



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**

**ΠΜΣ «Τεχνολογίες Παραγωγής και Διατροφική Αξία Φυτικών
Προϊόντων»**

**Προσρόφηση καδμίου από φυτά γένους *Sideritis sp.* και *Thymus sp.*
σε ρυπασμένο έδαφος**

ΣΑΒΒΑΣ ΒΛΑΧΟΣ

**Επιβλέπων καθηγητής: Παντελής Ε. Μπαρούχας
Αναπληρωτής Καθηγητής**

Πάτρα, Αύγουστος 2020

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstact	6
Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Εικόνων	10
Ευχαριστίες	14
1.Αρωματικά φυτά	16
1.1 Η ιστορία των αρωματικών φυτών	16
1.2Φαρμακευτικά, αρωματικά φυτά και οι χρήσεις τους	18
1.3Συμβολή στην αειφόρο διαβίωση	19
1.4Αιθέρια Έλαια	20
1.5Γένος <i>Sideritis</i> «τσάι του βουνού»	24
1.6 <i>Thymus sp.</i>	28
1.7Σημασία των φαρμακευτικών και αρωματικών φυτών και της αειφόρου γεωργίας στην Ελλάδα	30
1.8Φαρμακευτικά φυτά και μελλοντικές εφαρμογές	32
2.ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	33
2.1 Κάδμιο	34
2.2 Απορρόφηση βαρέων μετάλλων από τα φυτά	34
2.3 Βιοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων	37
2.4 Απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από μολυσμένα εδάφη	39
3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	41
3.1 Περιγραφή πειράματος	41
3.2 Πειραματική διάταξη	41
3.3 Υπόστρωμα	46
3.4 Προετοιμασία διαλυμάτων	46
3.5 Επεξεργασία και ανάλυση φυτικού υλικού	47
3.6 Σκοπός της μελέτης	49

4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	50
4.1 Παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών γένους <i>Sideritis sp.</i> και <i>Thymus sp.</i> για κάθε συγκέντρωση καδμίου	50
4.2 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους <i>Sideritis sp.</i>	73
4.3 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους <i>Thymus sp.</i>	79
4.4 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους <i>Thymus sp.</i>	85
4.5 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους <i>Sideritis sp.</i>	87
4.6 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	90
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99

Περίληψη

Από την αρχαιότητα οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν τα αρωματικά φυτά για τις θεραπευτικές ιδιότητές τους και για τη διατροφική τους αξία. Η Μεσόγειος, αποτελεί ένα τόπο με μεγάλη βιοποικιλότητα, πλούσιο σε φαρμακευτικά και αρωματικά φυτά που καλύπτουν μια εκτεταμένη περιοχή με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας την έχουν ορίσει ως περιοχή υψηλής ποικιλότητας αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια ταχεία αύξηση του ενδιαφέροντος για τα αρωματικά φυτά ως αποτέλεσμα της ζωτικής συνεισφοράς τους σε ένα μεγάλο αριθμό αγροτικών κοινοτήτων. Τα αρωματικά φυτά αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την αειφόρο ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και τη δημόσια υγεία.

Τα θέματα μόλυνσης ωστόσο των φυτών με βαρέα μέταλλα γίνονται όλο και περισσότερο συχνά. Η εμφάνιση βαρέων μετάλλων σε εδάφη, φυσικά και μολυσμένα, αποτελούν αντικείμενο μελετών τα τελευταία χρόνια. Ενώ η μόλυνση μετάλλων είναι ευρέως διαδεδομένη, η εμφάνιση βαρέων μετάλλων στα γεωργικά εδάφη είναι ένα μείζον μέλημα.. Η τροφική αλυσίδα αποτελεί τον κύριο μηχανισμό μέσω του οποίου το κάδμιο εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα. Η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα καδμίου που μπορεί να προσλαμβάνει ο άνθρωπος σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας είναι $70 \mu\text{gCd}\text{day}^{-1}$ Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα προσλαμβανόμενου καδμίου για τα παιδιά είναι 2 έως $25 \mu\text{gCd}\text{day}^{-1}$ και 15 έως $50 \mu\text{gCd}\text{day}^{-1}$ για τους ενήλικες. Παρόλα αυτά, έστω και μικρές περιεκτικότητες των τροφών σε κάδμιο μπορούν να αποτελέσουν σοβαρό πρόβλημα καθώς συσσωρεύεται στους ανθρώπινους ιστούς. Η πρόσληψη του καδμίου από τον άνθρωπο εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα αυτού στα φαγώσιμα μέρη του φυτού και όχι στο σύνολο του φυτού.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της προσρόφησης καδμίου (Cd) από φυτά γένους *Sideritis sp.* και *Thymus sp.* σε ρυπασμένο έδαφος. Για το σκοπό αυτό στην παρούσα μελέτη ακολουθείται πειραματική διάταξη πλήρως τυχαιοποιημένων συγκροτημάτων (completed randomized block design) κατά την οποία εφαρμόζονται συνολικά πέντε (5) επίπεδα Cd. Το κάδμιο ενσωματώνεται στο έδαφος υπό μορφή CdO και σε ποσότητες που αναλογούν σε περιεκτικότητα 0, 1, 5, 10 και 20 ppm Cd. Μετά την παρέλευση 8 εβδομάδων προσδιορίστηκαν τα επίπεδα καδμίου στους

φυτικών ιστών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ανταπόκριση των φυτών στην πρόσληψη καδμίου αυξανόμενης της χορηγούμενης ποσότητας Cd στο έδαφος.

Λέξεις Κλειδιά

Ανταλλάξιμο κάδμιο, Συσσώρευση καδμίου, Τσάι του βουνού, Θυμάρι, Αρωματικά φυτά, Απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων

Abstract

From ancient times, the Greeks used aromatic plants for their healing properties and their nutritional value. The Mediterranean is a place with great biodiversity, rich in medicinal and aromatic plants that cover an extensive area with different environmental conditions. The geographical position of Greece is defined as an area of high diversity of aromatic and medicinal plants. In recent years, there has been a rapid increase in interest for aromatic plants because of their vital contribution to a large number of rural communities. Aromatic plants are important factors for sustainable development, environmental protection and public health.

However, the issue of contamination of plants with heavy metals is becoming more and more frequent. The appearance of heavy metals in soils, naturally and contaminated, has been the subject of studies in recent years. While metal contamination is widespread, the appearance of heavy metals in agricultural soils is a major concern. The food chain is the main mechanism through which cadmium enters the human body. The maximum permissible amount of cadmium that a person can consume according to the World Health Organization is $70 \mu\text{g Cd day}^{-1}$. The maximum permissible amount of cadmium intake for children is 2 to $25 \mu\text{g Cd day}^{-1}$ and 15 to $50 \mu\text{g day}^{-1}$ for adults. However, even small amounts of cadmium in food can be a serious problem as it accumulates in human tissues. The uptake of cadmium by humans depends mainly on its content in the edible parts of the plant and not on the plant as a whole.

The aim of the present work is to study the adsorption of cadmium (Cd) by plants of the genus *Sideritis sp.* and *Thymus sp.* on contaminated soil. For this purpose, an experimental layout of completely randomized blocks design is followed, during which a total of five (5) Cd levels are applied. Cadmium is incorporated into the soil in the form of CdO and in amounts corresponding to 0, 1, 5, 10 and 20 ppm Cd. After 8 weeks, the cadmium levels in the plant tissues were determined. The results showed a response of plants to the intake of cadmium by increasing the amount of Cd administered in the soil.

Keywords

Extractable Cd; Cadmium accumulation; Thymus sp.; Sideritis sp.; Medicinal plants;
Uptake

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.4.1 Φαρμακευτικά και αρωματικά είδη φυτών στην Ελλάδα.

Πίνακας 3.2.1 Επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στα φυτά.

Πίνακας 4.2.1 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritissp.* με μηδενική συγκέντρωση καδμίου.

Πίνακας 4.2.2 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritissp.* σε συγκέντρωση καδμίου 1 ppm.

Πίνακας 4.2.3 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritissp.* σε συγκέντρωση καδμίου 5ppm.

Πίνακας 4.2.4 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritissp.* σε συγκέντρωση καδμίου 10ppm.

Πίνακας 4.2.5 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritissp.* σε συγκέντρωση καδμίου 20ppm.

Πίνακας 4.2.6 Επίδραση της συγκέντρωσης του Cd στο ύψος των φυτών του γένους *Sideritissp.* του υπόγειου και υπέργειου τμήματος.

Πίνακας 4.3.1 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymussp.* με μηδενική συγκέντρωση καδμίου.

Πίνακας 4.3.2 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymussp.* σε συγκέντρωση καδμίου 1 ppm.

Πίνακας 4.3.3 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymussp.* σε συγκέντρωση καδμίου 5ppm.

Πίνακας 4.3.4 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymussp.* σε συγκέντρωση καδμίου 10ppm.

Πίνακας 4.3.5 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymussp.* σε συγκέντρωση καδμίου 20ppm.

Πίνακας 4.3.6 Επίδραση της συγκέντρωσης του Cd στο ύψος των φυτών του γένους *Thymussp.* του υπόγειου και υπέργειου τμήματος.

Πίνακας 4.4.1 Συνολικές τιμές απορρόφησης καδμίου από το φυτό *Thymussp.* για κάθε μεταχείριση και κάθε επανάληψη.

Πίνακας 4.4.2 Περιεκτικότητα φυτού *Thymus sp.* - Μέσοι όροι τιμών 5 φυτών σε τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.5.1 Συνολικές τιμές απορρόφησης καδμίου από το φυτό *Sideritissp.* για κάθε μεταχείριση και κάθε επανάληψη.

Πίνακας 4.5.2 Περιεκτικότητα φυτού *Sideritis sp.* - Μέσοι όροι τιμών 5 φυτών σε τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.1 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος βλαστού του φυτού *Thymussp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.2 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος ρίζας του φυτού *Thymussp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.3 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το συνολικό μήκος του φυτού *Thymus* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.4 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος βλαστού του φυτού *Thymus* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.5 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος της ρίζας απορρόφηση του φυτού *Thymus* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.6 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με την απορρόφηση του φυτού *Thymus* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.7 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος βλαστού του φυτού *Sideritis* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.8 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος ρίζας του φυτού *Sideritis* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.9 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το συνολικό μήκος του φυτού *Sideritis* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.10 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος βλαστού του φυτού *Sideritis* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.11 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος της ρίζας του φυτού *Sideritis* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Πίνακας 4.6.12 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με την απορρόφηση του φυτού *Sideritis* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.4.1 Δραστηριότητες και χρήσεις των αρωματικών φυτών.

Εικόνα 1.4.2. Αρωματικά φυτά.

Εικόνα 1.5.1: Τσάι του βουνού.

Εικόνα 1.5.2. Γεωγραφική εξάπλωση του γένους *Sideritis*.

Εικόνα 1.5.3: Μέρη του φυτού *Sideritis*.

Εικόνα 1.6.1 Θυμάρι.

Εικόνα 2.2.1 Τοξικότητα βαρέων μετάλλων στα φυτά. Οι μοβ σφαίρες υποδεικνύουν τα ενεργά μέταλλα οξειδοαναγωγής και το κόκκινο και το μπλε είναι ανενεργά μέταλλα οξειδοαναγωγής. Η πράσινη σφαίρα είναι ένα μεταλλικό κέντρο που μετατοπίζεται από ένα βαρύ μέταλλο (κόκκινο). Η συγγένεια για βαρέα μέταλλα θα αλλάξει τη δραστηριότητα της πρωτεΐνης και θα δημιουργήσει ανισορροπίες και διαταραχές που θα οδηγήσουν σε μακρομοριακή βλάβη. Ωστόσο, το κελί μπορεί να προσαρμοστεί στα τοξικά μέταλλα και να σηματοδοτήσει αντίδραση για την πρόληψη βλάβης.

Εικόνα 3.2.1 Εικοσιπέντε (25) γλάστρες τσάι του βουνού με προσθήκη καδμίου (Cd) σε πέντε (5) μεταχειρίσεις και τρεις (3) επαναλήψεις.

Εικόνα 3.2.2 Εφαρμογή βαρέων μετάλλων στα φυτά *Sideritissp*.

Εικόνα 3.2.3 Εικοσιπέντε (25) γλάστρες θυμάρι με προσθήκη καδμίου (Cd) σε πέντε (5) μεταχειρίσεις και τρεις (3) επαναλήψεις.

Εικόνα 3.2.2 Εφαρμογή βαρέων μετάλλων στα φυτά *Thymussp*.

Εικόνα 3.4.1 Διαλύματα καδμίου που παρασκευάστηκαν.

Εικόνα 4.1.1 Φυτά γένους *Sideritissp*. κατά την μεταφορά στην πρώτη εγκατάσταση.

Εικόνα 4.1.2 Φυτά γένους *Sideritissp*. κατά την μεταφορά στην πρώτη εγκατάσταση.

Εικόνα 4.1.3 Φυτά γένους *Thymussp*. κατά την μεταφορά στην πρώτη εγκατάσταση.

Εικόνα 4.1.4 Φυτά γένους *Sideritissp*.κατά την πρώτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.5 Φυτά γένους *Thymus sp*. κατά την πρώτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.6 Φυτά γένους *Sideritissp*.κατά την δεύτερη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.7 Φυτά γένους *Thymus sp*. κατά την δεύτερη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.8 Άνθιση του φυτού γένους *Thymus sp.* κατά την δεύτερη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.9 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritissp.* που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τρίτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.10 Φυτά γένους *Sideritissp.* κατά την τρίτη εφαρμογή (μάρτυρας).

Εικόνα 4.1.11 Φυτά γένους *Sideritissp.* κατά την τρίτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 10 ppm (Cd10).

Εικόνα 4.1.12 Φυτά γένους *Sideritissp.* κατά την τρίτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).

Εικόνα 4.1.13 Φυτά γένους *Thymus sp.* κατά την τρίτη εφαρμογή με συγκεντρώσεις καδμίου 1, 5 και 10 ppm (Cd1, Cd5 και Cd10).

Εικόνα 4.1.14 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritissp.* που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τέταρτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.15 Φυτά γένους *Sideritissp.* κατά την τέταρτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).

Εικόνα 4.1.16 Σύνολο των φυτών γένους *Thymus sp.* κατά την τέταρτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.17 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritissp.* που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πέμπτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.18 Φυτά γένους *Sideritissp.* κατά την πέμπτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).

Εικόνα 4.1.19 Σύνολο των φυτών γένους *Thymus sp.* κατά την πέμπτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.20 Ισχυρή χαλαζόπτωση κατά τη διάρκεια της πέμπτης εφαρμογής.

Εικόνα 4.1.21 Απεικόνιση της προστασίας των φυτών από την χαλαζόπτωση μέσω του δικτυού σκίασης.

Εικόνα 4.1.22 Άνω όψη των φυτών γένους *Sideritissp.* που χρησιμοποιήθηκαν κατά την έκτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.23 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritissp.* που χρησιμοποιήθηκαν κατά την έκτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.24 Σύνολο των φυτών γένους *Thymus sp.* κατά την έκτη εφαρμογή.

Εικόνα 4.1.25 Φυτά γένους *Thymus sp.* κατά την πέμπτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 10 ppm (Cd10).

Εικόνα 4.1.26 Σύνολο των φυτών γένους *Sideritissp.* μετά το πέρας των εφαρμογών.

Εικόνα 4.1.27 Φυτά γένους *Sideritissp.* μετά το πέρας των εφαρμογών με συγκεντρώσεις καδμίου 1, 5, 10 και 20 ppm (Cd1, Cd5, Cd10 και Cd20).

Εικόνα 4.1.28 Φυτά γένους *Sideritissp.* μετά το πέρας των εφαρμογών με συγκεντρώσεις καδμίου 5 και 10 ppm (Cd5 και Cd10).

Εικόνα 4.1.29 Φυτά γένους *Thymussp.* μετά το πέρας των εφαρμογών.

Εικόνα 4.1.30 Εκρίζωση φυτών γένους *Sideritissp.* μετά το πέρας των εφαρμογών, με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).

Εικόνα 4.1.31 Εκρίζωση φυτών γένους *Sideritissp.* 2^{ης} επανάληψης, με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).

Εικόνα 4.1.32 Εκρίζωση φυτών γένους *Thymussp.* μετά το πέρας των εφαρμογών.

Εικόνα 4.1.33 Εκρίζωση φυτών γένους *Thymussp.* μετά τη 2^η επανάληψη, με συγκέντρωση καδμίου 0 ppm (μάρτυρας).

Εικόνα 4.1.34 Εκρίζωση φυτών γένους *Thymussp.* μετά τη 3^η επανάληψη, με συγκέντρωση καδμίου 0 ppm (μάρτυρας).

Εικόνα 4.1.35 Ζύγισμα φυτών μετά το πέρας των εφαρμογών.

Εικόνα 4.2.1 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritissp.* της 1^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.2.2 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritissp.* της 2^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.2.3 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritissp.* της 3^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.2.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ύψους φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritissp.* σε κάθε επανάληψη σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.3.1 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. της 1^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.3.2 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. της 2^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.3.3 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. της 3^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.3.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ύψους φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. σε κάθε επανάληψη σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Εικόνα 4.4.1 Απορρόφηση καδμίου (Cd) σε κάθε μεταχείριση στο φυτό *Thymus* sp.

Εικόνα 4.5.1 Απορρόφηση καδμίου (Cd) σε κάθε μεταχείριση στο φυτό *Sideritis* sp.

Ευχαριστίες

Για τη διεξαγωγή και ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας στα πλαίσια της Μεταπτυχιακής Ειδίκευσης στις Τεχνολογίες Παραγωγής και Διατροφική Αξία Φυτικών Προϊόντων θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους όσους βοήθησαν για να φέρω εις πέρας την παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Παντελή Μπαρούχα και το Εδαφολογικό Εργαστήριο της ΠΔΕ που διέθεσε χώρο και εξοπλισμό για την διεξαγωγή των πειραμάτων και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Ευχαριστώ επίσης και τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, κ. Σαλάχα Γ, Καθηγητή και Λιόπα-Τσακαλίδου Α., Αναπληρώτρια Καθηγήτρια.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην κ. Κυριακή Χριστοδουλοπούλου που βοήθησε στη διαλυτοποίηση των δειγμάτων.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους συναδέλφους μου για το ευχάριστο κλίμα συνεργασίας κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης του παρόντος Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξαν και με βοήθησαν να αντιμετωπίσω τα προβλήματα της καθημερινότητας και να φέρω εις πέρας την συγκεκριμένη εργασία.

Πάτρα, Αύγουστος 2020

Σάββας Βλάχος

1. Αρωματικά φυτά

1.1 Η ιστορία των αρωματικών φυτών

Η δυτική ιατρική μπορεί να εντοπιστεί στον Έλληνα γιατρό Ιπποκράτη, ο οποίος πίστευε ότι η ασθένεια είχε φυσικές αιτίες και χρησιμοποίησε διάφορες φυτικά φάρμακα στις θεραπείες του. Οι πρώτες ρωμαϊκές γραφές είχαν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της δυτικής ιατρικής, κατά κύριο λόγο στα έργα του Διοσκουρίδη και του Αβικέννα (Bruneton, 2001). Τα ποώδη φυτά αποτελούν αναπόσπαστο συστατικό της καθημερινής ζωής και του πολιτισμού σε όλο τον κόσμο για αιώνες, καθώς η χρήση τους εφαρμόζεται στα φαρμακευτικά και καλλυντικά προϊόντα, στο μαγείρεμα και τα τελευταία χρόνια, στην τεχνολογία τροφίμων ως αντιοξειδωτικά. Η ελληνική χλωρίδα παράγει πληθώρα γηγενών ποωδών φυτών με τις κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες να ευνοούν την καλλιέργεια των συγκεκριμένων φυτών (Stefanou et al., 2014).

