησης των φυτών και έτσι χαρακτηρίζονται σε ευαίσθητα εκείνα που επηρεάζεται η ανάπτυξη τους και εν τέλει πεθαίνουν και σε ανθεκτικά εκείνα τα οποία επιβιώνουν και αναπαράγονται. Τα φυτά έχουν δύο μηχανισμούς επιβίωσης, την ανοχή και την αποφυγή της καταπόνησης (**Baker, 1987**). Η ανοχή των φυτών σε βαρέα μέταλλα έχει να κάνει με τον γεγονός ότι μέρος του πληθυσμού μπορούν αναπτύξουν ιδιαίτερους φυσιολογικούς μηχανισμούς ανθεκτικότητας, οι οποίοι μπορούν να περάσουν και να εκφραστούν στην επόμενη γενιά των φυτών αυτών (ανθεκτικοί γενότυποι). Η ανθεκτικότητα διαφέρει από είδος σε είδος φυτού, από στοιχείο σε στοιχείο ακόμα και από οικοσύστημα σε οικοσύστημα. Ο **Baker (1981)** αναφέρει δύο μηχανισμούς ανοχής, τον αποκλεισμό συσσώρευσης βαρέων μετάλλων και την συσσώρευση και την μετατροπή σε αποτοξινωμένες μορφές. Ο αποκλεισμός συσσώρευσης γίνεται με την βοήθεια από μυκόριζες ή εξειδικευμένων ριζικών συστημάτων. Ένας μηχανισμός αποφυγής συσσώρευσης είναι η απέκκριση παραγόντων χηλιοποίησης από τα κύτταρα της ρίζας προς τη ριζόσφαιρα. Εναλλακτικά, κάποια φυτά διαθέτουν υψηλής εκλεκτικότητας μεμβράνες στα κύτταρα της ρίζας με αποτέλεσμα την αποτροπή εισόδου των βαρέων μετάλλων στο εσωτερικό τους. Τέλος, σε κάποια φυτά, τα μέταλλα καθιλώνονται στο κυτταρικό τοίχωμα των κυττάρων της ρίζας (κυρίως στο πηκτινικό κλάσμα). Από την άλλη όσον αφορά την αποτοξίνωση ορισμένα φυτά δεσμεύουν τα βαρέα μέταλλα υπό μορφή συμπλόκων με οργανικά μόρια χαμηλού μοριακού βάρους όπως οργανικά οξέα, αμινοξέα ή φαινολικά συστατικά. Τα σύμπλοκα αυτά απομονώνονται στο χυμοτόπιο. Ακόμα σε άλλα φυτά λειτουργεί ενεργός μεταφορά των ιόντων από το κυτταρόπλασμα προς τον αποπλαστικό χώρο. Ωστόσο σύμφωνα με σύνολο αναφορών οι ανθεκτικοί γενότυποι σε βαρέα μέταλλα ενδέχεται να παρουσιάζουν μειωμένη ανάπτυξη και εν τέλει παραγωγικότητα σε εδάφη μη τοξικά (**Cox and Hutchinson, 1981 & Ernst, 1976**).

Ουσιαστικά τα μεταλλόφυτα και τα ψευδομεταλλόφυτα είναι εκείνα τα φυτά που καταφέρνουν να επιβιώνουν σε συνθήκες υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Στο σημείο αυτό θα διαχωρίσουμε την στρατηγική της ανοχής με την αποφυγή. Σε ορισμένα οικοσυστήματα ρυπασμένα με βαρέα μέταλλα υπάρχουν τυχαία μονοετή μεταλλόφυτα τα οποία εμφανίζονται σποραδικά με μειωμένη ενεργητικότητα. Ουσιαστικά υπάρχουν μεταλλόφυτα και ψευδομεταλλόφυτα τα οποία αποκτούν ανθεκτικότητα σε συνθήκες ρύπανσης διαφοροποιώντας και αναπτύσσοντας

φυσιολογικούς μηχανισμούς σε μέρος του πληθυσμού ενώ και τυχαία όπως στο παραπάνω οικοσύστημα που αποφεύγουν τις επιπτώσεις της ρύπανσης (**Baker, 1987**).