Η έναρξη των φαρμακευτικών φυτών και της παραγωγής τους, ως συλλογή ή καλλιέργεια φυτικών υλικών, χάνεται σε όλη την ιστορία. Η προέλευση της παραδοσιακής φυτικής ιατρικής προηγείται όλων των υπαρχόντων αρχείων, και αυτή η αρχαία γνώση, σε διάφορα μέρη του κόσμου, είναι τεράστια.

Τα φυτά αυτά που διαθέτουν μοναδικά χημικά προφίλ και παρέχουν θεραπείες και γεύσεις σύντομα θα εκτιμηθούν ιδιαίτερα από τους ανθρώπους (Friedman & Adler, 2007). Αποτελούν πλέον την κύρια πηγή φαρμάκων, χρωστικών και συντηρητικών καθώς και καρυκευμάτων και άλλων προϊόντων. Τα φαρμακευτικά φυτά αντιπροσωπεύουν την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μορφή φαρμάκου. Τα περισσότερα φάρμακα, μέχρι και τον προηγούμενο αιώνα, προέρχονταν απευθείας από φυτικές ή ζωικές πηγές (Craker, Gardner, & Etter, 2003, Craker & Gardner, 2006).

Υπάρχει πληθώρα αρχαιολογικών αποδείξεων πως τα φάρμακα χρησιμοποιούνταν συχνά από τον άνθρωπο κατά τους προϊστορικούς χρόνους, που πίστευε ότι οι ασθένειες οφείλονταν στην παρουσία κακών πνευμάτων στο ανθρώπινο σώμα και η θεραπεία τους μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τη χρησιμοποίηση δηλητηριωδών ουσιών που καθιστούν το σώμα ένα άβολο αγγείο (Voliotis, 1998).

Σε πολλούς αρχαίους πολιτισμούς τα βοτανικά παρασκευάσματα ελήφθησαν για θεραπευτικούς και ψυχοθεραπευτικούς σκοπούς. Τα στοιχεία δείχνουν ότι οι θεραπευτές αυτών των πρώτων χρόνων γνώριζαν τη διασύνδεση νου-σώματος και τον σημαντικό ρόλο της χαλάρωσης του ασθενούς στην ιατρική θεραπεία (Adonasio & Fry, 1976; De Montellano, 1975; Sharon & Donnan, 1977).

Μία από τις παλαιότερες γραπτές ενδείξεις σχετικά με τη χρήση φαρμακευτικών φυτών βρέθηκε σε μια Σουμεριανή πήλινη πλάκα στην πόλη Ναγκκούρ, περίπου 5000 χρόνια πριν. Παρουσιάζει 12 συνταγές για παρασκευή φαρμάκων που περιλαμβάνουν πάνω από 250 διαφορετικά φυτά (Kelly, 2009).

Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι είχαν αναπτύξει εδώ και 6000 χρόνια, μια περίπλοκη και αποτελεσματική συλλογή φαρμακευτικών ουσιών που λαμβάνονται από φυσικούς πόρους. Ο Nunn (1996) δηλώνει: «Η πιο συνηθισμένη μορφή θεραπείας που συνιστάται στον ιατρικό πάπυρο ήταν η χρήση ναρκωτικών, που προέρχονται από ένα πολύ ευρύ φάσμα ζωικών, ορυκτών και φυτικών ουσιών και χορηγούνται με διάφορους τρόπους». Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι ήταν γνωστοί για την ικανότητά τους σε αυτό το θέμα. Τα φυτικά εκχυλίσματα παρασκευάστηκαν και παραλήφθηκαν εσωτερικά ή εφαρμόστηκαν τοπικά και χορηγήθηκαν με υποκαπνισμό ή εισπνοή ατμών. Οι Oakes και Gahlin (2003) επισημαίνουν ότι «Οι Αιγύπτιοι ήταν οι πρώτοι άνθρωποι που χρησιμοποίησαν μια σειρά ναρκωτικών που οι σύγχρονες μελέτες έχουν αποδειχθεί ότι θα ήταν ιατρικά αποτελεσματικά».

Ένα κινεζικό βιβλίο για τις ρίζες και τα χόρτα, "Pen T'Sao", που γράφτηκε από τον αυτοκράτορα Shen Nung περίπου το 2500 π.Χ. αναφέρει 365 φάρμακα που προέρχονται από αποξηραμένα μέρη φαρμακευτικών φυτών (Bottcher, 1965; Wiart, 2006).

Άλλες πρώιμες ανακαλύψεις φαρμακευτικών φυτών με μεγάλη χρησιμότητα συναντώνται στην Κίνα, την Ινδία και το Θιβέτ πριν από 1000 έως 2000 χρόνια. Ο ειδικός στα βότανα, ή ο «μάγος γιατρός» θεωρήθηκε ως πρόσωπο επιρροής σε αυτές τις κοινωνίες (Lao, 1999; Cai & Zhen, 2003; Badmaev, 1999; Steiner, 2003).

Πριν από περίπου 1000 χρόνια, οι θεραπευτές των Αζτέκων και των Μάγια Ινδικών πολιτισμών του Μεξικού και της Κεντρικής Αμερικής πειραματίστηκαν με φυσικές

θεραπευτικές ουσίες και εκμεταλλεύτηκαν τουλάχιστον 132 φαρμακευτικά βότανα για τη θεραπεία συγκεκριμένων παθήσεων (Evans, 2004; Berdan, 2005).

Ο Ιπποκράτης (460-370 π.Χ.), περίπου το 400 π.Χ., μας παρείχε μια λίστα με περισσότερα από 400 φάρμακα, συμπεριλαμβανομένων ουσιών βοτάνων και φαρμακευτικών φυτών, εκ των οποίων περίπου τα μισά χρησιμοποιούνται σήμερα. Η συστηματική παρατήρηση και έρευνα οδήγησαν τον Ιπποκράτη στο συμπέρασμα ότι τα βότανα συνδυάζουν απόλαυση με θεραπευτική αξία και έτσι εξέφρασαν την ακόλουθη άποψη: "Κάντε το φαγητό σας φάρμακο και φάρμακο το φαγητό σας." Ο Ιπποκράτης (460 π.Χ.), «πατέρας της ιατρικής», αναφέρει περίπου 400 φυτά στα βιβλία του, τα περισσότερα από τα οποία είναι φαρμακευτικά και αρωματικά.

Αποσπάσματα από τη Βίβλο και το ιερό εβραϊκό βιβλίο του Ταλμούδ αναφέρουν πως αρωματικά φυτά όπως μυρτιά και θυμίαμα χρησιμοποιούνταν ως μέρος μιας θεραπείας κατά τη διάρκεια διαφόρων τελετών (Dimitrova, 1999).

Τα ταξίδια του Marco Polo (1254-1324) στην Ασία, την Κίνα, την Περσία και την Αμερική (1492), καθώς και τα ταξίδια του Vasco De Gama στην Ινδία (1498) έφεραν πολλά άγνωστα φαρμακευτικά φυτά στην Ευρώπη. Βοτανικοί κήποι βλάστησαν σε όλη την ήπειρο και έγιναν προσπάθειες για την καλλιέργεια φυτών που εισήχθησαν από τον νέο κόσμο.

1.2 Φαρμακευτικά, αρωματικά φυτά και οι χρήσεις τους

Σήμερα, ο κόσμος αναπτύσσεται ραγδαία και τα δημογραφικά στοιχεία του πληθυσμού μεταβάλλονται ολοένα και περισσότερο. Συνεπώς, η χρήση φυσικών διαθέσιμων πόρων αποτελεί μια καινούρια πρόκληση και αποτελεί υψηλή προτεραιότητα η εφαρμογή τους σε περιοχές με ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες (Bogers, Craker, & Lange, 2006), όπως η Ελλάδα όπου τα αρωματικά φυτά αποτελούν έναν σημαντικό φυσικό πόρο (Lange, 2001; Mateescu, Paun, Popescu, Roata, & Sidoroff, 2014).

Τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και τη δημόσια υγεία. Από τα αρχαία χρόνια, τα συγκεκριμένα είδη φυτών είχαν πληθώρα εφαρμογών και

συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται φρέσκα, κατεψυγμένα ή ξηρά. Επιπλέον, μεταγγίστηκαν σε έλαια, εκχυλίσματα και αποστάγματα, αρχικά για τις βιομηχανίες τροφίμων καθώς και τις βιομηχανίες φαρμακευτικών και καλλυντικών (Miguel et al., 2004). Τα φυτά αυτά χρησιμοποιούνται από τους μελισσοκόμους για την παραγωγή μελιού, γύρης και κόλλας μελισσών την άνοιξη. Τα πιο εύγευστα είδη φυτών όπως μέντα, βάλσαμο λεμονιού, λεβάντα, χαμομήλι κ.λπ., καλλιεργούνται με συμβατικά ή βιώσιμα συστήματα διαχείρισης (Lawrence, 1985; Bown, 2001; Zuazo et al., 2008).

Τα αρωματικά φυτά μπορούν να χωριστούν στις κάτωθι ομάδες ανάλογα με τον τρόπο χρήσης τους:

- α) Ομάδα πρώτων υλών για την εξαγωγή αιθέριου ελαίου: μια σημαντική χρήση αυτών των φυτών.
- β) Ομάδα μαγειρικών μπαχαρικών: τα μη φυλλώδη μέρη χρησιμοποιούνται ως αρωματικά ή καρυκεύματα.
- γ) Ομάδα μαγειρικών βοτάνων: τα φυλλώδη ή μαλακά ανθισμένα μέρη χρησιμοποιούνται ως αρωματικά ή καρυκεύματα.
- δ) Φαρμακευτική ομάδα: η ανάπτυξη φυσικών ή ημι-συνθετικών φαρμάκων.
- ε) Διάφορες ομάδες: Οι χάρτες και τα εκχυλίσματά τους γίνονται συστατικά καλλυντικών, βαφών, αποσμητικών χώρου, απολυμαντικών, βοτανικών φυτοφαρμάκων, εντομοαπωθητικών, κ.λπ.

Τα φαρμακευτικά και αρωματικά φυτά μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να ενισχύσουν τα προς το ζην άμεσα μέσω της δημιουργίας εισοδήματος από το εμπόριό τους καθώς και της παροχής υγειονομικής περίθαλψης. Με τα ενισχυμένα μέσα διαβίωσης έρχεται μεγαλύτερη πρόσβαση σε ένα ευρύτερο φάσμα περιουσιακών στοιχείων και ικανότητα να ενσωματωθούν σε επιτυχημένες και βιώσιμες δραστηριότητες, μειώνοντας έτσι την ευπάθεια στη φτώχεια μακροπρόθεσμα.

1.3 Συμβολή στην αιεφόρο διαβίωση

Υπολογίζεται ότι 50.000 - 70.000 είδη ανώτερων φυτών - 1 στα 6 από όλα τα είδη - χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή και σύγχρονη ιατρική σε όλο τον κόσμο και πολλά άλλα είδη είναι σημαντικά για την αναπτυσσόμενη αγορά καλλυντικών και

άλλων προϊόντων με βάση τα φυτά, που αντιπροσωπεύουν μακράν τη μεγαλύτερη χρήση του φυσικού κόσμου ως προς τον αριθμό των ειδών (Leaman, 2008).

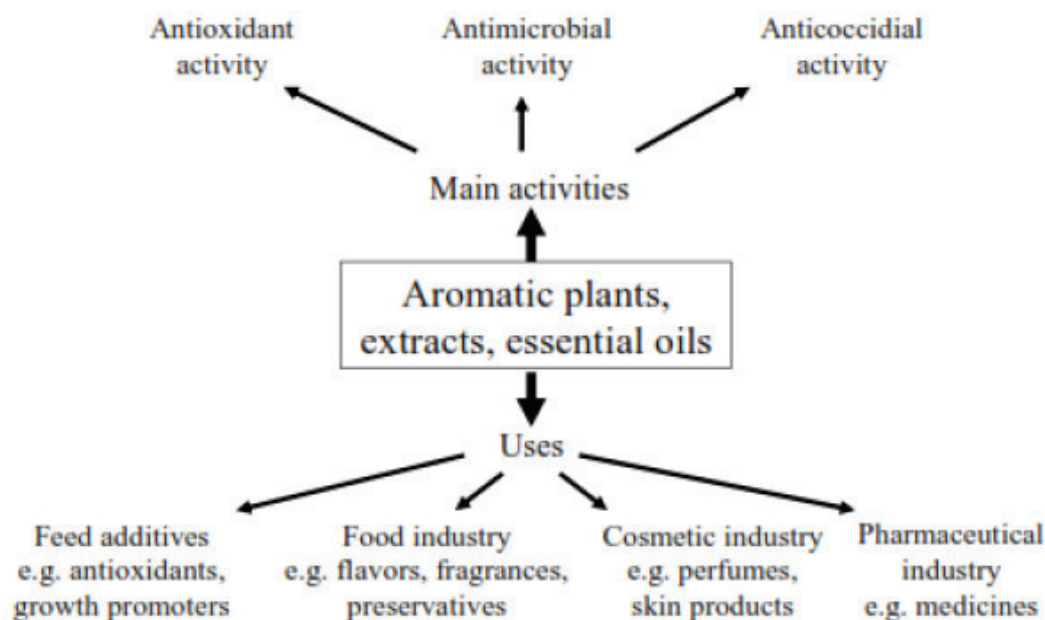
Σε πολλές αναπτυσσόμενες και μεταβατικές χώρες, τα συγκεκριμένα είδη συμβάλλουν σε σημαντικό βαθμό στην υγειονομική περίθαλψη, παρέχοντας το μόνο αποτελεσματικό φάρμακο σε σημαντικό τμήμα του πληθυσμού, όπου άλλες μορφές φαρμάκων δεν είναι διαθέσιμες ή η τιμή τους δεν είναι προσιτή. Ποσοστό ίσο με το 80% του πληθυσμού της Αφρικής και της Ασίας βασίζονται σε αυτά τα φυτικά φάρμακα για τις ανάγκες τους στην υγειονομική περίθαλψη και η ΠΟΥ (2008) έχει εκτιμήσει ότι τις επόμενες δεκαετίες ένα παρόμοιο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού μπορεί κάλλιστα να βασίζεται σε φάρμακα βασισμένα σε φυτά. Μεγάλο είναι και το ενδιαφέρον σχετικά με τη χρήση αρωματικών φυτών στη διατροφή των ζώων, με σκοπό την αντικατάσταση αντιβιοτικών (Greathead, 2003).

Πολλά αρωματικά φυτά προέρχονται από την περιοχή της Μεσογείου, είτε στην άγρια φύση είτε καλλιεργούνται (π.χ. δεντρολίβανο, ρίγανη, φασκόμηλο, θύμος αδένας, μέντα και σκόρδο) (Bampidis, Christodoulou, Christaki, Florou-Paneri, & Spais, 2005; Botsoglou et al., 2009; Christaki et al., 2012). Περιλαμβάνουν χημικές ουσίες όπως πολυφαινόλες, φλαβονοειδή, αλκαλοειδή, πολυπεπτίδια ή τα υποκατεστημένα με οξυγόνο παράγωγά τους (Perumalla & Hettiarachchy, 2011; Negi, 2012; Christaki et al., 2012). Αρκετές από αυτές τις ουσίες μπορούν να λειτουργούν συνεργιστικά, έτσι η βιοδραστικότητά τους ενισχύεται (Tiwari, 2008). Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις δείχνουν θεραπευτική αξία, όπως αντιοξειδωτικές και αντισηπτικές δραστηριότητες (Madsen & Bertelsen, 1995; Christaki et al., 2012). Τα αρωματικά φυτά συμβάλλουν στη μείωση της εμφάνισης καρκίνου ή καρδιαγγειακών παθήσεων (Duthie & Brown, 2004; Milner, 1994), ενώ μπορούν να βρουν εφαρμογή στη θεραπεία ή τη διαχείριση αναπνευστικών ασθενειών και στομαχικών ή φλεγμονωδών διαταραχών (Kadri et al., 2011; Christaki et al., 2012).

1.4 Αιθέρια Έλαια

Τα αρωματικά φυτά περιέχουν πτητικές, υδρόφοβες και πολύ συμπυκνωμένες ενώσεις, τα αιθέρια έλαια, τα οποία λαμβάνονται από διάφορα όργανα του φυτού όπως λουλούδια, μπουμπούκια, σπόροι, φύλλα, κλαδιά, φλοιός, ξύλο, φρούτα και

ρίζες (Brenes & Roura, 2010). Τα αιθέρια έλαια είναι πολύπλοκα μείγματα δευτερογενών μεταβολιτών που αποτελούνται από φαινυλοπροπένια και τερπένια χαμηλού σημείου βρασμού. Οι πιο σημαντικές οικογένειες είναι: Asteraceae, Lamiaceae ή Labiateae και Apiaceae (Christaki et al., 2012).



Εικόνα 1.4.1 Δραστηριότητες και χρήσεις των αρωματικών φυτών(Christaki*et al.*, 2012)

Οι πτητικές ενώσεις που περιέχονται στα έλαια μπορούν να αναλυθούν μέσω αέριας χρωματογραφίας και φασματομετρίας μάζας. Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν πολύτιμα μείγματα κυρίως τερπενοειδών όπως λιναλοόλη, γερανιόλη, μενθόλη, θουζανόλη, α-τερπινεόλη και ποικιλία αλειφατικών υδρογονανθράκων χαμηλού μοριακού βάρους όπως φαινόλες (θυμόλη, καρβακρόλη, ευγενόλη,) και αρωματικές αλδεΰδες (cinnamaldehyde, cuminal and phellendral) (Christaki et al., 2012).

Περισσότερα από 3000 φυτά χρησιμοποιούνται για τα αιθέρια έλαιά τους, εκ των οποίων περίπου 300 χρησιμοποιούνται στο εμπόριο ως γεύσεις και αρώματα (Van de Braak & Leijten, 1999). Ορισμένα είδη φαρμακευτικών και αρωματικών φυτών στην Ελλάδα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1.4.1**. Σύμφωνα με την **Εικόνα 1.4.2**, η βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιεί τα έλαια σε αναψυκτικά, είδη ζαχαροπλαστικής κ.λπ. και η βιομηχανία καλλυντικών τα περιλαμβάνει σε αρώματα, προϊόντα περιποίησης δέρματος και μαλλιών, αρωματοθεραπεία κ.λπ., ενώ η φαρμακευτική

βιομηχανία τα χρησιμοποιεί για τις λειτουργικές τους ιδιότητες (Christaki et al., 2012).

Πίνακας 1.4.1 Φαρμακευτικά και αρωματικά είδη φυτών στην Ελλάδα.