Ακόμα, υπάρχουν μελετητές που έχουν αναζητήσει και μηχανισμούς προσαρμογής των φυτών σε ρυπασμένα εδάφη με βαρέα μέταλλα. Χαρακτηριστικά έχουν αναπτυχθεί ορισμένες τάξεις φυτών σε ρυπασμένα εδάφη και άλλες όχι. Αυτό το φαινόμενο είναι ο κύριος λόγος ερμηνείας της προσαρμοστικότητας και της εξέλιξης. Ο **Bradshaw (1984)** τονίζει ότι η έλλειψη γενετικής ποικιλότητας περιορίζει την εξέλιξη και την προσαρμογή. Ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση της προσαρμογής φυτών, σπάνια παρατηρείται το φαινόμενο της μη απορρόφησης μετάλλων αλλά η ανάπτυξη ιδιαίτερων εσωτερικών μηχανισμών ανθεκτικότητας (**Levitt, 1980**).

7. Τύποι φυτών

Ο **Baker (1981)** όρισε τον λόγο συγκέντρωσης μετάλλου στο φυτό προς την συγκέντρωση του στο έδαφος ως συντελεστή συγκέντρωσης. Με βάση αυτόν τον όρο χώρισε τα φυτά σε τρεις κατηγορίες:

- Συσσωρευτές
- Δείκτες
- Μη συσσωρευτές

Ως συσσωρευτές ορίζονται τα φυτά όπου τα στοιχεία συσσωρεύονται στα φυτικά μέρη του φυτού. Στην περίπτωση αυτή η συγκέντρωση των φυτών είναι μεγαλύτερη από του εδάφους και ο λόγος είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Η συγκέντρωση των μετάλλων αυξάνει απότομα ως το σημείο που κορεστούν όλοι οι ιστοί και σταματήσει η ανάπτυξη του φυτού.

Ως δείκτες χαρακτηρίζονται τα φυτά τα οποία η συγκέντρωση των στοιχείων στα φυτά με το έδαφος είναι ανάλογη και ο λόγος είναι κοντά στην μονάδα.

Τέλος ως μη συσσωρευτές είναι τα φυτά που παρεμποδίζουν όπως προαναφέραμε την συσσώρευση των μετάλλων ως ένα σημείο στο φυτό και έτσι ο λόγος σε αυτήν την περίπτωση είναι μικρότερος της μονάδας. Πέρα αυτού του σημείου, του κρίσιμου σημείου η συσσώρευση γίνεται με ταχύς ρυθμούς και οδηγούμαστε στον θάνατο του φυτού.

Κάποια φυτά ενδέχεται να είναι για κάποια στοιχεία συσσωρευτές και για κάποια άλλα όχι. Ενώ το ίδιο ισχύει και για το χαρακτηρισμό των φυτών ως δείκτες και ως μη συσσωρευτές. Χαρακτηριστικά οι *Mganga et al. (2011)* αξιολόγησαν δεκατέσσερα είδη και είδαν την λειτουργία τους ως συσσωρευτές (hyperaccumulator), ως μη συσσωρευτές (excluder) και ως δείκτες (indicator) στα βαρέα μέταλλα νικέλιο, κάδμιο, μολυβδαίνιο, ψευδάργυρο και χρώμιο. Επιβεβαιώνεται ότι ορισμένα είδη για κάποια στοιχεία λειτουργούν ως δείκτες, σε άλλα ως συσσωρευτές και σε άλλα ως μη συσσωρευτές (Πίνακας 4).

Πίνακας 4: Αξιολόγηση 14 ειδών ως προς την λειτουργία τους ως συσσωρευτές (hyperaccumulator), ως μη συσσωρευτές (excluder) και ως δείκτες (indicator) στα βαρέα μέταλλα νικέλιο, κάδμιο, μολυβδαίνιο, ψευδάργυρο και χρώμιο (Mganga et al., 2011).