Scientific name	Autumn	Spring	Multiannual	Annual
<i>Sideritis sp.</i> (Figure 2)	x		x	
<i>Pimpinella anisum</i> (Figure 3)		x		x
<i>Origanum sp.</i> (Figure 4)	x	x	x	
<i>Origanum dictamnus</i> (Figure 5)	x	x	x	
<i>Crocus sp.</i> (Figure 6)		x	x	
<i>Hyssopus officinalis</i> (Figure 7)	x	x	x	
<i>Salvia sp.</i> (Figure 8)	x	x	x	
<i>Origanum majorana</i> (Figure 9)	x	x	x	
<i>Jasminum officinalis</i> (Figure 10)	x	x	x	
<i>Lavandula spica</i> (Figure 11)	x	x	x	
<i>Sinapis sp.</i> (Figure 12)		x		x
<i>Matricaria chamomila</i> (Figure 13)	x			x
<i>Hypericum perforatum</i> (Figure 14)		x	x	
<i>Urtica sp.</i> (Figure 15)		x	x	
<i>Aloysia citriodora</i> (Figure 16)		x	x	
<i>Crithmum maritimum</i> (Figure 17)		x	x	
<i>Mentha viridis</i> (Figure 18)	x	x	x	
<i>Coriandrum sativum</i> (Figure 19)		x		x
<i>Mentha sp.</i> (Figure 20)	x	x	x	
<i>Salvia sp.</i> (Figure 21)	x	x	x	
<i>Lepidium sp.</i> (Figure 22)	x	x		x
<i>Crocus sp.</i> (Figure 23)		x	x	
<i>Phacelia tanacetifolia</i> (Figure 24)		x		x
<i>Phoeniculum vulgare</i> (Figure 25)		x		x
<i>Rosmarinus officinalis</i> (Figure 26)	x	x	x	
<i>Thymus sp.</i> (Figure 27)	x	x	x	
<i>Glycyrrhiza glabra</i> (Figure 28)	x	x	x	
<i>Cuminum cyminum</i> (Figure 29)		x		x
<i>Ocimum basilicum</i> (Figure 30)		x		x

Πηγή: Διεύθυνση Γεωργικών Συστημάτων και Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών



Sideritis sp.



Pimpinella anisum



Origanum sp.



Salvia sp.



Origanum majorana



Jasminum officinale



Lavandula spica



Sinapis sp.



Matricaria chamomila



Crithmum maritimum



Mentha viridis



Coriandrum sativum



Rosmarinus officinalis



Thymus sp.



Glycyrrhiza glabra

Εικόνα 1.4.2. Αρωματικά φυτά.

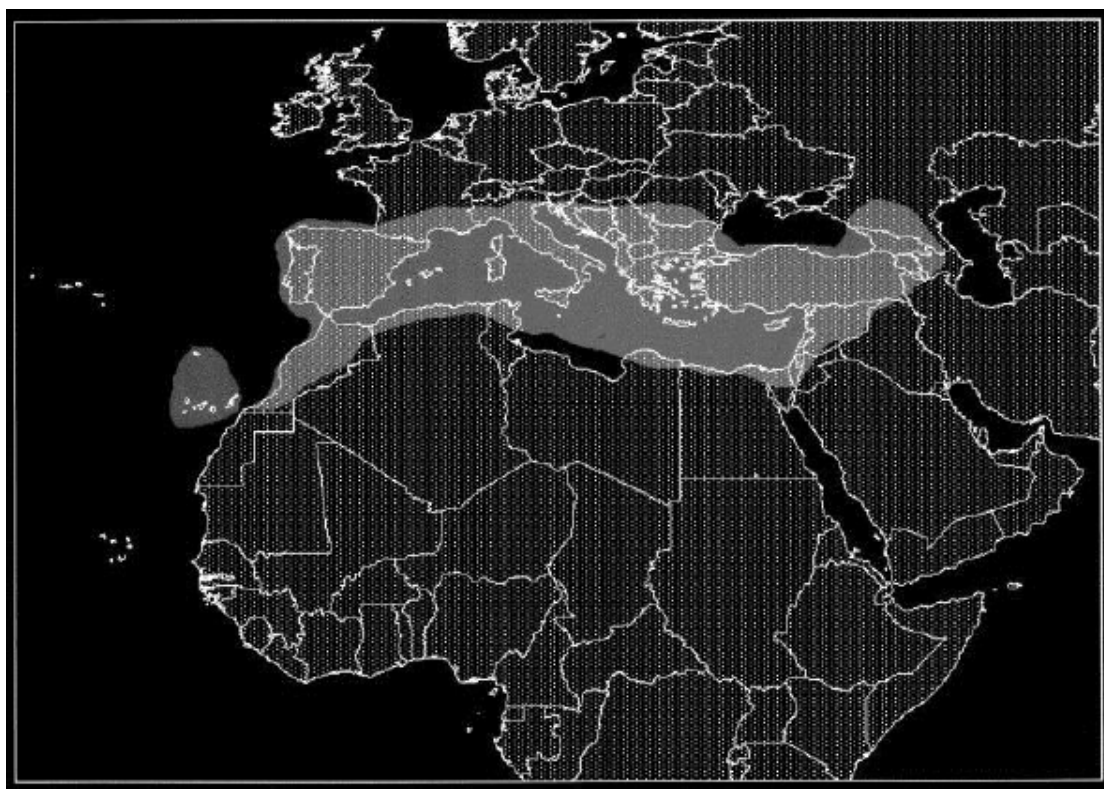
1.5 Γένος *Sideritis* «τσάι του βουνού»

Το τσάι του βουνού ανήκει στην οικογένεια των χειλανθών (*Lamiaceae*) και στο γένος *Sideritis*, το οποίο περιλαμβάνει περίπου 150 είδη, που βρίσκονται κυρίως στις παραμεσόγειες χώρες.



Εικόνα 1.5.1: Τσάι του βουνού.

Το επιστημονικό του όνομα είναι *Sideritis spp* και διανέμεται σε εύκρατες και τροπικές περιοχές του Βορείου Ημισφαιρίου, από τις Μπαχάμες έως τη Δυτική Κίνα και από τη Γερμανία έως το Μαρόκο. Τα περισσότερα είδη βρίσκονται κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου, από τα Κανάρια νησιά και τη Μαδέρα στον Καύκασο, την Ισπανία και την Τουρκία. Στην Ισπανία, τα περισσότεροι από αυτά είναι εγκατεστημένα στη Νοτιοανατολική Ιβηρική Χερσόνησο και στα Κανάρια νησιά, ενώ κυριαρχούν οι περιοχές του Μαρμαρά και του Αιγαίου στην Τουρκία (Güvencet.al., 2005; Aslanet.al., 2006). Η γεωγραφική εξάπλωση του γένος *Sideritis* απεικονίζεται στην **Εικόνα 1.5.2**.



Εικόνα 1.5.2. Γεωγραφική εξάπλωση του γένους *Sideritis* (Barber et al., 2002).

Το φυτό *Sideritis* είναι μονοετείς ή πολυετείς πόες αποξυλωμένες στη βάση και τριχωτές. Συνήθως είναι πολύ αρωματικές λόγω του περιεχομένου αιθέριου ελαίου. Τα φύλλα είναι οδοντωτά και τα άνθη είναι λευκά ή κίτρινα και συνήθως σχηματίζουν στάχυ. Ο κάλυκας είναι κωνοειδής με 10 νευρώσεις και 5 οδόντες διαταγμένους σε δύο χείλη. Το επάνω χείλος αποτελείται από δύο συμφυή πέταλα, ενώ το κάτω καταλήγει σε τρεις λοβούς, από τους οποίους ο μεσαίος είναι ο μεγαλύτερος. Οι στήμονες είναι τέσσερις και οι μπροστινοί δύο είναι μεγαλύτεροι σε μήκος από τους άλλους δύο. Ο στύλος καταλήγει σε δύο άνισα στίγματα. Η ωθήκη είναι δίχωρη, ενώ με ψευδή διαφράγματα γίνεται τετράχωρη. Οι καρποί είναι τέσσερα κάρυα που περικλείουν από ένα σπέρμα. Τα μέρη του φυτού *Sideritis* απεικονίζονται στην **Εικόνα 1.5.3**.



Εικόνα 1.5.3: Μέρη του φυτού *Sideritis*.

Σύμφωνα με τον Dimopoulos et al. (2013) στην Ελλάδα απαντώνται 16 είδη που ανήκουν σε 12 είδη του γένους:

- ✿ *Sideritis albiflora* Hub.- Mor. (Ανατολική Μεσόγειο)
- ✿ *Sideritis clandestina* (Bory & Chaub.) Hayek subsp. *clandestina* (Ενδημικότητα Ελλάδας)
- ✿ *Sideritis clandestina* (Bory & Chaub.) Hayek subsp. *peloponnesiaca* (Boiss & Heldr.) Baden in Strid & Tan (Ενδημικότητα Ελλάδας)
- ✿ *Sideritis curvidens* Stapf (Ανατολική Μεσόγειο)
- ✿ *Sideritis euboea* Heldr. (Ενδημικό της Ελλάδας)
- ✿ *Sideritis lanata* L. (Βαλκάνια – Ανατολία)
- ✿ *Sideritis montana* L. subsp. *montana* (Μεσόγειο - Νοτιοδυτική Ασία)
- ✿ *Sideritis montana* subsp. *remota* (d'Urv) P. W. Ball (Μεσόγειο - Νοτιοδυτική Ασία)

- ✿ *Sideritis perfoliata* L. subsp. *athoa* (Papan. & Kokkini) Baden in Strid & Tan (Βαλκάνια - Ανατολία)
- ✿ *Sideritis perfoliata* L. subsp. *perfoliata* (Ανατολική Μεσόγειο)
- ✿ *Sideritis purpurea* Talbot ex Benth (Βαλκάνια)
- ✿ *Sideritis raeseri* Boiss. & Heldr. in Boiss. subsp. *attica* (Heldr.) Papan. & Kokkini (Ενδημικότητα Ελλάδας)
- ✿ *Sideritis raeseri* Boiss. & Heldr. in Boiss subsp. *raeseri* (Βαλκάνια)
- ✿ *Sideritis scardica* Griseb. (Βαλκάνια)
- ✿ *Sideritis sipylea* Boiss. (Ανατολική Μεσόγειο)
- ✿ *Sideritis syriaca* L. subsp. *syriaca* (Ενδημικότητα Ελλάδας)

Το γένος όνομα *Sideritis* L., προέρχεται από την ελληνική λέξη «Sideros» (σίδηρος) σε σχέση με τη χρήση που δίνεται για αυτά τα φυτά από τους αρχαίους χρόνους για να θεραπεύσει πληγές που προκλήθηκαν από όπλα που έγιναν με αυτό μέταλλο. Εκτός από αυτήν την ιδιότητα τα είδη *Sideritis* έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως εδώ και αιώνες για αντιφλεγμονώδεις και αντιμικροβιακές ιδιότητες καθώς και για θεραπεία του έλκους και του πεπτικού συστήματος (González-Burgo et al., 2009).

Ο Font Quer επεσήμανε στο βιβλίο του «El To Dioscórides renovado μια αξιοσημείωτη χρήση για το *Sideritis angustifolia* (cuadega) στην κτηνιατρική στο πρώτο μισό του XX αιώνα (Font Quer, 2000).

Παράλληλα με την παραδοσιακή του χρήση αναφέρθηκε εκτενώς η σημασία αυτού του γένους στον τύπο των διαταραχών για τις οποίες χρησιμοποιούνται παρασκευάσματα: γαστρίτιδα, γαστρικό έλκος, φλεγμονή των βλεννογόνων, εγκαύματα και πληγές, μεταξύ άλλων. Για τους σκοπούς αυτούς, παρασκευάζονται εγχύσεις και αφεψήματα και χορηγούνται τόσο από το στόμα όσο και από τοπικά ως κομπρέσες. Επιπλέον, μερικές ενώσεις που απομονώθηκαν από το *Sideritis* spp. έχουν δείξει αναστολή του πολλαπλασιασμού του HIV ή αντιεπιληπτικές ιδιότητες (González-Burgo et al., 2009).

Τις τελευταίες δεκαετίες μια βαθιά έρευνα για αυτό το γένος, κυρίως σχετικά με τις βοτανικές, φυτοχημικές και φαρμακολογικές πτυχές τους έλαβε χώρα. Λόγω της μεταβλητότητας στη θεματολογία των μελετών και την επέκταση αυτού του γένους, ο

σκοπός αυτής της αναθεώρησης είναι να συνοψιστούν οι διαθέσιμες πληροφορίες προς διευκόλυνση και καθοδήγηση μελλοντικών ερευνών.

1.6 *Thymus sp.*

Το *Thymus* genus, το οποίο απεικονίζεται στην **Εικόνα 1.6.1**, είναι μια από τις πιο ταξινομικά σύνθετες γενιές στην οικογένεια *Lamiaceae* και περιλαμβάνει 250–350 είδη και ποικιλίες άγριων αναπτυσσόμενων αειθαλών πολυετών φυτών, που προέρχονται από τη Νότια Ευρώπη, τη Βόρεια Αφρική και την Ασία (Morales, 2002; Lawrence and Tucker, 2002). Επιπλέον, έχει αναφερθεί η παρουσία αρκετών χημειούπων, σύμφωνα με τα προφίλ αιθέριου ελαίου που σχετίζονται με διάφορα είδη (Senatore, 1996).



Εικόνα 1.6.1 Θυμάρι.

Το θυμάρι είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο φαρμακευτικό φυτό. Στους αρχαίους χρόνους χρησιμοποιήθηκε από τους Αιγύπτιους και έπειτα από τους Έλληνες και τους Ρωμαίους για τις θεραπευτικές τους ανάγκες (Barros et al., 2010). Το θυμάρι

χρησιμοποιείται για τις σπασμολυτικές και αντισηπτικές του ιδιότητες και οι εγχύσεις χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία ελκών, δερματίτιδας και ρευματικών πόνων (Zarzuelo & Crespo, 2002; Mulas, 2006). Όλες οι προαναφερθείσες δραστηριότητες μπορούν να αποδοθούν στη σημαντική παρουσία παραγώγων πολυφαινόλης (Vila, 2002) σε εκχυλίσματα θυμαριού.

Το αιθέριο έλαιο του *Thymus sp.* δείχνει ένα ευρύ φάσμα βιολογικών δραστηριοτήτων, όπως η εφαρμογή του ως συντηρητικό τροφίμων (Bagamboula et al., 2004; Omidbeygi et al., 2007; Solomakos et al., 2008; Nedorostova et al., 2009) ως αντιοξειδωτικό (Bozin et al., 2006), και ως πρόσθετο για την ενίσχυση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Viuda-Martos et al., 2009). Τα αιθέρια έλαια θυμαριού, από χημική άποψη, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποσότητα μονοτερπενίων, τα οποία αντιστοιχούν κανονικά στο 90% του ελαίου. Η θυμόλη και η καρβακρόλη εμφανίζονται συχνότερα, ενώ τα τέσσερα μονοτερπένια συσχετίζονται στενά βιογενετικά (Poulose and Croteau, 1978a, 1978b). Επίσης, υπάρχουν συχνά λιναλοόλη, βορνεόλη, 1,8-κινεόλη σε μικρότερο ποσό (Stahl-Biskup, 2002, 2004).

Το *thymuscapitatus* (L) είναι ένα μεσογειακό ενδημικό φυτό που χρησιμοποιείται συνήθως ως καρύκευμα σε τυπική μεσογειακή κουζίνα στην Πορτογαλία, την Ισπανία, την Ιταλία, την Κύπρο και την Ελλάδα (Facciola, 1990). Τα φύλλα τρώγονται ωμά σε σαλάτες ή προστίθενται ως αρωματικά σε μαγειρεμένα τρόφιμα και χρησιμοποιούνται επίσης για την παρασκευή αρωματικού τσαγιού. Η παραδοσιακή χρήση αυτού του φυτού ως συντηρητικό τροφίμων έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά στο κρέας και τα ψάρια (Mohammed et al., 2010) και θα μπορούσε να εξηγηθεί από τις αντιμικροβιακές, αντιμυκητιακές και αντιοξειδωτικές του ιδιότητες (Blanco et al., 2010; Faleiro et al., 2005; Albano et al., 2012). Το αιθέριο έλαιο από που ονομάζεται «ισπανική ρίγανη», χρησιμοποιείται για τα αρωματικά αρτοσκευάσματα, τα καρυκεύματα, τα ποτά και τα παγωτά, σε αρώματα και σαπούνια, ως στοματικό πλύσιμο, καθώς και στην αρωματοθεραπεία, διότι είναι ιδιαίτερα ερεθιστικό για τους βλεννογόνους. Το αρωματικό έλαιο του *T. capitatus* έχει αποδειχθεί ότι έχει αντισπασμωδικές, αντιφλεγμονώδεις, παρασιτοκτόνες, αντιμυκητιασικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες (Palmeira-de Oliveira et al., 2013 Saoud et al., 2013). Αρκετές εργασίες έχουν δημοσιευτεί σχετικά με τη χημική σύνθεση του αιθέριου ελαίου του *T. capitatus* (Yvon et al., 2012; Ballester-Costa et

al., 2013; Chedia et al., 2013). Είναι πολύ πλούσιο σε τερπένια θυμόλη και καρβακρόλη.

1.7 Σημασία των φαρμακευτικών και αρωματικών φυτών και της αειφόρου γεωργίας στην Ελλάδα

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας, η γεωμορφολογία της, η παρουσία χλωρίδας παλαιότερων γεωλογικών εποχών και η συνύπαρξη και αλληλεπίδραση βιοτικών και μη βιοτικών παραγόντων έχουν ορίσει την Ελλάδα ως χώρα υψηλής ποικιλομορφίας και ενδημίας των φυτών (Martinose et al., 2015). Αυτή η τεράστια ποικιλομορφία αντικατοπτρίζεται επίσης στα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά καθώς η Ελλάδα μεταδίδει μια μακρά εθνοφαρμακολογική παράδοση (Kantsa et al., 2015), εν μέρει λόγω του διαφορετικού τοπίου και των πολυάριθμων ορεινών και νησιωτικών συστημάτων. Τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ελληνική αγροτική οικονομία και να επιφέρουν αλλαγές στον εθνικό αγροδιατροφικό τομέα ο οποίος αποτελεί έναν αναπτυσσόμενο τομέα. Το 2013, τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά κατέλαβαν έκταση μόλις 0,04% της καλλιεργήσιμης γης της χώρας.

Σήμερα οι ανάγκες τόσο των παραγωγών όσο και των καταναλωτών αλλάζουν δυναμικά. Η κοινή γεωργική πολιτική (ΚΓΠ) διαδραμάτισε και ουσιαστικό ρόλο στην επιλογή των καλλιεργειών τις τελευταίες δεκαετίες στην Ελλάδα. Οι εξελίξεις στην ΚΓΠ κατά την περίοδο 2007-2013 επηρέασαν έμμεσα τον πολιτισμό και την παραγωγή αρωματικών φυτών στην Ελλάδα. Οι δύο πιο σημαντικές εξελίξεις ήταν η πολιτική απελευθέρωσης (αποσύνδεση) των επιδοτήσεων από την παραγωγή και η μετατροπή τους σε επιδοτήσεις περιοχής βάσει της ιστορικής παραγωγής. Ως αποτέλεσμα, ένας κρίσιμος αριθμός αγροτών μετατοπίστηκε σε καλλιεργημένα βότανα ή όσπρια ή ακόμη και σε μη γεωργικές δραστηριότητες όπως ο αγροτικός τουρισμός και η παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η παγκόσμια οικονομική κρίση, που ξεκίνησε το 2008, επηρέασε την καλλιέργεια με διαφορετικούς τρόπους. Μία από τις επιπτώσεις που είχε ήταν η δραματική αύξηση του ποσοστού ανεργίας ειδικά για άτομα ηλικίας από 15 έως 25 ετών σε ποσοστό 65% και η επακόλουθη μετατόπιση πολλών νέων στον αγροτικό τομέα αλλά και σε μη συμβατικές καλλιέργειες. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες φαίνεται να

διευκολύνουν κατά κάποιο τρόπο μια αλλαγή στην ελληνική επιλογή καλλιέργειας στην οποία τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά πρέπει να αντικατοπτρίζουν ένα σημαντικό μέρος για τους ακόλουθους λόγους:

1) Η κατανομή γης στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από μικρούς αριθμούς και οι εκμεταλλεύσεις που κυμαίνονται από 2 έως 4,9 εκτάρια αντιπροσώπευαν το εντυπωσιακό 75% της γεωργικής γης που χρησιμοποιήθηκε το 2010 (Eurostat, 2015). Με την καλλιέργεια αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών, οι Έλληνες αγρότες μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να διατηρήσουν τα προς το ζην, χρησιμοποιώντας λίγα εκτάρια γης που διαφορετικά δεν θα συνέβαλλαν στο εισόδημά τους στην περίπτωση συμβατικών καλλιεργειών όπως ο καπνός ή το βαμβάκι.