Plant species	Hyperaccumulator	Excluder	Indicator
<i>Ludwigia stolonifera</i> (Ghill. & Pers) Raven			Cd and Pb
<i>Sphaeranthus gomphrenoides</i> O. Hoffm.		Ni and Cd	
<i>Leersia hexandra</i> SW.	Pb and Ni		
<i>Commelina benghalensis</i> L.	Cd		
<i>Sphaeranthus kirkii</i> Oliv.			Pb
<i>Typha capensis</i> Pers	Cd	Ni	
<i>Cyperus articulatus</i> L.		Cd	Zn
<i>Fuirena umbellata</i> Rottb	Cd and Cr		
<i>Agave sisalana</i> Perr.	Cr		Zn, Pb and Ni
<i>Cyperus exaltatus</i> L.	Cd, Zn and Ni	Pb	
<i>Crinum papillosum</i> L.	Cd and Cr		Ni
<i>Hoslundia opposita</i> Vahl	Cr, Cd and Pb		
<i>Pluchea dioscoridis</i> (L) DC.	Cr	Ni and Cd	Pb and Zn
<i>Hygrophylla auriculata</i> (Schumach) Heine	Cr, Cd and Ni	Pb	

Έπειτα από το έδαφος η συσσώρευση των βαρέων μετάλλων μπορεί να γίνει είτε σε εναέρια μέρη όπως τα φύλλα είτε στην ρίζα ανάλογα με το είδος του φυτού αλλά και το στοιχείο. Έτσι υπάρχουν ουσιαστικά τρεις λόγοι συγκεντρώσεις μας ενδιαφέρουν (Καλουβρουζιώτης, 2010) :

- Ο λόγος ρίζας προς έδαφος που αναφέρεται στην απορρόφηση του στοιχείου από το έδαφος αλλά και στην δράση συσσώρευσης ή μη από την ρίζα.

- Ο λόγος φύλλο προς ρίζα που έχει να κάνει με την πιθανότητα κίνησης των στοιχείων στα εναέρια μέρη και την σχέση συγκέντρωσή τους.
- Ο λόγος φύλλου προς έδαφος που είναι συμπέρασμα των δύο άλλων αναλογιών αλλά έχει την πιο συνήθη εφαρμογή στην βιογεωχημική έρευνα.

Σύμφωνα με έρευνα των **You et al. (2000)** δύο είδη υδρόβια για την αντιμετώπιση εδαφών με βαρέα μέταλλα όπως *Ipomoea aquatica* και το *Oenanthe javanic* παρουσιάζουν ανάλογα με το στοιχείο διαφορετική συγκέντρωση σε ρίζα, σε φύλλα και στο στέλεχος. Ωστόσο χαρακτηριστικό είναι ότι την μεγαλύτερη συγκέντρωση των στοιχείων την συναντάμε στην ρίζα αποδεικνύοντας ότι τα φυτά διαθέτουν μηχανισμούς που δεν επιτρέπουν στα στοιχεία να κινηθούν.

Πίνακας 5: Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων καδμίου, χαλκού, μολυμβαίνιου και ψευδαργύρου σε φυτικά μέρη (ρίζα, στέλεχη, φύλλα) των φυτών Ipomoea aquatica και το Oenanthe javanic (You et al., 2000).

Species	Organ	Cd	Cu	Pb	Zn
Ipomoea aquatica	Root	0.63	12.8	2.75	37.0
	Stem	0.03	5.42	0.14	12.3
	Leaf	0.04	6.93	0.21	18.6
Oenanthe javanic	Root	0.67	20.1	3.76	31.7
	Stem	0.04	3.34	0.38	14.4
	Leaf	0.02	3.36	0.39	13.2

Ακόμα μεταξύ των μερών του φυτού μπορεί να μεταβάλλεται και η ενδοκυτταρική παρουσία. Για παράδειγμα στο πίνακα 5 παρουσιάζεται έρευνα του **Καραμπουρνιώτη (2011)** όπου αξιολογήθηκε η συγκέντρωση ψευδαργύρου σε φύλλα και ρίζα σε τρία διαφορετικά φυτά και η ενδοκυτταρική τους κατανομή.

Πίνακας 6: συγκέντρωση ψευδαργύρου σε φύλλα και ρίζα σε τρία διαφορετικά φυτά και η ενδοκυτταρική τους κατανομή (Καραμπουρνιώτης, 2011).