2) Η ελληνική βιοποικιλότητα και οι μεσογειακές κλιματολογικές συνθήκες είναι δύο πολύ ευνοϊκοί παράγοντες στην παραγωγή αυτόχθονων αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών που θα προσφέρουν ένα ουσιαστικό ποιοτικό πλεονέκτημα στα ελληνικά φυτικά προϊόντα.

3) Όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά, φαίνεται να έχουν χαμηλή ζήτηση όσον αφορά την άρδευση και τη βιολογική τους καλλιέργεια σε σύγκριση με τις καλλιέργειες υψηλής συντήρησης. Στο νέο πλαίσιο προγραμματισμού που παρείχε σημαντικές δράσεις για την ανθεκτικότητα και την προσαρμογή στην αλλαγή του κλίματος, τα αρωματικά και φαρμακευτικά βότανα, η καλλιέργεια φυτών και δέντρων θα πρέπει να αντιμετωπίζουν σημαντικές ευκαιρίες ανάπτυξης.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθούν δύο κρίσιμα σημεία που θα έχουν μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη και τη χρήση τέτοιων καλλιεργειών:

1) Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται τώρα και στο μέλλον, θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό την κατάσταση παραγωγής των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν την εφαρμογή προγραμμάτων Έρευνας & Ανάπτυξης καθώς και την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών στην παραγωγή και την αυτοματοποίηση της παραγωγής. Οι συγκεκριμένες τεχνολογικές βελτιώσεις θα μπορούσαν να επηρεάσουν το κόστος παραγωγής, την ποιότητα του προϊόντος και να οδηγήσουν σε καινοτομία.

2) Οι κρατικές επιδοτήσεις και τα κίνητρα πρέπει να επικεντρωθούν εν μέρει στον τομέα του αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών όσον αφορά την προώθηση της καλλιέργειας, της καινοτομίας και της επεξεργασίας αυτών.

Επιπλέον, θα πρέπει να γίνεται προσπάθεια εκπαίδευσης παλαιών και μελλοντικών γενεών αγροτών, ώστε να συγχωνευθούν παλαιές παραδοσιακές τεχνικές καλλιέργειας με τα νέα ευρωπαϊκά φυτοϋγειονομικά πρότυπα μέσω της χρήσης καινοτόμων τεχνολογικών μέσων.

1.8 Φαρμακευτικά φυτά και μελλοντικές εφαρμογές

Η κυτταροτοξική ικανότητα των αιθέριων ελαίων μπορεί να τα οδηγήσει στη δημιουργία εξαιρετικά αντισηπτικών και αντιμικροβιακών μέσων για προσωπική χρήση, δηλαδή για τον καθαρισμό του αέρα, την προσωπική υγιεινή ή ακόμη και την εσωτερική χρήση μέσω της στοματικής κατανάλωσης και για εντομοκτόνο χρήση για τη διατήρηση των καλλιεργειών ή των αποθεμάτων τροφίμων (Bakkali et al., 2008).

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των αιθέριων ελαίων είναι το γεγονός ότι συνήθως στερούνται μακροπρόθεσμων γονιδιοτοξικών κινδύνων. Επιπλέον, μερικά από αυτά δείχνουν μια πολύ σαφή αντι-μεταλλαξιογόνο ικανότητα που θα μπορούσε κάλλιστα να συνδεθεί με μια αντικαρκινική δράση. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η δραστηριότητα των αιθέριων ελαίων ή ορισμένων συστατικών τους, όπως επίσης και ορισμένων πολυφαινόλων, είναι πολύ αποτελεσματική στη μείωση του τοπικού όγκου ή του πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων (Kachadourian & Day, 2006; Bakkali et al., 2008).

2. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Η εμφάνιση βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον προξενεί τεράστια ανησυχία εξαιτίας της τοξικότητάς τους σε πολλές μορφές ζωής. Σε αντίθεση με τους οργανικούς ρύπους, η περισσότεροι εκ των οποίων οδηγούνται σε βιολογική αποικοδόμηση, τα βαρέα μέταλλα δεν αποικοδομούνται σε ακίνδυνα τελικά προϊόντα με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται σε ζώντες οργανισμούς και να προκαλούν διάφορες ασθένειες και διαταραχές (Bailey et al., 1999; Cheung et al., 2001). Συνεπώς, η εξάλειψη των βαρέων μετάλλων από το νερό και τα λύματα είναι σημαντική για την προστασία της δημόσιας υγείας. Μόλυνση από βαρέα μέταλλα μπορεί να βρεθεί σε υδατικά ρεύματα αποβλήτων από βιομηχανίες ή εγκαταστάσεις μεταλλικών επιμεταλλώσεων, εργασίες εξόρυξης και βυρσοδεψεία. Τα πιο σημαντικά μέταλλα που σχετίζονται με τις συγκεκριμένες δραστηριότητες είναι το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr) και ο υδράργυρος (Hg) (Bailey et al., 1999).

Η συνεχής ανάπτυξη της κοινωνικής οικονομίας έχει σαν συνέπεια την απώλεια ενέργειας και τη μόλυνση του εδάφους από βαρέα μέταλλα από βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες, όπως η εφαρμογή λιπασμάτων, ασβέστη, κοπριάς, λάσπης λυμάτων και κομπόστ (Zhou et al., 2016). Στην Κίνα, το Cd αποτελεί σοβαρή απειλή για την ασφάλεια των καλλιεργειών και της παραγωγής τροφίμων σε έκταση ίση τουλάχιστον με το ένα πέμπτο της γεωργικής γης (Fan et al., 2013).

Το κάδμιο (Cd) αποτελεί ένα δυνητικά επιβλαβές βαρύ μέταλλο το οποίο μπορεί να εμφανίσει τοξικότητα στα φυτά ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις ($0,5 \mu\text{g Cd g}^{-1}$ εδάφους). Τα τελευταία χρόνια, το περιεχόμενο βαρέων μετάλλων σε φαρμακευτικά φυτά έχει προσελκύσει την παγκόσμια προσοχή, επειδή αυτά τα στοιχεία εισέρχονται συνήθως στην τροφική αλυσίδα μέσω φυτών και σταδιακά περνούν στους τελικούς καταναλωτές, με αποτέλεσμα την πρόκληση μεγάλου αριθμού προβλημάτων υγείας. Η συσσώρευση καδμίου στα εδάφη είναι δυνατόν να προκαλέσει την υποβάθμιση των εδαφών και να μειώσει την απόδοση των φαρμακευτικών φυτών, με μακροπρόθεσμους κινδύνους για τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία (Chary et al., 2008).

2.1 Κάδμιο

Το κάδμιο χρησιμοποιείται ευρέως και εμφανίζει υψηλή τοξικότητα σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις. Συγκαταλέγεται στα κύρια βαρέα μέταλλα τα οποία είναι υπεύθυνα για την πρόκληση βλάβης στα νεφρά, την υψηλή αρτηριακή πίεση, την καταστροφή των ερυθρών αιμοσφαιρίων και τα κατάγματα των οστών. Τα τοξικά στοιχεία που απορρίπτονται στα λύματα είναι δυνατόν να απορροφηθούν και να συσσωρευτούν από μικροοργανισμούς, με αποτέλεσμα το τοξικό στοιχείο να μεταφέρεται στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας. Τα ανθρώπινα όντα έχουν αναφέρει ναυτία και έμετο σε επίπεδο 15 mg / L καδμίου, χωρίς ανεπιθύμητες ενέργειες στα 0,05 mg / L (Dezuane 1990).

Η επεξεργασία του μολυσμένου με κάδμιο νερού είναι παρόμοια με εκείνη πολλών μολυσμένων με μέταλλο λυμάτων. Για την επεξεργασία των μολυσμένων με μέταλλο λυμάτων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως καταβύθιση, ανταλλαγή ιόντων, προσρόφηση κ.λπ., αλλά η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας βασίζεται στη συγκέντρωση των αποβλήτων και στο κόστος επεξεργασίας (Dezuane, 1990; Peternele et al. 1999, Cheung et al., 2001, Ajmal et al., 2003). Τα τελευταία χρόνια, η προσρόφηση έχει αποδειχθεί ότι είναι μια οικονομικά εφικτή εναλλακτική μέθοδος για την απομάκρυνση ιχνοστοιχείων από λύματα νερού και νερού (Allen & Brown, 1995; Gabaldon et al., 1996; Mahvi et al., 2004).

2.2 Απορρόφηση βαρέων μετάλλων από τα φυτά

Τα φυτά λαμβάνουν βασικά και μη απαραίτητα στοιχεία από τα εδάφη μέσω επιλεκτικής πρόσληψης ιόντων από τις ρίζες ή με διάχυση στοιχείων στο έδαφος. Το επίπεδο της συσσώρευσης στοιχείων διαφέρει μεταξύ των ειδών (McGrath et al., 2002). Ο Baker (1981) πρότεινε ότι τα φυτά θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

(1) αποκλειστές: αυτοί που αναπτύσσονται σε μολυσμένο με μέταλλο έδαφος και διατηρούν τη συγκέντρωση βλαστών σε χαμηλό επίπεδο έως μία κρίσιμη τιμή του εδάφους πάνω από την οποία πραγματοποιείται απεριόριστη μεταφορά μεταξύ ρίζας και βλαστών,

(2) συσσωρευτές: εκείνοι που συγκεντρώνουν μέταλλα στο εναέριο μέρος και

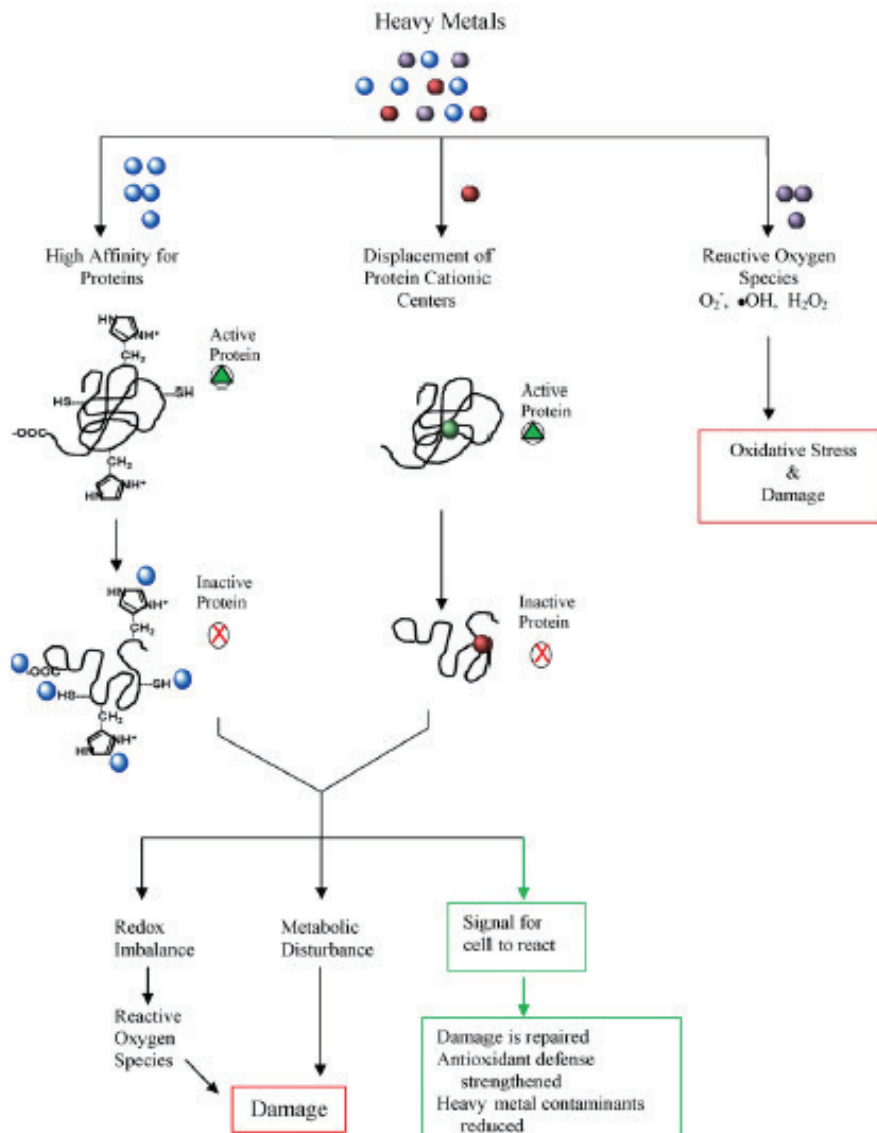
(3) δείκτες: όπου η πρόσληψη και η μεταφορά μετάλλων στο βλαστό ρυθμίζονται έτσι ώστε η εσωτερική συγκέντρωση να αντανακλά τα εξωτερικά επίπεδα, τουλάχιστον μέχρι να εμφανιστεί τοξικότητα.

Ένας αριθμός βιοχημικών αντιδράσεων συμβαίνει σε φυτά που στρεσάρονται από βαρέα μέταλλα. Οι περισσότερες από αυτές τις αντιδράσεις προκαλούνται από τη μετατόπιση των κατιονικών κέντρων πρωτεΐνης ή την αύξηση των αντιδραστικών ειδών οξυγόνου, όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 2.2.1**. Αυτά τα φυτά με καλύτερη ικανότητα προσαρμογής στις επιδράσεις τοξικότητας είναι σε θέση να επιβιώσουν σε τόπους επηρεασμένους από βαρέα μέταλλα/μεταλλοειδή και είναι καλύτεροι υποψήφιοι για φυτοθεραπευτικούς σκοπούς.

Τα φυτά που συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στα φύλλα τους ονομάζονται υπερσυσσωρευτές. Αυτός ο όρος επινοήθηκε από τους Baker και Brooks (1989) για να ορίσουν φυτά που περιέχουν περισσότερα από 1000 mg g^{-1} νικελίου σε ξηρά φύλλα. Φυτά που συσσωρεύουν περισσότερο από $100 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ (0,01%) ή περισσότερο από $500 \text{ mg Cr kg}^{-1}$ (0,05%) σε ξηρά φύλλα ιστών μπορούν να θεωρηθούν υπερσυσσωρευτές (Baker et al., 2000). Σε μια πρόσφατη κριτική, οι Gardea-Torresdey et al. (2005) συνόψισαν την οικογένεια υπερσυσσωρευτών Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb και Zn που ταυτοποιήθηκαν από το 1997 έως το 2004.

Έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία πως ορισμένα από τα άγρια φυτά θεωρούνται πιθανοί υπερσυσσωρευτές, όπως για παράδειγμα τα είδη *Prosopis* sp. και *Salsola Kali* (de la Rosa et al., 2004), τα οποία θεωρούνται πιθανοί υπερσυσσωρευτές Pb και Cd, αντίστοιχα, ενώ είναι βρώσιμα από τους ανθρώπους ή / και τα ζώα. Επιπλέον, σε χώρες με υψηλή ζήτηση για τρόφιμα, μολυσμένη καλλιεργήσιμη γη χρησιμοποιείται για καλλιέργειες όπως το ρύζι (Yu et al., 2006), τα δημητριακά και οι πατάτες (Duka et al., 1996). Στην μελέτη τους οι Akoumianakis et al. (2019) διερεύνησαν την επίδραση του Cd στο είδος *Hyssop* (*Hyssopus officinalis* L.) και διαπίστωσαν ότι τα φυτά *Hyssop* δεν παρουσίασαν συμπτώματα τοξικότητας με εφαρμογή Cd έως 5 mg Cd L^{-1} . Το ύψος του φυτού *Hyssop* δεν επηρεάστηκε από το Cd, ενώ η πρόσληψη καδμίου από τα εναέρια όργανα (βλαστοί) και τα υπόγεια όργανα (ρίζες) αυξήθηκαν με την εφαρμογή Cd.

Αν και οι μελέτες στη βιβλιογραφία σχετικά με τη συσσώρευση βαρέων μετάλλων/μεταλλοειδών στα φυτά και τους κινδύνους που αυτά τα στοιχεία θέτουν στον άνθρωπο και τα ζώα είναι άφθονες, ωστόσο δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τους βιοχημικούς μηχανισμούς μεταφοράς αυτών των στοιχείων σε πρωτογενείς και δευτερογενείς καταναλωτές.



Εικόνα 2.2.1 Τοξικότητα βαρέων μετάλλων στα φυτά. Οι μοβ σφαίρες υποδεικνύουν τα ενεργά μέταλλα οξειδοαναγωγής και το κόκκινο και το μπλε είναι ανενεργά μέταλλα οξειδοαναγωγής. Η πράσινη σφαίρα είναι ένα μεταλλικό κέντρο που μετατοπίζεται από ένα βαρύ μέταλλο (κόκκινο). Η συγγένεια για βαρέα μέταλλα θα αλλάξει τη δραστηριότητα της πρωτεΐνης και θα δημιουργήσει ανισορροπίες και

διαταραχές που θα οδηγήσουν σε μακρομοριακή βλάβη. Ωστόσο, το κελί μπορεί να προσαρμοστεί στα τοξικά μέταλλα και να σηματοδοτήσει αντίδραση για την πρόληψη βλάβης (Peralta-Videa et al., 2009).

2.3 Βιοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων

Τα βαρέα μέταλλα στο έδαφος προέρχονται από φυσικά συστατικά ή γεωλογικές πηγές καθώς και από ανθρώπινες δραστηριότητες ή ανθρωπογενείς πηγές. Ο χρόνος παραμονής των περισσότερων βαρέων μετάλλων στο έδαφος είναι αρκετά μεγάλος με αποτέλεσμα η υγεία των ανθρώπων να διατρέχει σοβαρούς κινδύνους από την κατανάλωση φυτών και λαχανικών που καλλιεργούνται σε εδάφη με αυξημένες συγκεντρώσεις μετάλλων. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι περίπου το ήμισυ της ανθρώπινης πρόσληψης μολύβδου είναι μέσω της τροφής, με περίπου το ήμισυ που προέρχεται από φυτά.

Το κάδμιο και ο μόλυβδος είναι τα στοιχεία που ανησυχούν περισσότερο την επιστημονική και ερευνητική κοινότητα λόγω της δυνατότητάς τους για τοξικότητα ή συσσώρευση σε φυτά και ζώα (Wolnik et al. 1983). Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (WHO 2001), ο μόλυβδος είναι ο πιο κοινός ρύπος βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον (Watanabe 1997) και μπορεί να είναι τοξικός για τους οργανισμούς ακόμη και όταν απορροφάται σε μικρές ποσότητες.

Αν και μέταλλα όπως ψευδάργυρος, ο χαλκός και το μαγγάνιο είναι βασικά ιχνοστοιχεία για φυτά και ζώα, μπορεί να είναι επικίνδυνα σε υψηλά επίπεδα έκθεσης. Για παράδειγμα, περιστατικά δηλητηρίασης με συμπτώματα γαστρεντερικής δυσφορίας, ναυτίας και διάρροιας έχουν αναφερθεί μετά από ένα ή μικρό χρονικό διάστημα έκθεσης σε συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στο νερό ή σε ποτά των 1000-2500 mg/L (WHO 2001). Υψηλές δόσεις ορισμένων μεταλλικών ενώσεων, της τάξης των αρκετών γραμμαρίων, μπορούν να προκαλέσουν χρόνια τοξικότητα ή καρκινογένεση ακόμα και θάνατο.

Ορισμένες καλλιέργειες όπως σπανάκι, μαρούλι, καρότο, ραπανάκι, κολοκύθια μπορούν να συσσωρεύσουν βαρέα μέταλλα, π.χ. Cd, Cu, Mn, Pb και Zn στους ιστούς τους (MullerandAnke 1994; Zhouet.al.2005). Γενικά, η πρόσληψη αυξάνεται σε φυτά

που καλλιεργούνται σε περιοχές με αυξημένη μόλυνση του εδάφους. Μεταξύ των μετάλλων, τα μέταλλα Cd και Zn απορροφώνται εύκολα από τα φυτά (Mench et al. 1994). Αντιθέτως, τα μέταλλα Cu και Pb απορροφώνται έντονα από σωματίδια του εδάφους μειώνοντας τη διαθεσιμότητά τους σε φυτά (WHO 2001). Επιπλέον, συνδέονται με βιολογικά ύλη, καθώς μπορούν να προσροφηθούν από ανθρακικό άλας μέταλλα και οξειδία του σιδήρου και του μαγγανίου.

Το κλάσμα των βαρέων μετάλλων που μπορεί είναι εύκολα να κινητοποιηθεί στο έδαφος και να προσληφθεί από τις ρίζες των φυτών θεωρείται το βιοδιαθέσιμο κλάσμα. Ο όρος «βιοδιαθεσιμότητα» έχει οριστεί ως ο βαθμός στον οποίο μια χημική ουσία μπορεί να απορροφηθεί από ένα ζωντανό οργανισμό (Kelley et al. 2002). Επομένως, συνολικές συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος δεν αντιστοιχούν απαραίτητα σε βιοδιαθεσιμότητα μετάλλων. Η βιοδιαθεσιμότητα των φυτών σε βαρέα μέταλλα εξαρτάται από έναν αριθμό φυσικών και χημικών παραγόντων στο έδαφος. Αυτά περιλαμβάνουν τις ιδιότητες του εδάφους, π.χ. pH, περιεχόμενο οργανικής ύλης, redox δυναμικό, ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC), περιεκτικότητα σε θειικό άλας, ανθρακικό, υδροξείδιο, άργιλο καθώς και την υφή του εδάφους (Reijnenburg και Jager 2003). Εκτός από τα παραπάνω, η απορρόφηση μετάλλων από τα φυτά επηρεάζεται και από τα χαρακτηριστικά των ίδιων των φυτών.

Για την εκτίμηση της βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων από μολυσμένο έδαφος σε φυτό καλλιέργειας, η επιλογή ενός εκχυλιστικού που προσομοιώνει το διαθέσιμο στοιχειακό κλάσμα στο φυτό είναι πολύ σημαντική. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, μεγάλος αριθμός εκχυλιστικών έχει χρησιμοποιηθεί για μονές εκχυλίσεις (McGrath 1996; Chojnacka et al. 2005) και διαδοχικές εκχυλίσεις (McGrath 1996; Mossop and Davidson 2003). Χρησιμοποιούνται κυρίως μεμονωμένες εκχυλίσεις για την αξιολόγηση του ανταλλάξιμου κλάσματος των στοιχείων στο έδαφος. Διαδοχικές εκχυλίσεις εφαρμόζονται συνήθως για την αξιολόγηση της μεταλλικής συσχέτισης με τα διάφορα συστατικά στερεάς φάσης στο ιζήματα (Sahuquillo et al. 2003).

Η χρήση του EDTA αποδείχθηκε πιο αξιόπιστη και συνεπής δοκιμή στην πρόβλεψη της συσσώρευσης μετάλλων σε φυτά σε σύγκριση με DTPA, NH_4NO_3 και CaCl_2 (Hooda 1997). Γενικά, υψηλότερα ποσοστά εξάγονται με EDTA σε σύγκριση με το DTPA. Περίπου το 63% του συνολικού Cd στο έδαφος εξήχθη από αυτό το μέσο (Mench et al. 1994). Ωστόσο, η ικανότητα των εκχυλιστικών να εκτιμήσουν τη

βιοδιαθεσιμότητα του μετάλλου στα φυτά εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο εκχυλιστικό, το μέταλλο ενδιαφέροντος, τα είδη του φυτού και το είδος του εδάφους. Συνεπώς, δεν είναι όλες οι μέθοδοι χρήσιμες για τη μελέτη όλων των βαρέων μετάλλων σε διαφορετικές συνθήκες εδάφους.

2.4 Απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από μολυσμένα εδάφη

Οι συμβατικές τεχνικές για την αποκατάσταση βαρέων μετάλλων από μολυσμένα εδάφη βασίζονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές μεθόδους, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό μεταξύ τους για την αποκατάσταση μολυσμένων περιοχών. Παρά την υψηλή απόδοση, οι περισσότερες από αυτές τις τεχνικές είναι δαπανηρές, έχουν υψηλή κατανάλωση ενέργειας και είναι καταστροφικές για το περιβάλλον (Khalid et al., 2017). Προκειμένου να μειωθεί η τοξικότητα του καδμίου στα φαρμακευτικά φυτά, έχουν εξεταστεί στη βιβλιογραφία τα κοινά φαρμακευτικά φυτά. Προτιμώνται τα εκκρίματα ρίζας, τα οποία σχετίζονται στενά με τις ρίζες των φυτών, επειδή μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη και την πρόσληψη μετάλλων από τα φυτά με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο (Zhou et al., 2016; Li et al., 2018). Τα εκκρίματα ρίζας είναι κυρίως φωτοσυνθετικά προϊόντα που μεταφέρονται από τη ρίζα και απελευθερώνονται στη ριζόσφαιρα (Walker et al., 2003).

Οι ρίζες των φυτών μπορούν να απελευθερώσουν μια ποικιλία ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων των υδατανθράκων, των οργανικών οξέων, αμινοξέων, λιπαρών οξέων, στερολών και βιταμινών (Carvalho et al., 2011; Lu et al., 2017). Αυτές οι ενώσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στην αντοχή στο φυτικό στρες και στην εξωτερική απομάκρυνση των ρύπων. Ένας μεγάλος αριθμός στοιχείων δείχνει ότι στα φυτά που δημιουργούνται χηλικά σύμπλοκα με μέταλλα (όπως Al, Cd, Zn, Fe και Cu) ρυθμίζουν ορισμένα οργανικά οξέα (συμπεριλαμβανομένων των αμινοξέων), εμποδίζοντας έτσι τη μεταφορά τους σε ανώτερους φυτικούς ιστούς. Είναι γνωστό ότι περίπου το 30-40% του φωτοσυνθετικού άνθρακα μεταφέρεται στη ριζόσφαιρα με τη μορφή εκκριμάτων ρίζας, συμπεριλαμβανομένων οργανικών οξέων, αμινοξέων, σακχάρων, πρωτεϊνών, φαινολικών ενώσεων και CO₂. Στο σύστημα εδάφους-φυτού, η αλληλεπίδραση μεταξύ οργανικών οξέων και μετάλλων έχει μεγάλη σημασία για τη διάλυση / συνδυασμό μετάλλων στις αδιάλυτες φάσεις του εδάφους.

Η κινητικότητα του καδμίου στο έδαφος επηρεάζεται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Το κάδμιο απορροφάται κατά προτίμηση στο έδαφος και δεν κινητοποιείται σημαντικά με την αποστράγγιση του εδάφους. Η αφθονία του Cd στο έδαφος μπορεί να επηρεαστεί από το pH του εδάφους, την υφή, τον συνολικό άνθρακα, τους παράγοντες διάβρωσης και την τοπογραφία.

Για να μειωθεί ο κίνδυνος καδμίου για την ανθρώπινη υγεία, έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μέθοδοι στη διαδικασία καλλιέργειας φυτών για την ελαχιστοποίηση της μεταφοράς καδμίου στα φυτά. Η χρήση αργίλου για την αποκατάσταση των μολυσμένων εδαφών του καδμίου μπορεί να αυξήσει την ακινησία στο έδαφος και να μειώσει την προσρόφηση του στο καστανό ρύζι (Li&Xu, 2017).

Η χρήση του κομπόστ σε σκόρδο, σπανάκι και μαρούλι ως αποτελεσματικά βελτιωτικά εδάφους έχει επίσης μελετηθεί για τη μείωση της προσρόφησης Cd από τα φυτά (Mamunet.al., 2016). Το λίπασμα φωσφόρου έχει χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της προσρόφησης καδμίου σε φυτά σίτου (Arshadet.al., 2016). Τα αποτελέσματα ήταν ότι η εφαρμογή του P συνέβαλε στη μείωση της συγκέντρωσης Cd στους βλαστούς σιταριού και στην αύξηση των χαρακτηριστικών ανταλλαγής αερίων και των αντιοξειδωτικών ενζύμων. Η εφαρμογή ασβεστόλιθου και biochar ήταν μια αποτελεσματική τροποποίηση για την αύξηση της ανάπτυξης των φυτών με χαμηλότερες συγκεντρώσεις Cd στα φυτά σίτου και ρυζιού (urRehmanet.al., 2017).

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Περιγραφή πειράματος

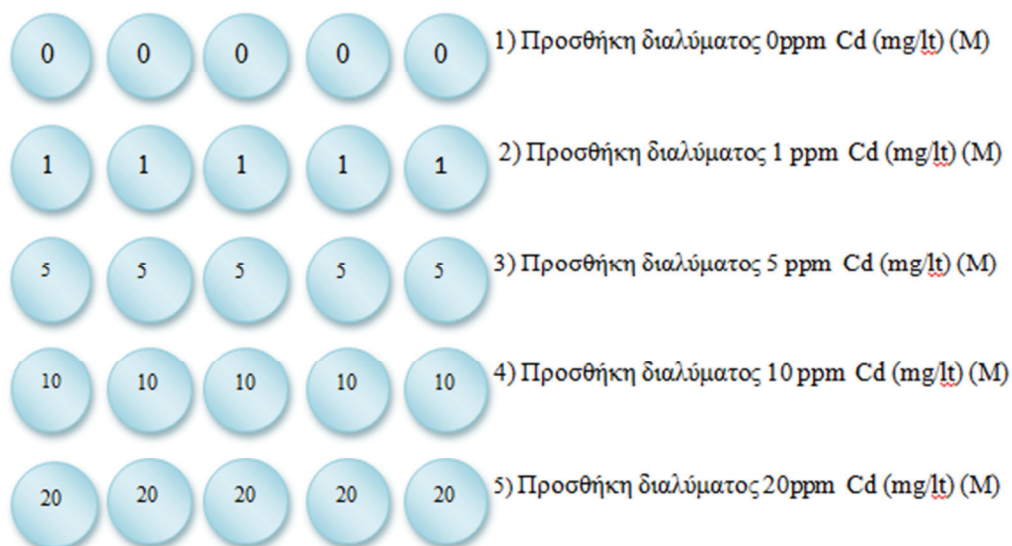
Για το σκοπό της παρούσας μελέτης ακολουθήθηκε πείραμα με παράγοντα το κάδμιο (Cd). Για κάθε παράγοντα έγιναν 5 μεταχειρίσεις 0 mgkg⁻¹ ή ppm, 1 mgkg⁻¹ ή ppm, 5 mgkg⁻¹ ή ppm, 10 mgkg⁻¹ ή ppm και 20 mgkg⁻¹ ή ppm. Για κάθε μεταχείριση πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις. Κάθε block μεταχείρισης περιείχε συνολικά 5 φυτά. Συνεπώς, για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 25 φυτά τσάι του βουνού επί 3 επαναλήψεις και 25 φυτά θυμάρι επί 3 επαναλήψεις.

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν προμηθεύτηκαν από το φυτώριο του Σταυρόπουλου Νικολάου με έδρα την Πάτρα. Τα φυτά ήταν εγκατεστημένα σε μαλακό γλαστράκι φυτωρίου με πάνω διάμετρο 15 εκ., κάτω διάμετρο 11,1 εκ., ύψος 13,5 εκ. και χωρητικότητα 1,55 λίτρα, εσωτερικά μαύρη και εξωτερικά κόκκινη. Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στις 12 Απριλίου το 2018 σε περιφραγμένο ιδιόκτητο αγρόκτημα στη Νέα Αβώρανη του Δήμου Αγρινίου. Τα δοχεία ήταν ατομικά και συνεπώς κάθε δοχείο περιείχε ένα φυτό. Πριν την εγκατάσταση των φυτών καλύψαμε το έδαφος με πισσόχαρτο για την αποφυγή ζιζανίων και απορροών, οι γλάστρες τοποθετήθηκαν πάνω σε φελιζόλ σε διαμορφωμένο χώρο σε τελάρα και παλέτες ανά εφαρμογή (έχουμε 15 φυτά ανά εφαρμογή σύνολο 75 φυτά με θυμάρι και 75 φυτά με τσάι), επίσης τοποθετήθηκε δίκτυ σκίασης 25% για προφύλαξη από τις καιρικές συνθήκες (χαλάζι, βροχόπτωση κ.τ.λ.).

3.2 Πειραματική διάταξη

Το στήσιμο της πειραματικής διάταξης στο θερμοκήπιο έγινε ως εξής: τοποθετήθηκαν συνολικά 25 φυτά τσάι του βουνού, 5 φυτά ανά μεταχείριση καδμίου (0 mgL⁻¹ ή ppm, 1 mgL⁻¹ ή ppm, 5 mgL⁻¹ ή ppm, 10 mgL⁻¹ ή ppm και 20 mgL⁻¹ ή ppm. Συνεπώς αναλογούν 5 φυτά για κάθε ένα block από τις 3 επαναλήψεις, όπως περιγράφεται στην **Εικόνα 3.2.1** Η εφαρμογή του καδμίου γίνονταν ανά μια εβδομάδα με ριζοποτίσματα. Η ημερομηνία έναρξης των εφαρμογών ήταν η 28/04/2018, όταν το ύψος των φυτών ήταν 11cm. Σε κάθε γλάστρα (pot) ο όγκος διαλύματος με το κάδμιο ήταν συνολικά 50 mL. Οι εφαρμογές γίνονταν μία φορά την

εβδομάδα για συνολικά 6 εβδομάδες ,ενώ ενδιάμεσα γίνονταν κανονικά ποτίσματα με ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθούν τυχόν απορροές. Συνεπώς, συνολικά σε κάθε γλάστρα εφαρμόστηκαν 300 mL και ανά μεταχείριση για τα 15 φυτά 4500 mL καδμίου. Στην **Εικόνα 3.2.2** παρουσιάζονται τα φυτά κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας.



Εικόνα 3.2.1 Εικοσιπέντε (25) γλάστρες τσάι του βουνού με προσθήκη καδμίου (Cd) σε πέντε (5) μεταχειρίσεις και τρεις (3) επαναλήψεις.



Εικόνα 3.2.2 Εφαρμογή βαρέων μετάλλων στα φυτά *Sideritis sp.*

Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για το θυμάρι. Στην **Εικόνα 3.2.3** φαίνονται τα φυτά που αναλογούν σε κάθε ένα block από τις 3 επαναλήψεις. Στην **Εικόνα 3.2.4** παρουσιάζονται τα φυτά κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας.



Εικόνα 3.2.3 Εικοσιπέντε (25) γλάστρες θυμάρι με προσθήκη καδμίου (Cd) σε πέντε (5) μεταχειρίσεις και τρεις (3) επαναλήψεις.



Εικόνα 3.2.2 Εφαρμογή βαρέων μετάλλων στα φυτά *Thymus sp.*

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή υδατοδιαλυτού κρυσταλλικού λιπάσματος 10 ημέρες μετά την φύτευση. Το λίπασμα ήταν NUTRI LEAF 60 (20-20-20) και περιείχε ολικό άζωτο (N) 20 % (Νιτρικό άζωτο 6%, Αμμωνιακό άζωτο 5,2% και Ουρία 8,8

%), διαθέσιμο φώσφορο (P) 20 % (P₂O₅) και διαλυτό κάλιο 20 % (K₂O). Επιπλέον, περιείχε ιχνοστοιχεία (Mg, B, Cu, Fe, Mn, Mo) σε χηλική μορφή EDTA, τα οποία ήταν πλήρως αφομοιώσιμα στην καλλιέργεια. Η δόση του λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν 5 gr σε 1 L νερού.

Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκαν δύο εφαρμογές με χηλικό σίδηρο. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις pH και στις περιπτώσεις που ήταν χαμηλό προστέθηκε κοκκώδες CaCO₃ (περίπου μία κουταλιά του γλυκού ανά φυτό). Έγιναν επίσης και

- ✓ δυο διασυστηματικοί ψεκασμοί στο τσάι με NEOTOΨIN 70WG (Δραστικές: thiophanate methyl 70% και β/ββοηθητικές ουσίες 26,3 %) σε δοσολογία 4 gr σε 1,5 L νερό για την καταπολέμηση του περονόσπορου που εμφανίστηκε,
- ✓ δυο διασυστηματικοί ψεκασμοί με εντομοκτόνο - CONFIDOR FORTE 200 SL (δραστική ουσία imidacloprid 20 %) για την αντιμετώπιση προσβολών από έντομα όπως μελίγκρες, αφίδες με αναλογία 1 cc ανά 1 lit νερό.

Οι εφαρμογές των ριζοποτισμάτων ολοκληρώθηκαν στις 02/06/2018. Από τις 02/06/2018 έως 2/07/2018 τα φυτά παρέμειναν στο χώρο του αγροκτήματος χωρίς καμία προσθήκη βαρέων μετάλλων. Στις 02/07/2018 συλλέχτηκαν για περαιτέρω επεξεργασία στο εδαφολογικό εργαστήριο στο παράρτημα του Πανεπιστημίου Πατρών, στην Αμαλιάδα. Στον **Πίνακα 3.2.1** παρουσιάζονται αναλυτικά οι ημερομηνίες και οι επεμβάσεις που έγιναν στα φυτά.