φυτικό όργανο	ενδοκυτταρική κατανομή (%) ψευδαργύρου		
	χυμοτόπιο, κυτταρόπλασμα	κυτταρικά οργανίδια	κυτταρικό τοιχώμα
<i>Cardaminopsis halleri</i>			
φύλλο	82	6	12
ρίζα	38	5	57
<i>Sillene vulgaris</i>			
φύλλο	64	10	26
ρίζα	18	10	72
<i>Minuartia verna</i>			
φύλλο	46	8	46
ρίζα	20	8	72

Βιβλιογραφία

1. Adesodun J.K., Atayese M.O., Agbaje T.A., Osadiaye B.A., Mafe O.F., and Soretire A.A.. 2010. Phytoremediation potentials of sunflowers (*Tithonia diversifolia* and *Helianthus annuus*) for metals in soils contaminated with zinc and lead nitrates. *Water, Air and Soil Pollution*, 207, pp 195-201.
2. Alloway, B.J., 1995. Introduction. In: Alloway, B.J. (Ed.), *Heavy Metals in Soils*. Blackie, Glasgow
3. Appenroth K-J. 2010. Definition of “Heavy Metals” and their role in biological systems. In: Sherameti A, Verma A (eds) *Soil heavy metals*. Springer, Berlin, pp 19–29
4. Arbaoui S., A. Evlard, M. W. Mhamdi, B. Campanella, R.Paul and T. Bettaieb. 2013. Potential of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) and corn (*Zea mays* L.) for phytoremediation of dredging sludge contaminated by trace metals. *Biodegradation*. February 2013
5. Astolfi S., Zuchi S., DeCesare F., Badalucco L., Grego S.. 2011. Cadmium-induced changes in soil biochemical characteristics of oat (*Avena sativa* L.) rhizosphere during early growth stages. *Soil Research* 49, 642–651.
6. Bååth E., 1989: Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). -*Water, Air and Soil Pollution* 47, 335–379.

7. Bada B.S., Raji K.A.. 2010. Phytoremediation potential of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) grown in different soil textures and cadmium concentration. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, 4:250–255
8. Baker, A. J. M.. 1981. Accumulators and excluders — strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3, 643-654.
9. Baker, A. J. M.. 1987. Metal Tolerance. *New Phytology* 106, 93-111
10. Barber S. A. 1984. *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach*. 2nd Ed. John Wiley, New York, USA, 414 p
11. Becker T, Dierschke T. 2008. Vegetation response to high concentrations of heavy metals in the Harz Mountains. *Phytocoenologia* 38:255–265
12. Bothe H. 2010. *Plants in Heavy Metal Soils*. I. Sherameti and A. Varma (eds.), *Detoxification of Heavy Metals, Soil Biology* 30
13. Bradshaw , A. D. 1984. Adaptation of plants to soils containing toxic metals - a test for conceit. In: *Origins and Development of Adaptation*, CIBA Foundation Symposium 102 (Ed. by D. Evered & G. M. Collins), pp. 4-19. Pitman, London
14. Cox R. M. and Hutchinson T. C.. 1981. Multiple and co-tolerance to metals in the grass *Deschampsia cespitosa*, adaptation, preadaptation and "cost". *J. Pl. Nutr.* 3, 731 741.
15. Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P., and Hsu, F. C. 1996. "Phytoremediation of soil contaminated with organic pollutants". *Advances in Agronomy* , Vol. 56, pp. 55-114.
16. Dan, T., Hale, B., Johnson, D., Conard, B., Stiebel, B., Veska, E., 2008. Toxicity thresholds for oat (*Avena sativa* L.) grown in Ni-impacted agricultural soils near Port Colborne, Ontario, Canada. *Can. J. Soil Sci.* 88, 389–398
17. Duffus J.H. 2002. "Heavy metal" – a meaningless term? *Pure Appl Chem* 74:793–807
18. Ernst WHO (1982) *Schwermetallpflanzen*. In: Kinzel H (ed) *Pflanzenökologie und Mineral-Stoffwechsel*. Ulmer, Stuttgart, pp 472–506
19. Ernst, W. .1976. Physiological and biochemical aspects of metal tolerance. In: *Effects of Air Pollutants on Plants* (Ed. by T. A. Mansfield), pp. 115-133. Cambridge University Press, Cambridge.
20. Graham, R.D. 1981. in *Copper in Soils and Plants*. J. F. Loneragan, A. D. Robson and R. D. Graham (editors). Academic Press Australia, 141-163