Πίνακα 3.2.1 Επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν στα φυτά.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΕΠΕΜΒΑΣΗ
	17/04/2018	Πότισμα φυτών με 300ml νερό
	20/04/2018	Πότισμα φυτών με 200ml νερό
	23/04/2018	Λίπανση 200 ml διάλυμα 20-20-20 (30gr λίπασμα σε 10litra νερό)
	26/04/2018	Πότισμα φυτών με 200ml νερό και ψεκασμός για τετράνυχο (1ml/lit)
1	28/04/2018	50ml διάλυμα κάδμιο και 50ml H ₂ O στο μάρτυρα και πότισμα με 200 ml νερό
	29/04/2018	Ασθενής βροχή
	30/04/2018	Πότισμα φυτών με 200ml νερό, στα φυτά τσαγιού ψεκασμός με μυκητοκτόνο χαλκο νεοτοξίν (1lit νερό 2 ,5 gr) και 1 ml/lit confidor
	4/05/2018	Πότισμα φυτών με 200ml νερό μετά από 4 ώρες ισχυρή βροχόπτωση.
2	05/05/2018	50ml διάλυμα κάδμιο και 50ml H ₂ O στο μάρτυρα, δεν έγινε πότισμα
3	12/05/2018	50ml διάλυμα κάδμιο και 50ml H ₂ O στο μάρτυρα και πότισμα με 200 ml νερό
	13/05/2018	Στα φυτά τσαγιού ψεκασμός με μυκητοκτόνο χαλκό νεοτοξίν 70WC (1lit νερό 2 ,5 gr) και 1 ml/lit confidor
4	19/05/2018	50ml διάλυμα κάδμιο και 50ml H ₂ O στο μάρτυρα, πότισμα με 200 ml νερό και λίπανση 200 ml διάλυμα 20-20-20 (30gr λίπασμα σε 10lt νερό)
	21/05/2018	Πότισμα φυτών θυμαριού με 200ml νερό
	23/05/2018	Πότισμα φυτών θυμαριού με 400ml νερό και 300ml στο τσάι
	25/05/2018	Ψεκασμός με διαφυλλικό σίδηρο 1gr/lit
5	26/05/2018	50ml διάλυμα κάδμιο και 50ml H ₂ O στο μάρτυρα, πότισμα με 200 ml νερό
	28/05/2018	Ριζοπότισμα στο τσάι 200ml διάλυμα νερού (2,5gr Fe/5 lt νερό).
	30/05/2018	Πότισμα φυτών θυμαριού με 400ml νερό και 250ml στο τσάι
	31/05/2018	Λίπανση με 100 ml ανα φυτό (5 gr κάλιο και 2,5 gr μαγνήσιο στα 10 lt νερό).
6	2/06/2018	50ml διάλυμα κάδμιο και 50ml H ₂ O στο μάρτυρα, πότισμα με 200 ml νερό
Για τις επόμενες 4 εβδομάδες ανά 3 ημέρες πότισμα των φυτών με 350ml νερό.		
Στις 2 Ιουλίου εκρίζωση των φυτών και οι απαραίτητες μετρήσεις.		

3.3 Υπόστρωμα

Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν μείγμα τύρφης και περλίτη σε αναλογία 1:1(v/v).

- ✓ Ο περλίτης είναι ένα φυσικό ορυκτό από ηφαιστειογενή πετρώματα, ελαφρύ υλικό με υψηλό πορώδες, και με την προσθήκη του στο υπόστρωμα αυξάνεται η συγκράτηση υγρασίας και επιτυγχάνεται ο άριστος αερισμός και στράγγιση Τα κύρια χαρακτηριστικά του περλίτη είναι η χημική του αδράνεια, το ουδέτερο pH του και η μεγάλη διάρκεια ζωής του, και
- ✓ η τύρφη είναι επίσης φυσικό υλικό αποδομημένης υδροχαρούς βλάστησης, ξανθού χρώματος, το οποίο διαθέτει ινώδη υφή και εξασφαλίζει καλή στράγγιση. Η ξανθιά τύρφη που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είχε pH 5-6, 50- 60 % περιεκτικότητα σε υγρασία και οργανική ουσία 85 % του βάρους.

Η ανάμειξη του περλίτη με την τύρφη συμβάλλει στην δημιουργία ιδανικής αναλογίας υποστρώματος με υδατοαπορροφητικότητα και ταυτόχρονα αερίζει τη ρίζα κάνοντας τα χώματα πιο αφράτα κατάλληλο για την ανάπτυξη φυλλωδών και αρωματικών φυτών σε γλάστρες.

3.4 Προετοιμασία διαλυμάτων

Τα διαλύματα με τα οποία πραγματοποιήθηκαν τα ριζοποτίσματα στις γλάστρες με τα φυτά κατά τη διεξαγωγή των συγκεκριμένων πειραμάτων, παρασκευάστηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας στο Τμήμα Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών, στην Αμαλιάδα.

Για τα διαλύματα καδμίου (Cd) παρασκευάστηκαν, όπως προαναφέρθηκε, πέντε διαλύματα των 0 mgLt⁻¹ ή ppm, 5 mgLt⁻¹ ή ppm, 10 mgLt⁻¹ ή ppm, 20 mgLt⁻¹ ή ppm και 40 mgLt⁻¹ ή ppm. Συγκεκριμένα, έγιναν 6 επαναλήψεις με κάδμιο :cd1 0,027gr, cd5 0,137gr, cd10 0,274gr και cd20 0,547gr και υπήρχε μια εφαρμογή μάρτυρας. Το κάδμιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν συγκεκριμένα οξειδίο του καδμίου (CdO). Τα διαλύματα που παρασκευάστηκαν απεικονίζονται στην **Εικόνα 3.4.1**.

Για την παρασκευή των διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι:

- Πλαστικές φιάλες του 1 L
- Ογκομετρική φιάλη του 1 L
- Πιπέτες των 5 ml, των 10 ml και των 20 ml
- Απιονισμένο νερό
- Ζυγαριά ακριβείας (0,0001) (OHAUS)

Ο τελικός όγκος των αρχικών διαλυμάτων Cd που παρασκευάστηκαν ήταν 1000 mg kg^{-1} τα οποία στη συνέχεια μεταφέρθηκαν σε πλαστικά δοχεία του 1 L και αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία 4°C στο ψυγείο. Στη συνέχεια από τα αρχικά αυτά διαλύματα παρασκευάστηκαν διαλύματα των 0 mg L^{-1} ή ppm, 5 mg L^{-1} ή ppm, 10 mg L^{-1} ή ppm, 20 mg L^{-1} ή ppm και 40 mg L^{-1} ή ppm καδμίου (Cd).



Εικόνα 3.4.1 Διαλύματα καδμίου που παρασκευάστηκαν.

3.5 Επεξεργασία και ανάλυση φυτικού υλικού

Η πρώτη εμφάνιση ταξιανθιών έλαβε χώρα περίπου 2 μήνες μετά την εγκατάσταση των φυτών. Μετά από το πέρας των οκτώ εβδομάδων και την ολοκλήρωση των ριζοποτισμάτων, τα φυτά μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας. Στις

02/07/2018 συλλέχθηκε το υπέργειο και το υπόγειο τμήμα των φυτών, τα οποία διαχωρίστηκαν σε φύλλωμα, ρίζες και χώμα. Έγινε προσεκτικός καθαρισμός των ριζών των φυτών από υπολείμματα εδάφους και ζυγίστηκαν τα νωπά βάρη του υπέργειου και του υπόγειου τμήματος των φυτών ξεχωριστά. Έπειτα τα φυτά ταξινομήθηκαν σύμφωνα με την πειραματική διάταξη και μεταφέρθηκαν σε ειδικές χάρτινες σακούλες. Στις 31/07/2020 μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα στους 40 °C για μια εβδομάδα έως ότου αποκτήσουν σταθερό βάρος. Τέλος, ζυγίστηκαν ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό βάρος κάθε δείγματος ξεχωριστά.

Τα φυτά βγήκαν από τον ξηραντήρα μετά από μια εβδομάδα και ξεκίνησε άμεσα η κονιορτοποίησή τους. Έπειτα, περάστηκαν από κόσκινο 500 μm, ώστε να διασφαλιστεί η ομοιομορφία των δειγμάτων και αποθηκεύτηκαν σε μικρά χάρτινα σακουλάκια που έκλειναν αεροστεγώς. Ακολουθήθηκε η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων τόσο του υπέργειου όσο και του υπόγειου τμήματος των φυτών για ξηρή καύση Συγκεκριμένα, 1 gr λειοτριβιμένων φυτικών υλικών (φυλλώματος και ριζών) για κάθε φυτό και κάθε μεταχείριση ξεχωριστά, τοποθετήθηκε σε κάψα πορσελάνης και κατόπιν σε φούρνο υψηλής καύσης για 5 ώρες στους 550 °C. Μετά την έξοδο των δειγμάτων από το φούρνο υψηλής καύσης σε κάθε κάψα προστέθηκαν 2 ml πυκνού υδροχλωρικού οξέος (Hydrochloric acid, 36,5-38 %) για διαλυτοποίηση. Τέλος, προστέθηκαν περίπου 10 mL απιονισμένου νερού και κάθε δείγμα και ακολούθησε διήθηση μέσα από σκληρό φίλτρο και αποθήκευση των διαλυμάτων σε ογκομετρικές φιάλες των 50 mL. Για κάθε δείγματα φυτικού υλικού δημιουργήθηκαν 2 δείγματα των 10 mL το καθένα από κάθε ογκομετρική φιάλη τα οποία τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες.

Ο προσδιορισμός των διαλυμάτων καδμίου(Cd) πραγματοποιήθηκε με φασματοφωτόμετρο επαγωγικού πλάσματος (ICP –OES), ThermoScientific, iCAP 6300

Στα διάφορα φυτικά μέρη (φύλλωμα και ρίζες) ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του καδμίου(Cd) των φυτών υπολογίστηκε ως εξής: τιμή καδμίου(Cd) στο διάλυμα (μg/mL) × 100 mL / ξηρό βάρος δείγματος (gr).

Τα υλικά και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο για την επεξεργασία του υπέργειου και του υπόγειου τμήματος των φυτών ήταν τα εξής:

- Μπλέντερ και
- Μύλος για την κονιορτοποίηση των φυτικών υλικών.
- Κόσκινο 500 μm
- Ζυγαρία ακριβείας (0,0001, OHAUS)
- Χάρτινα σακουλάκια
- Κάψες και ρυθμιζόμενος φούρνος στους 550 °C για 5 ώρες.

3.6 Σκοπός της μελέτης

Η ρύπανση της γεωργικής γης από βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα θέμα που απασχολεί ιδιαίτερα την επιστημονική και ερευνητική κοινότητα. Τα μέταλλα αποτελούν σημαντικούς περιβαλλοντικούς ρύπους και η τοξικότητά τους αποτελεί σημαντικό πρόβλημα λόγω οικολογικών και περιβαλλοντικών λόγων. Επιπλέον, τα βαρέα μέταλλα αποκοδομούνται ή καταστρέφονται δύσκολα με αποτέλεσμα να υπάρχει έντονη βιοσυσσώρευση τους σε εδάφη, σε θαλάσσια ύδατα και σε ιζήματα, τα οποία καταλήγουν στην τροφική αλυσίδα με τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο, στον οποίο προκαλούν οξείες ή χρόνιες βλάβες.

Ένα από τα βαρέα μέταλλα που έχουν τη δυνατότητα να μολύνουν το έδαφος και τα φυτά είναι το κάδμιο το οποίο προσελκύει τη μεγαλύτερη προσοχή στην επιστήμη του εδάφους και τη διατροφή των φυτών λόγω της πιθανής δηλητηρίασης για τον άνθρωπο. Η μόλυνση παράγεται από ανθρωπογενείς πηγές όπως ανόργανα λιπάσματα, βιομηχανικά απόβλητα, υγρά απόβλητα και εξορύξεις. Το κάδμιο διαλύεται στο νερό και είναι τοξικό ακόμη και σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις. Κρίνεται λοιπόν ως επιτακτική ανάγκη να προβλεφθούν οι επιπτώσεις της ρύπανσης από κάδμιο.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της προσρόφησης του καδμίου από φυτά του γένους *Sideritis sp.* και *Thymus sp.* σε ρυπασμένο έδαφος. Μετά την παρέλευση 8 εβδομάδων προσδιορίστηκαν τα επίπεδα καδμίου στους φυτικούς ιστούς και εξετάστηκε η συμπεριφορά των συγκεκριμένων φυτών στις διάφορες επεμβάσεις ριζοποτισμάτων των βαρέων μετάλλων που δέχτηκαν και μετρήθηκε η απορρόφηση των στοιχείων αυτών από τα φυτά.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών γένους *Sideritis* sp. και *Thymus* sp. για κάθε συγκέντρωση καδμίου

Η πρώτη εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε στις 12/4/18. Στις Εικόνες 4.1.1-4.1.3 απεικονίζονται τα φυτά τα οποία μεταφέρθηκαν στο χωράφι.



Εικόνα 4.1.1 Φυτά γένους *Sideritis* sp. κατά την μεταφορά στην πρώτη εγκατάσταση.



Εικόνα 4.1.2 Φυτά γένους *Sideritis* sp. κατά την μεταφορά στην πρώτη εγκατάσταση.



Εικόνα 4.1.3 Φυτά γένους *Thymus* κατά την μεταφορά στην πρώτη εγκατάσταση.

Εν συνεχεία, στις **Εικόνες 4.1.4-4.1.5** παρουσιάζεται η πρώτη εφαρμογή η οποία πραγματοποιήθηκε στις 18/4/18. Όπως φαίνεται από τις Εικόνες αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί νάιλον στη βάση, ωστόσο επειδή παρατηρήθηκε παρακράτηση νερού λόγω βροχόπτωσης το νάιλον στην πορεία της πειραματικής διαδικασίας αφαιρέθηκε.



Εικόνα 4.1.4 Φυτά γένους *Sideritis* sp. κατά την πρώτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.5 Φυτά γένους *Thymus* sp. κατά την πρώτη εφαρμογή.

Η δεύτερη εφαρμογή ξεκίνησε στις 4/5/18 και απεικονίζεται στις Εικόνες 4.1.6-4.1.8.

Όπως φαίνεται από τις Εικόνες 4.1.7 και 4.1.8 το θυμάρι άρχισε να ανθίζει.



Εικόνα 4.1.6 Φυτά γένους *Sideritis* sp. κατά την δεύτερη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.7 Φυτά γένους *Thymus* sp. κατά την δεύτερη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.8 Άνθιση του φυτού γένους *Thymus* sp. κατά την δεύτερη εφαρμογή.

Στη συνέχεια, η έναρξη της τρίτης εφαρμογής έλαβε χώρα στις 12/5/18. Δεν παρατηρήθηκε στρεσάρισμα στα φυτά με βάση το μάρτυρα (H_2O) έως το τέλος των εφαρμογών. Οι **Εικόνες 4.1.9-4.1.13** απεικονίζουν τα φυτά κατά την Τρίτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.9 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritis* sp. που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τρίτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.10 Φυτά γένους *Sideritis* sp. κατά την τρίτη εφαρμογή (μάρτυρας).



Εικόνα 4.1.11 Φυτά γένους *Sideritis* κατά την τρίτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 10 ppm (Cd10).



Εικόνα 4.1.12 Φυτά γένους *Sideritis* κατά την τρίτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).



Εικόνα 4.1.13 Φυτά γένους *Thymus* *sp.* κατά την τρίτη εφαρμογή με συγκεντρώσεις καδμίου 1, 5 και 10 ppm (Cd1, Cd5 και Cd10).

Η τέταρτη εφαρμογή ξεκίνησε στις 19/5/18. Όπως φαίνεται και από τις **Εικόνες 4.1.14-4.1.16** η ανάπτυξη των φυτών φαίνεται κανονική.



Εικόνα 4.1.14 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritis* sp. που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τέταρτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.15 Φυτά γένους *Sideritis* sp. κατά την τέταρτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).



Εικόνα 4.1.16 Σύνολο των φυτών γένους *Thymus* sp. κατά την τέταρτη εφαρμογή.

Η πέμπτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στις 26/5/18 και παρουσιάζεται στις **Εικόνες 4.1.17-4.1.21**. Το δίκτυο σκίασης προστάτεψε το πείραμα μετά από ισχυρή χαλαζόπτωση, όπως φαίνεται και στις **Εικόνες 4.1.20 και 4.1.21**.



Εικόνα 4.1.17 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritis* sp. που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πέμπτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.18 Φυτά γένους *Sideritis* κατά την πέμπτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).



Εικόνα 4.1.19 Σύνολο των φυτών γένους *Thymus sp.* κατά την πέμπτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.20 Ισχυρή χαλαζόπτωση κατά τη διάρκεια της πέμπτης εφαρμογής.



Εικόνα 4.1.21 Απεικόνιση της προστασίας των φυτών από την χαλαζόπτωση μέσω του δικτυού σκίασης.

Η έναρξη της έκτης εφαρμογής πραγματοποιήθηκε στις 2/6/18. Τα φυτά φαίνεται να αναπτύσσονται κανονικά και έχουν έντονο ζωηρό χρώμα. Όπως φαίνεται και από τις **Εικόνες 4.1.22-4.1.25** το τσάι άρχισε να ανθίζει ενώ το θυμάρι είναι σε πλήρη άνθιση.



Εικόνα 4.1.22 Άνω οψη των φυτών γένους *Sideritis* sp. που χρησιμοποιήθηκαν κατά την έκτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.23 Το σύνολο των φυτών γένους *Sideritis* sp. που χρησιμοποιήθηκαν κατά την έκτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.24 Σύνολο των φυτών γένους *Thymus sp.* κατά την έκτη εφαρμογή.



Εικόνα 4.1.25 Φυτά γένους *Thymus sp.* κατά την πέμπτη εφαρμογή με συγκέντρωση καδμίου 10 ppm (Cd10).

Από 15/6/18 και μετά τις εφαρμογές τα φυτά παραμένουν στο πείραμα μόνο με νερό. Οι αντίστοιχες φωτογραφίες των φυτών απεικονίζονται στις **Εικόνες 4.1.26-4.1.29**.



Εικόνα 4.1.26 Σύνολο των φυτών γένους *Sideritis sp.* μετά το πέρας των εφαρμογών.



Εικόνα 4.1.27 Φυτά γένους *Sideritis* sp. μετά το πέρας των εφαρμογών με συγκεντρώσεις καδμίου 1, 5, 10 και 20 ppm (Cd1, Cd5, Cd10 και Cd20).



Εικόνα 4.1.28 Φυτά γένους *Sideritis* sp. μετά το πέρας των εφαρμογών με συγκεντρώσεις καδμίου 5 και 10 ppm (Cd5 και Cd10).



Εικόνα 4.1.29 Φυτά γένους *Thymus* sp. μετά το πέρας των εφαρμογών.

Στις 2/7/18 έγινε εκρίζωση των φυτών ζύγισμα ύψος κοπή ρίζα στέλεχος και μετρήσεις. Οι αντίστοιχες φωτογραφίες παρουσιάζονται στις **Εικόνες 4.1.30-4.1.35**.



Εικόνα 4.1.30 Εκρίζωση φυτών γένους *Sideritis* sp. μετά το πέρας των εφαρμογών, με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).



Εικόνα 4.1.31 Εκρίζωση φυτών γένους *Sideritis* sp. 2^{ης} επανάληψης, με συγκέντρωση καδμίου 20 ppm (Cd20).



Εικόνα 4.1.32 Εκρίζωση φυτών γένους *Thymus* sp. μετά το πέρας των εφαρμογών.



Εικόνα 4.1.33 Εκρίζωση φυτών γένους *Thymus* sp. μετά τη 2^η επανάληψη, με συγκέντρωση καδμίου 0 ppm (μάρτυρας).



Εικόνα 4.1.34 Εκρίζωση φυτών γένους *Thymus* sp. μετά τη 3^η επανάληψη, με συγκέντρωση καδμίου 0 ppm (μάρτυρας).



Εικόνα 4.1.35 Ζύγισμα φυτών μετά το πέρας των εφαρμογών.

4.2 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους *Sideritis* sp.

Στους Πίνακες 4.2.1-4.2.5 παρουσιάζονται Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritis* sp. για κάθε συγκέντρωση καδμίου. Συγκεκριμένα, απεικονίζονται το νωπό και ξηρό βάρος των τμημάτων του άνθους, της ρίζας και του στελέχους, η συγκέντρωση καδμίου καθώς και ο αριθμός των επαναλήψεων.

Πίνακας 4.2.1 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritis* sp. με μηδενική συγκέντρωση καδμίου.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
<i>Sideritis</i> sp.	0	Άνθος	16	0	1,0002	1
<i>Sideritis</i> sp.	0	Ρίζα	80	0	1,0005	1
<i>Sideritis</i> sp.	0	Στέλεχος	174	0	1,0005	1
<i>Sideritis</i> sp.	0	Άνθος	8	0	0,8189	2
<i>Sideritis</i> sp.	0	Ρίζα	80	0	1,0001	2
<i>Sideritis</i> sp.	0	Στέλεχος	170	0	1,0002	2

Sideritis sp.	0	Άνθος	4	0	0,4251	3
Sideritis sp.	0	Ρίζα	64	0	1,0007	3
Sideritis sp.	0	Στέλεχος	150	0	1,0001	3

Πίνακας 4.2.2 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritis* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 1 ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (A-P-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
Sideritis sp.	1	Άνθος	4	0,027	0,4590	1
Sideritis sp.	1	Ρίζα	60	0,027	1,0001	1
Sideritis sp.	1	Στέλεχος	160	0,027	1,0005	1
Sideritis sp.	1	Άνθος	8	0,027	0,8341	2
Sideritis sp.	1	Ρίζα	84	0,027	1,0001	2
Sideritis sp.	1	Στέλεχος	214	0,027	1,0002	2
Sideritis sp.	1	Άνθος	4	0,027	1,0000	3
Sideritis sp.	1	Ρίζα	48	0,027	1,0001	3
Sideritis sp.	1	Στέλεχος	140	0,027	0,3121	3

Πίνακας 4.2.3 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritis* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 5ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (A-P-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
Sideritis sp.	5	Άνθος	8	0,137	1,0001	1
Sideritis sp.	5	Ρίζα	56	0,137	1,0006	1

Sideritis sp.	5	Στέλεχος	182	0,137	1,0000	1
Sideritis sp.	5	Άνθος	16	0,137	0,9268	2
Sideritis sp.	5	Ρίζα	64	0,137	1,0004	2
Sideritis sp.	5	Στέλεχος	190	0,137	1,0004	2
Sideritis sp.	5	Άνθος	2	0,137	0,1461	3
Sideritis sp.	5	Ρίζα	56	0,137	1,0007	3
Sideritis sp.	5	Στέλεχος	174	0,137	1,0001	3

Πίνακας 4.2.4 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritis* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 10ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
Sideritis sp.	10	Άνθος	20	0,274	1,0003	1
Sideritis sp.	10	Ρίζα	64	0,274	1,0003	1
Sideritis sp.	10	Στέλεχος	194	0,274	1,0002	1
Sideritis sp.	10	Άνθος	12	0,274	0,5452	2
Sideritis sp.	10	Ρίζα	60	0,274	1,0000	2
Sideritis sp.	10	Στέλεχος	150	0,274	1,0002	2
Sideritis sp.	10	Άνθος	24	0,274	1,0002	3
Sideritis sp.	10	Ρίζα	58	0,274	1,0002	3
Sideritis sp.	10	Στέλεχος	138	0,274	1,0001	3

Πίνακας 4.2.5 Χαρακτηριστικά φυτού *Sideritis* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 20ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
---------------	---------------	---------------	-----------------	--------------	-------------	-----------

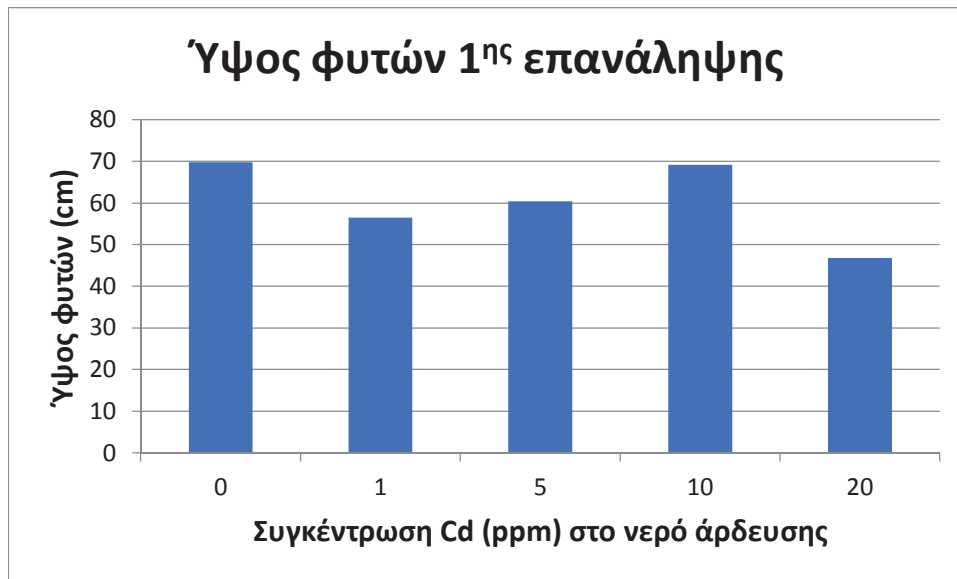
Sideritis sp.	20	Ανθος	16	0,547	1,0003	1
Sideritis sp.	20	Ρίζα	60	0,547	1,0001	1
Sideritis sp.	20	Στέλεχος	140	0,547	1,0003	1
Sideritis sp.	20	Ανθος	16	0,547	0,7208	2
Sideritis sp.	20	Ρίζα	66	0,547	1,0003	2
Sideritis sp.	20	Στέλεχος	180	0,547	1,0006	2
Sideritis sp.	20	Ανθος	12	0,547	0,6089	3
Sideritis sp.	20	Ρίζα	60	0,547	1,0002	3
Sideritis sp.	20	Στέλεχος	192	0,547	1,0002	3

Στον Πίνακα 4.2.6 απεικονίζεται η επίδραση της συγκέντρωσης του Cd στο ύψος των φυτών του γένους *Sideritissp.* Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του Πίνακα το ύψος των φυτών μειώνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Τα αποτελέσματα για κάθε επανάληψη παρουσιάζονται και γραφικά στις Εικόνες 4.2.1-4.2.3.

Πίνακας 4.2.6 Επίδραση της συγκέντρωσης του Cd στο ύψος των φυτών του γένους *Sideritissp.* του υπόγειου και υπέργειου τμήματος.

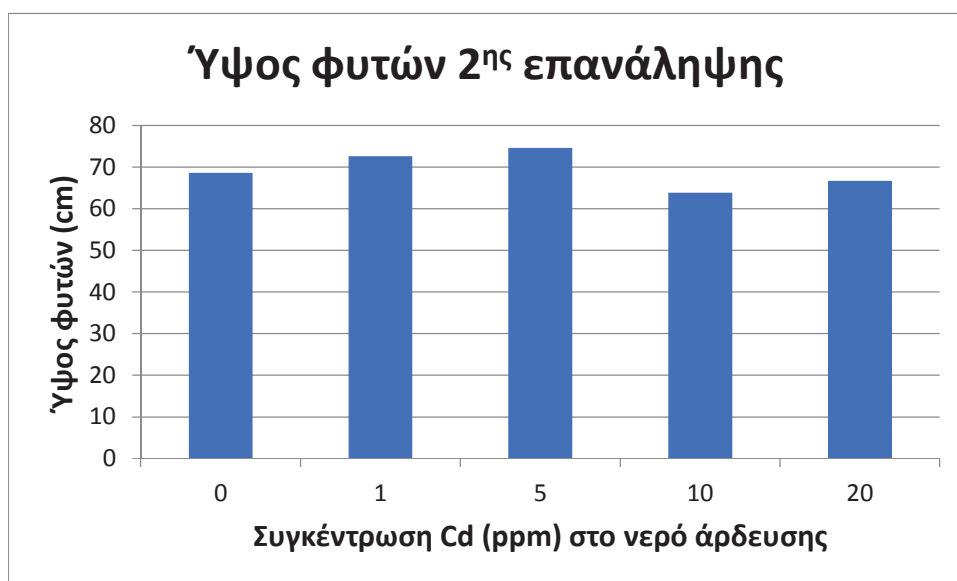
Cd (ppm)	Ύψος φυτών		
	1 ^η επανάληψη	2 ^η επανάληψη	3 ^η επανάληψη
0	69,8	68,6	65,2
1	56,4	72,6	54
5	52,4	74,6	52,2
10	50,2	63,8	77,4
20	46,8	66,6	71,4

Στην Εικόνα 4.2.1 απεικονίζεται το ύψος των φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος της 1^{ης} επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση καδμίου (Cd) στο νερό άρδευσης. Παρατηρείται πως η αύξηση της συγκέντρωσης του καδμίου στα 10 και 20 ppm οδήγησε στη μείωση του ύψους των φυτών.



Εικόνα 4.2.1 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritis* sp. της 1^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Η **Εικόνα 4.2.1** απεικονίζει το ύψος των φυτών του υπέργειου τμήματος της 2^{ης} επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται αύξηση του ύψους των φυτών στις συγκεντρώσεις καδμίου 1 και 5 ppm, ενώ μείωση παρατηρείται στις συγκεντρώσεις 10 και 20 ppm. Το μεγαλύτερο ύψος φυτών παρατηρείται στη συγκέντρωση καδμίου 5 ppm.



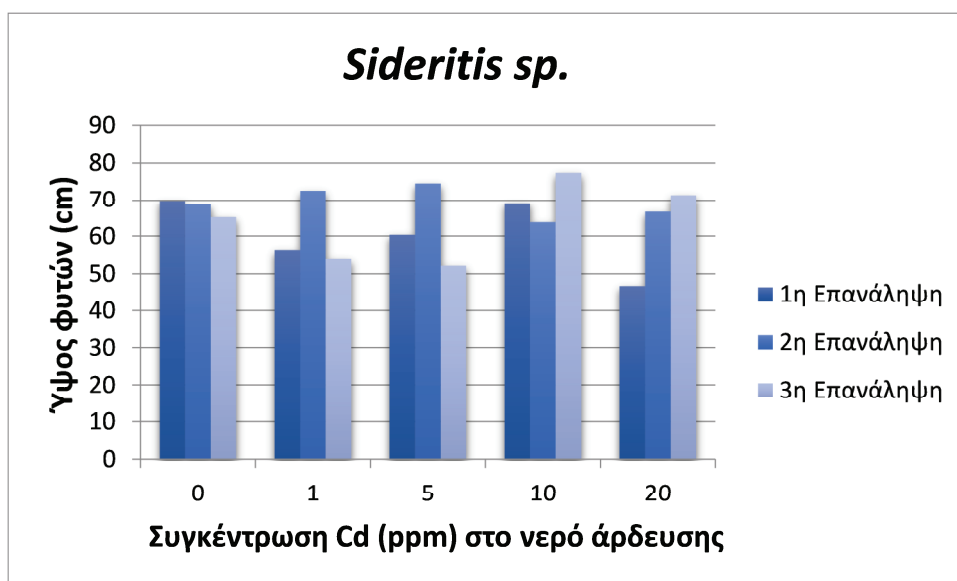
Εικόνα 4.2.2 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritis* της 2^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Στην **Εικόνα 4.2.3** παρουσιάζεται το ύψος των φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος της 3^{ης} επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται μείωση του ύψους των φυτών σε συγκεντρώσεις 1 και 5 ppm. Στη συγκέντρωση καδμίου 10 ppm παρατηρείται το μεγαλύτερο ύψος των φυτών, ενώ στη συγκέντρωση καδμίου 20 ppm παρατηρείται μείωση του συνολικού ύψους των φυτών.

Στην **Εικόνα 4.2.4** απεικονίζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του ύψους των φυτών γένους *Sideritis* και από τις τρεις επαναλήψεις. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα στην 1^η επανάληψη η αύξηση της συγκέντρωσης του Cd οδηγεί σε μείωση του ύψους των φυτών ειδικά στην υψηλότερη συγκέντρωση Cd 20 ppm. Στη 2^η επανάληψη το ύψος φαίνεται να εμφανίζεται σχετικά σταθερό σε σχέση με το ύψος του μάρτυρα. Στην 3^η επανάληψη το ύψος των φυτών αυξάνεται στις δύο υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd 10 και 20 ppm.



Εικόνα 4.2.3 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritis* της 3^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.



Εικόνα 4.2.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ύψους φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Sideritis* sp. σε κάθε επανάληψη σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

4.3 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους *Thymus* sp.

Στους Πίνακες 4.3.1-4.3.5 παρουσιάζονται Χαρακτηριστικά φυτού *Thymus* sp. για κάθε συγκέντρωση καδμίου. Συγκεκριμένα, απεικονίζονται το νωπό και ξηρό βάρος των τμημάτων του άνθους, της ρίζας και του στελέχους, η συγκέντρωση καδμίου καθώς και ο αριθμός των επαναλήψεων.

Πίνακας 4.3.1 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymus* sp. με μηδενική συγκέντρωση καδμίου.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
<i>Thymus</i> sp.	0	Ρίζα	158	0	1,0001	1
<i>Thymus</i> sp.	0	Στέλεχος	242	0	1,0005	1
<i>Thymus</i> sp.	0	Ρίζα	148	0	1,0003	2
<i>Thymus</i> sp.	0	Στέλεχος	186	0	1,0002	2
<i>Thymus</i> sp.	0	Ρίζα	138	0	1,0004	3
<i>Thymus</i> sp.	0	Στέλεχος	164	0	1,0008	3

Πίνακας 4.3.2 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymus* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 1 ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
Thymus sp.	1	Ρίζα	164	0,027	1,0007	1
Thymus sp.	1	Στέλεχος	230	0,027	1,0002	1
Thymus sp.	1	Ρίζα	162	0,027	1,0005	2
Thymus sp.	1	Στέλεχος	192	0,027	1,0002	2
Thymus sp.	1	Ρίζα	134	0,027	1,0006	3
Thymus sp.	1	Στέλεχος	206	0,027	1,0004	3

Πίνακας 4.3.3 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymus* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 5ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
Thymus sp.	5	Ρίζα	80	0,137	1,0006	1
Thymus sp.	5	Στέλεχος	156	0,137	1,0007	1
Thymus sp.	5	Ρίζα	114	0,137	1,0001	2
Thymus sp.	5	Στέλεχος	186	0,137	1,0002	2
Thymus sp.	5	Ρίζα	128	0,137	1,0007	3
Thymus sp.	5	Στέλεχος	194	0,137	1,0005	3

Πίνακας 4.3.4 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymus* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 10ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
Thymus sp.	10	Ρίζα	142	0,274	1,0004	1
Thymus sp.	10	Στέλεχος	210	0,274	1,0004	1
Thymus sp.	10	Ρίζα	110	0,274	1,0004	2
Thymus sp.	10	Στέλεχος	202	0,274	1,0004	2
Thymus sp.	10	Ρίζα	132	0,274	1,0002	3
Thymus sp.	10	Στέλεχος	210	0,274	1,0005	3

Πίνακας 4.3.5 Χαρακτηριστικά φυτού *Thymus* sp. σε συγκέντρωση καδμίου 20ppm.

Πειραματόφυτο	Cadmium (ppm)	Τμήμα (Α-Ρ-Σ)	Νωπό βάρος (gr)	Cadmium (gr)	Δείγμα (gr)	Επανάληψη
Thymus sp.	20	Ρίζα	122	0,547	1,0005	1
Thymus sp.	20	Στέλεχος	194	0,547	1,0006	1
Thymus sp.	20	Ρίζα	120	0,547	1,0001	2
Thymus sp.	20	Στέλεχος	262	0,547	1,0007	2
Thymus sp.	20	Ρίζα	180	0,547	1,0001	3
Thymus sp.	20	Στέλεχος	182	0,547	1,0006	3

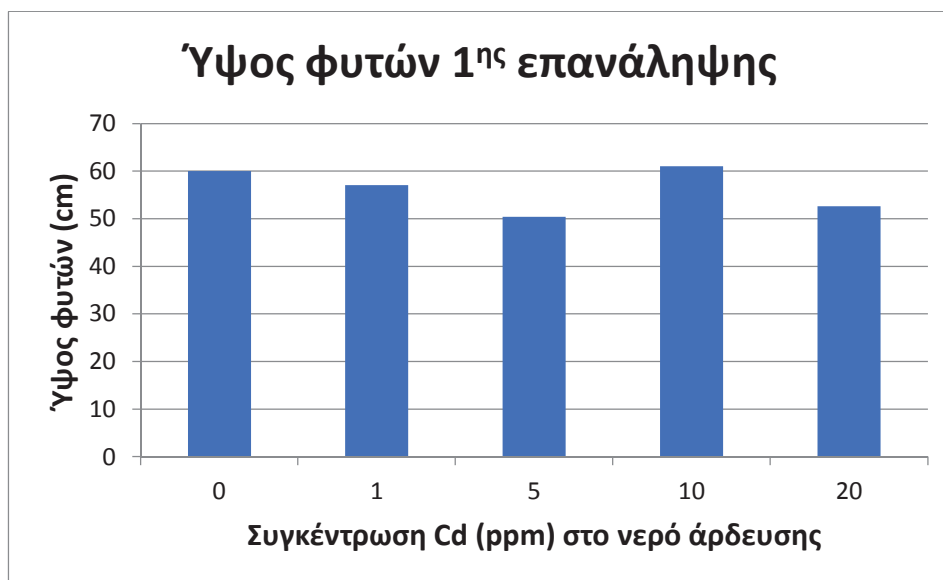
Στον **Πίνακα 4.3.6** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης της συγκέντρωσης του Cd στο ύψος των φυτών του γένους *Thymus* sp. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του Πίνακα το ύψος των φυτών μειώνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Τα αποτελέσματα για κάθε επανάληψη παρουσιάζονται και γραφικά στις **Εικόνες 4.3.1-4.3.3**.

Πίνακας 4.3.6 Επίδραση της συγκέντρωσης του Cd στο ύψος των φυτών του γένους *Thymus* sp. του υπόγειου και υπέργειου τμήματος.

Cd (ppm)	Ύψος φυτών		
	1 ^η επανάληψη	2 ^η επανάληψη	3 ^η επανάληψη
0	60	51,4	66,4
1	57	50,8	67,6
5	50,4	56,8	57,4
10	61	53,8	54,2
20	52,6	48,6	42,4

Στην **Εικόνα 4.3.1** απεικονίζεται το ύψος των φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος της 1^{ης} επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση καδμίου (Cd) στο νερό

άρδευσης. Παρατηρείται πως η αύξηση της συγκέντρωσης του καδμίου στα 5ppm οδήγησε στη μείωση του ύψους των φυτών. Σε συγκέντρωση καδμίου 10 ppm παρατηρείται αύξηση του ύψους των φυτών, ενώ σε συγκέντρωση 20 ppm μικρή αύξηση του ύψους των φυτών.