21. Gupta A.K., S.K. Verma, K. Khan, and R.K. Verma. 2013. Phytoremediation Using Aromatic Plants: A Sustainable Approach for Remediation of Heavy Metals Polluted Sites. *Environ. Sci. Technol.* 47, 10115–10116
22. Helios-Rybicka E. and J. Kyziol. 1983. Clays and clay minerals as the natural barriers for heavy metals in pollution mechanisms — illustrated by Polish rivers and soils. *Mitt, österr. geol. Ges.* 83 (1990) Themenband Umweltgeologie. S. 163-176
23. Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1992. Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, Baton Raton, FL. pp. 365.
24. Karapanagiotis, N.K., Sterritt, R.M., Lester, J.N., 1991. Heavy metal complexation in sludge-amended soil. The role of organic matter in metal retention. *Environmental Technology* 12, 1107–1116.
25. Koch M., Mummenhoff K., Hurka H.. 1998. Systematics and evolutionary history of heavy metal tolerant *Thlaspi caerulescens* in Western Europe: evidence from genetic studies based on isoenzyme analysis. *Biochem Syst Ecol* 26:823–838
26. Levitt, J., 1980. Responses of Plant to Environmental Stress. Academic Press, NewYork
27. Mani D., Sharma B., Kumar C., Pathak N., Balak S.. 2012. Phytoremediation potential of *Helianthus annuus* L. in sewage-irrigated Indo-Gangetic alluvial soils. *Int J Phytoremediat* 14(3):235–246
28. Manzano R., J . Peñalosaand E . Esteban. 2012. Effect of arsenic on *Hibiscus cannabinus* L. (kenaf) behaviour and evaluation of its use in phytoremediation. Proceedings of the 4th International Congress on Arsenic in the Environment, 22-27 July 2012, Cairns, Australia
29. Martin, S. and W. Griswold, 2009. Human Health Effect of Heavy Metals. *Environ Science and Technol., Briefs for Citizens*, 15: 1-6.
30. Masu S., B. Lixandru, C. Bogatu. 2007. Zinc extraction from polluted soils by using zeolite and *Vicia Sativa* plant”, Proceedings of the 3rd International Conference Lyfe Cycle Management. Swiss federal Institute of Technology. Zurich, Swiss. pp. 111
31. McGrath 1995. Chromium and Nickel. In *Heavy Metals in Soils*. Edited by Alloway. Published by Blackie Academic & Professional, Glasgow
32. Mganga, N., Manoko, M.L.K., Rulangaranga, Z.K.. 2011. Classification of plants according to their heavy metal content around North Mara gold mine, Tanzania: implication for phytoremediation. — *Tanz. J. Sci.* 37: 109–119

33. Mukhtar, S., H.N. Bhatti, M. Khalid, M. Anwar-ul-Haq and S.M. Shahzad. 2010. Potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) for phytoremediation of nickel (Ni) and lead (Pb) contaminated water. *Pak. J. Bot.*, 42: 4017-4026
34. Päivöke AEA. 2003. Responses of *Pisum sativum* to soil arsenate, lead, and zinc: A greenhouse study of mineral elements, phytase activity, ATP and chlorophylls. Academic dissertation, Faculty of Science, University of Helsinki
35. Patzke W, Brown G (1990) *Festua aquisgranensis* sp. nova ein neuer Vertreter der Kollektivart *Festuca ovina* L. *Decheniana* 143:194–195
36. Raikwar, P. Kumar, M. Singh, and A. Singh. 2008. Toxic effects of heavy metals in livestock health, *Veterinary world*, vol.1, pp. 28-30, Jan.
37. Rodríguez-Serrano M, Romero-Puertas MC, Zabalza A, Corpas FJ, Gómez M, del Río LA, Sandalio LM. 2006. Cadmium effect on oxidative metabolism of pea (*Pisum sativum* L.) roots: imaging of reactive oxygen species and nitric oxide accumulation *in vivo*. *Plant Cell Environ* 29: 1532–1544
38. Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S., 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*, second edition. Academic Press, London, 657 pp.
39. Schnoor, J. L., Licht, L. A., McCutcheon, S. C., Wolfe, N. L., and Carreira, L. H.. 1995. "Phytoremediation of organic and nutrient contaminants". *Environ. Sci. & Technol.*, Vol. 29, pp. 318A-323A.
40. Schwickerath M. 1944. *Das Hohe Venn und seine Randgebiete*. Gustav Fischer, Jena
41. Séby, F., Potin-Gautier, M., Giffaut, E., Borge, G., Donard, O.F.X., 2001. A critical review of thermodynamic data for selenium species at 25 °C. *Chem. Geol.* 171, 173–194
42. Sharma RK, Agrawal M. 2005. Biological effects of heavy metals: an overview. *J Environ Biol* 6:301–313
43. Siddiqui, S., M.K. Meghvansi, M.A. Wani and F. Jabee, 2009. Evaluating cadmium toxicity in the root meristem of *Pisum sativum* L. *Acta Physiol. Plantarum*, 31: 531-536
44. Singh S., Kumar M. 2006. Heavy metal load of soil, water and vegetables in peri-urban Delhi. *Environ Monit Assess* 120:71–79
45. Sposito G. and A.L. Page, 1985. Cycling of metal ions in the soil environment, *Metal Ions in Biological Systems, Circulation of Metals in the Environment* 18, 287-332.

46. Usman, A., Kuzyakov, Y., Stahr, K., 2005. Effect of clay minerals on immobilization of heavy metals and microbial activity in a sewage sludge-contaminated soil. Institute of Soil Science and Land Evaluation. Department of Soil and Water. *Journal of Soil and Sediments* 5 (4), 245–252.
47. Vesper D.J. , M. Roy, C.J. Rhoads. 2008. Selenium distribution and mode of occurrence in the Kanawha Formation, southern West Virginia, U.S.A., *Int. J. Coal Geol.* 73, 237–249
48. Weng, L., Temminghoff, E.J.M., Lofts, S., Tipping, E., Van Riemsdijk, W.H., 2002. Complexation with dissolved organic matter and solubility control of heavy metals in a sandy soil. *Environ. Sci. Technol.* 36, 4804–4810
49. Wild A.. 1995. *Soils and the Environment*. Cambridge University Press
50. Wuana RA, Okieimen FE (2010) Phytoremediation potential of maize (*Zea mays* L.). A review. *Afr J Gen Agri* 6(4):275–287
51. Yadav SK. 2009. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *S Afr J Bot.* doi:10.1016/j.sajb.2009.10.007
52. You W, Liu S, Qian X. 2000. A study on polluted water body purification with economical aquatic plants. *J East China Normal University (Natural Science)* 1, 99-102 (In Chinese with English abstract)
53. Δανηλίδου Ε.. 2010. Πειραματική καλλιέργεια φυτών με στόχο εφαρμογές για την προστασία του περιβάλλοντος. Πτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Επιβλέπων Καθηγητής Βαρνάβας
54. Ζαμπετάκης Α.Α., Μάνιος Β.Θ. και Καρατζάς Γ.. 2005. Καινοτομικές μέθοδοι εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων. Η τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης. Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005
55. Καλαβρουζιώτης Ι.. 2010. Αειφορική διαχείριση εδαφικών πόρων. Εκδόσεις Τζιόλια.
56. Καραμπουρνιώτης Ι.. 2011. Φυσιολογία Καταπονήσεων. Σημειώσεις Μαθήματος. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
57. Λαζαράτος Κ., Καλαβρουζιώτης Ι., Βαρνάβας Σ., 2006. Διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης στην απορρύπανση εδαφών. Πρακτικά 11ου Πανελληνίου εδαφολογικού συνεδρίου, Εδαφολογική Εταιρεία. σελ. 465-464

58. Μήτσιος Ι.. 2004. Γονιμότητα Εδαφών Θρεπτικά στοιχεία φυτών: Μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά και βαρέα μέταλλα. Μέθοδοι και εφαρμογές. Ζυμη1, Αθήνα