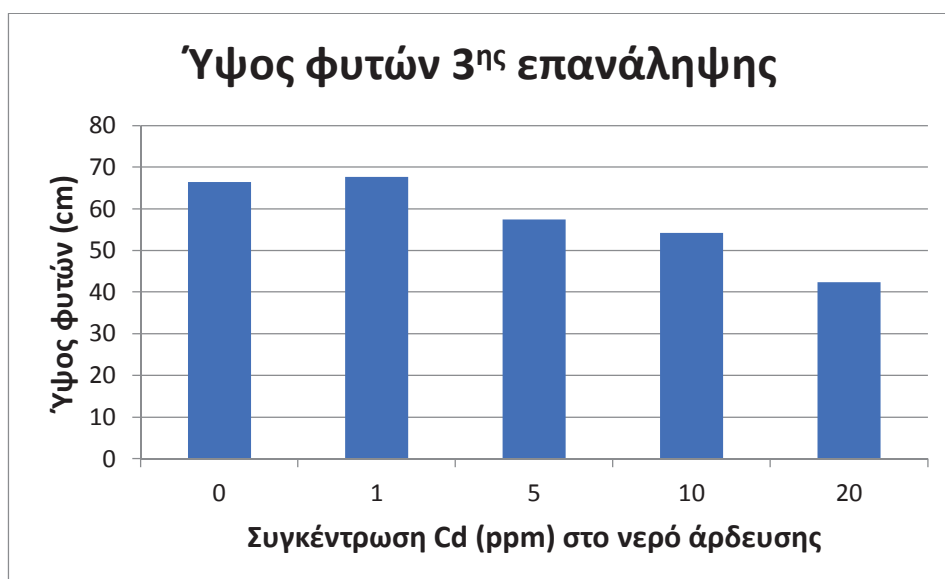
Εικόνα 4.3.1 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. της 1^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Η **Εικόνα 4.3.2** απεικονίζει το ύψος των φυτών του υπέργειου τμήματος της 2^{ης} επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται αύξηση του ύψους των φυτών στη συγκέντρωση καδμίου 5 ppm, ενώ μείωση παρατηρείται στη συγκέντρωση των 10 και ακόμα μεγαλύτερη μείωση σε συγκέντρωση καδμίου 20 ppm.



Εικόνα 4.3.2 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. της 2^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Στην **Εικόνα 4.3.3** παρουσιάζεται το ύψος των φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος της 3^{ης} επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μικρή αύξηση του ύψους των φυτών σε συγκέντρωση καδμίου 1 ppm. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατηρείται πως η αύξηση των συγκεντρώσεων καδμίου στα 5, 10 και 20 ppm οδηγεί στη μείωση του συνολικού ύψους των φυτών.



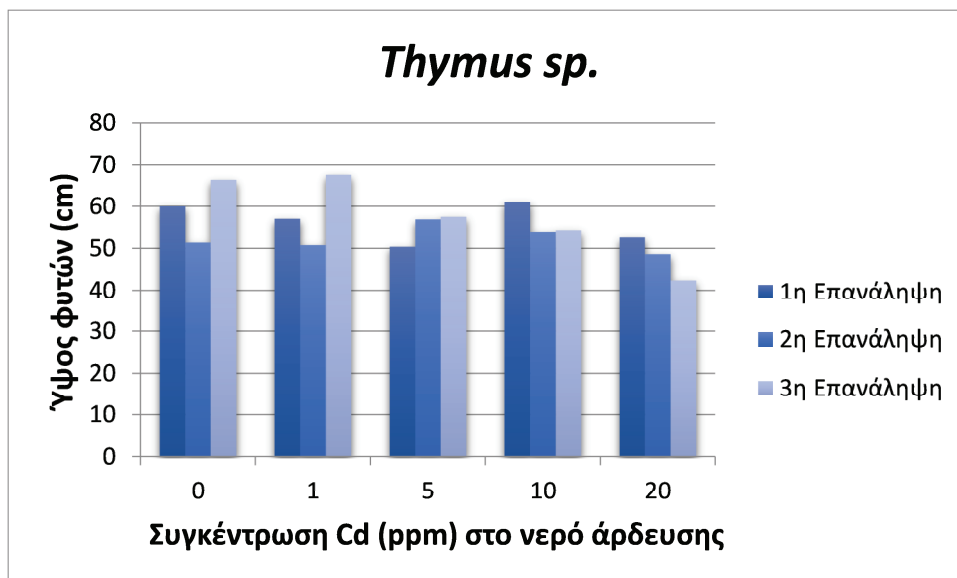
Εικόνα 4.3.3 Ύψος φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. της 3^{ης} επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

Στην **Εικόνα 4.3.4** απεικονίζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα και των τριών επαναλήψεων. Όπως παρατηρείται, μόνο στην 3^η επανάληψη φαίνεται να υπάρχει μία μείωση του ύψους των φυτών με την αύξηση της συγκέντρωσης του καδμίου συγκριτικά με τον μάρτυρα που έχει μηδενική συγκέντρωση καδμίου.

Στην 1^η και τη 2^η επανάληψη τα φυτά του γένους *Thymus* sp. φαίνεται να αναπτύσσονται κανονικά, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις φαίνεται να εμφανίζουν μεγαλύτερο ύψος από τον μάρτυρα.

Τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να συμφωνούν με τη βιβλιογραφία όπου το θυμάρι παρουσιάζεται γενικά ως ανθεκτικό φυτό το οποίο δεν απορροφά μεγάλες συγκεντρώσεις καδμίου. Συγκεκριμένα, στην έρευνά τους οι Baye και Hymete (2010) παρατήρησαν πως το γένος *Thymus serrulatus* περιείχαν Cd κάτω από το όριο που ορίζει ο WHO, δηλαδή πολύ κάτω από τα τοξικά όρια ανεξάρτητα από την περιοχή συλλογής του φυτού. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά αποτελεί έναν δείκτη για επιλεκτική συσσώρευση βαρέων μετάλλων σε ορισμένα είδη φυτών ανεξάρτητα από την περιοχή όπου βρίσκονται οι καλλιέργειες. Αυτό σημαίνει ότι στο επίπεδο των ειδών, η συσσώρευση του Cd φαίνεται να κυριαρχείται από γενετικούς παράγοντες παρά από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Σε μια έρευνα των Lydakis-Simantiris et al., (2016) παρατηρήθηκε πως οι ρίζες του θυμαριού συσσωρεύουν πολύ λιγότερο Cd σε σύγκριση με τις ρίζες χαμομηλιού και τις ρίζες φασκόμηλου. Ωστόσο, το κλάσμα του Cd που μετατοπίζεται στα φύλλα του θυμαριού είναι αρκετά σημαντικό και τα επίπεδα του Cd που βρίσκονται στα φύλλα όλων των φυτών (ακόμη και των μαρτύρων) υπερέβησαν τα επίπεδα του WHO. Τα υψηλότερα από τα αποδεκτά επίπεδα συγκέντρωσης Cd στα δείγματα ελέγχου δοκιμάστηκαν με δείγματα φυτών και εδάφους από ορεινές περιοχές του νομού Χανίων και ελήφθησαν πολύ χαμηλά επίπεδα Cd. Μια σημαντική παρατήρηση ήταν η πολύ υψηλή συγκέντρωση Cd στα φύλλα του θυμαριού που καλλιεργήθηκε σε έδαφος μολυσμένο με 30 ppm Cd.



Εικόνα 4.3.4 Συγκενρωτικά αποτελέσματα ύψους φυτών του υπόγειου και υπέργειου τμήματος του γένους *Thymus* sp. σε κάθε επανάληψη σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης.

4.4 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους *Thymus* sp.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η απορρόφηση καδμίου στο υπέργειο τμήμα του φυτού *Thymus* sp. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.4.1-4.4.2 και στην Εικόνα 4.4.1.

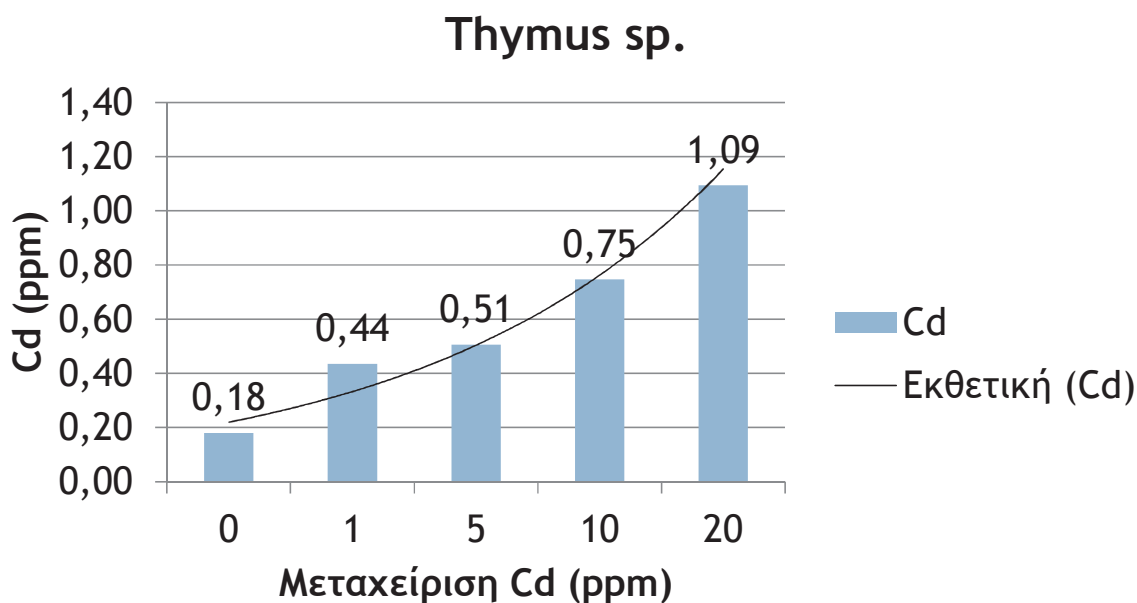
Πίνακας 4.4.1 Συνολικές τιμές απορρόφησης καδμίου από το φυτό *Thymus* sp. για κάθε μεταχείριση και κάθε επανάληψη.

ΜΕΤΑΧΕΙΡΗΣΗ	ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ	ΔΙΑΛΥΜΑ	
		SOLUTION (mg/l)	ppm
1	1	0	0,17
1	2	0	0,19
1	3	0	0,18
1	4	0	0,18
1	5	0	0,18

2	1	1	0,44
2	2	1	0,43
2	3	1	0,44
2	4	1	0,44
2	5	1	0,44
3	1	5	0,45
3	2	5	0,48
3	3	5	0,59
3	4	5	0,53
3	5	5	0,51
4	1	10	0,59
4	2	10	1,04
4	3	10	0,61
4	4	10	0,77
4	5	10	0,75
5	1	20	0,55
5	2	20	1,52
5	3	20	1,21
5	4	20	1,09
5	5	20	1,09

Πίνακας 4.4.2 Περιεκτικότητα φυτού *Thymus sp.* - Μέσοι όροι τιμών 5 φυτών σε τρεις επαναλήψεις.

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ (ppm)	Cd (ppm)	Treatment
0	0,18	0
1	0,44	1
5	0,51	5
10	0,75	10
20	1,09	20



Εικόνα 4.4.1 Απορρόφηση καδμίου (Cd) σε κάθε μεταχείριση στο φυτό *Thymus sp.*

Στην **Εικόνα 4.4.1** παρουσιάζονται οι συνολικές τιμές προσρόφησης για κάθε φυτό στο υπέργειο μέρος όπου παρατηρείται εκθετική τάση μέχρι τα 20 ppm να απορροφά Cd.

4.5 Επίδραση της συγκέντρωσης καδμίου (Cd) στα φυτά γένους *Sideritis sp.*

Η μελέτη της απορρόφησης καδμίου στο υπέργειο τμήμα του φυτού *Sideritis sp.* παρουσιάζεται στους **Πίνακες 4.5.1-4.5.2** και στην **Εικόνα 4.5.1**.

Πίνακας 4.5.1 Συνολικές τιμές απορρόφησης καδμίου από το φυτό *Sideritis sp.* για κάθε μεταχείριση και κάθε επανάληψη.

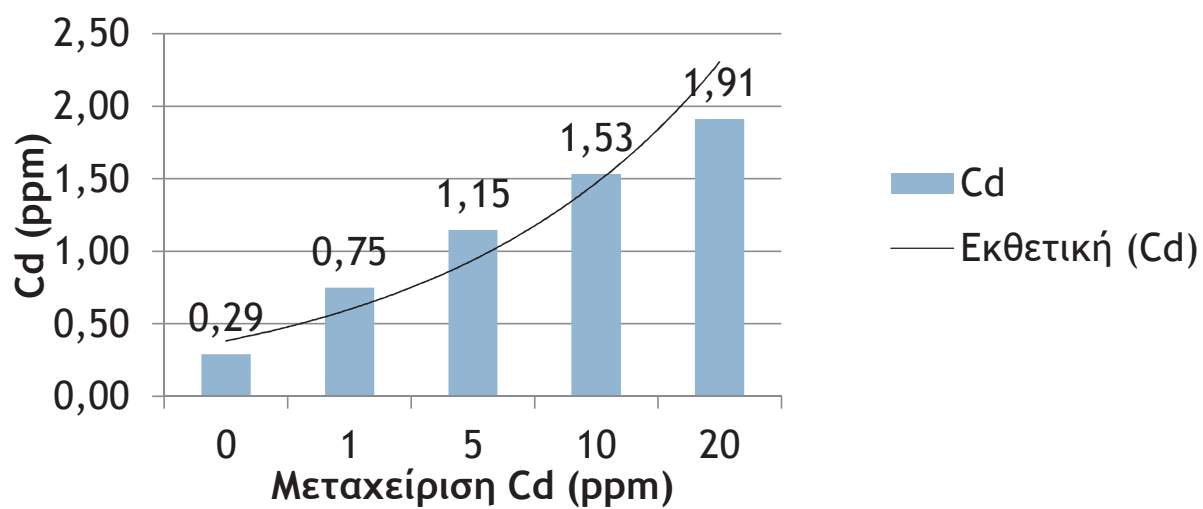
ΜΕΤΑΧΕΙΡΗΣΗ	ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ	ΔΙΑΛΥΜΑ	
		SOLUTION (mg/l)	ppm
1	1	0	0,39
1	2	0	0,28
1	3	0	0,2
1	4	0	0,29

1	5	0	0,29
2	1	1	0,9
2	2	1	0,6
2	3	1	0,58
2	4	1	0,75
2	5	1	0,75
3	1	5	1,11
3	2	5	1,17
3	3	5	1,16
3	4	5	1,15
3	5	5	1,15
4	1	10	1,84
4	2	10	1,02
4	3	10	1,74
4	4	10	1,53
4	5	10	1,53
5	1	20	2,02
5	2	20	1,66
5	3	20	2,06
5	4	20	1,91
5	5	20	1,91

Πίνακας 4.5.2 Περιεκτικότητα φυτού *Sideritis sp.* - Μέσοι όροι τιμών 5 φυτών σε τρεις επαναλήψεις.

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ (ppm)	Cd (ppm)	Treatment
0	0,29	0
1	0,75	1
5	1,15	5
10	1,53	10
20	1,91	20

Sideritis sp.



Εικόνα 4.5.1 Απορρόφηση καδμίου (Cd) σε κάθε μεταχείριση στο φυτό *Sideritis sp.*

Στην **Εικόνα 4.5.1** παρουσιάζονται οι συνολικές τιμές προσρόφησης για κάθε φυτό στο υπέργειο μέρος όπου παρατηρείται εκθετική τάση μέχρι τα 20 ppm να απορροφά Cd.

4.6 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Ακολούθησε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος βλαστού, το μήκος ρίζας το συνολικό μήκος του φυτού, το βάρος βλαστού και την απορρόφηση του φυτού *Thymus* sp. και για τις τρεις επαναλήψεις σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους **Πίνακες 4.6.1-4.6.6**.

Φυτό Thymus sp.

Ο **Πίνακας 4.6.1** απεικονίζει την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη τιμή, την μέγιστη τιμή, και τον μέσο όρο μήκους βλαστού για τις 3 επαναλήψεις, σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως ο ελάχιστος μέσος όρος μήκους βλαστού που βρέθηκε είναι 20,08 cm στο τυφλό δείγμα, ενώ ο μεγαλύτερος ήταν 46,73 cm σε συγκέντρωση καδμίου 1 ppm. Στον **Πίνακα 4.6.2** ο ελάχιστος μέσος όρος για το μήκος της ρίζας παρατηρείται σε συγκέντρωση καδμίου 10 ppm, ενώ ο μέγιστος σε μηδενική συγκέντρωση καδμίου. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και στον **Πίνακα 4.6.3** σχετικά με το συνολικό μήκος του φυτού *Thymus* sp. όπου ο ελάχιστος μέσος όρος για το μήκος της ρίζας παρατηρείται σε συγκέντρωση καδμίου 20 ppm, ενώ ο μέγιστος σε μηδενική συγκέντρωση καδμίου. Στους **Πίνακες 4.6.4** και **4.6.5** φαίνεται να αντιστρέφεται αυτή η συμπεριφορά με τον ελάχιστο μέσο όρο να εμφανίζεται σε συγκέντρωση καδμίου 0 ppm, και τον μέγιστο μέσο όρο σε συγκέντρωση καδμίου 20 ppm, τόσο για το βάρος του βλαστού όσο και για την απορρόφηση του φυτού *Thymus* sp. Στον **Πίνακα 4.6.5** ωστόσο, ο μέγιστος μέσος όρος παρατηρείται σε συγκέντρωση καδμίου 1 ppm και ο ελάχιστος στα 5 ppm.

Πίνακας 4.6.1 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος βλαστού του φυτού *Thymus* sp. και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Μήκος βλαστού (cm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	20,08	2,1	53,12	48
1	46,73	5,49	54,08	40,64
5	43,89	2,53	45,92	40,32
10	45,07	2,64	48,8	43,04
20	39,83	5,34	46,88	33,92

Πίνακας 4.6.2 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος ρίζας του φυτού *Thymussp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Μήκος ρίζας (cm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	12,52	0,55	13,28	12
1	11,69	1,39	13,52	10,16
5	10,97	0,63	11,48	10,08
10	11,27	0,66	12,2	10,76
20	9,97	1,33	11,72	8,48

Πίνακας 4.6.3 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το συνολικό μήκος του φυτού *Thymussp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Συνολικό μήκος φυτού (cm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	62,6	2,75	66,4	60
1	58,47	6,94	67,6	50,8
5	54,87	3,17	57,4	50,4
10	56,33	3,31	61	53,8
20	49,87	6,67	58,6	42,4

Πίνακας 4.6.4 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος βλαστού του φυτού *Thymussp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Βάρος βλαστού (g)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	197,33	32,84	242	164
1	209,33	15,69	230	192
5	178,67	16,36	194	156
10	207,33	3,77	210	202
20	212,67	35,23	262	182

Πίνακας 4.6.5 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος της ρίζας απορρόφηση του φυτού *Thymussp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Βάρος ρίζας (g)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	148	8,16	158	138
1	153,33	13,69	164	134
5	107,33	20,15	128	80
10	128	13,37	142	110
20	140,67	27,82	180	120

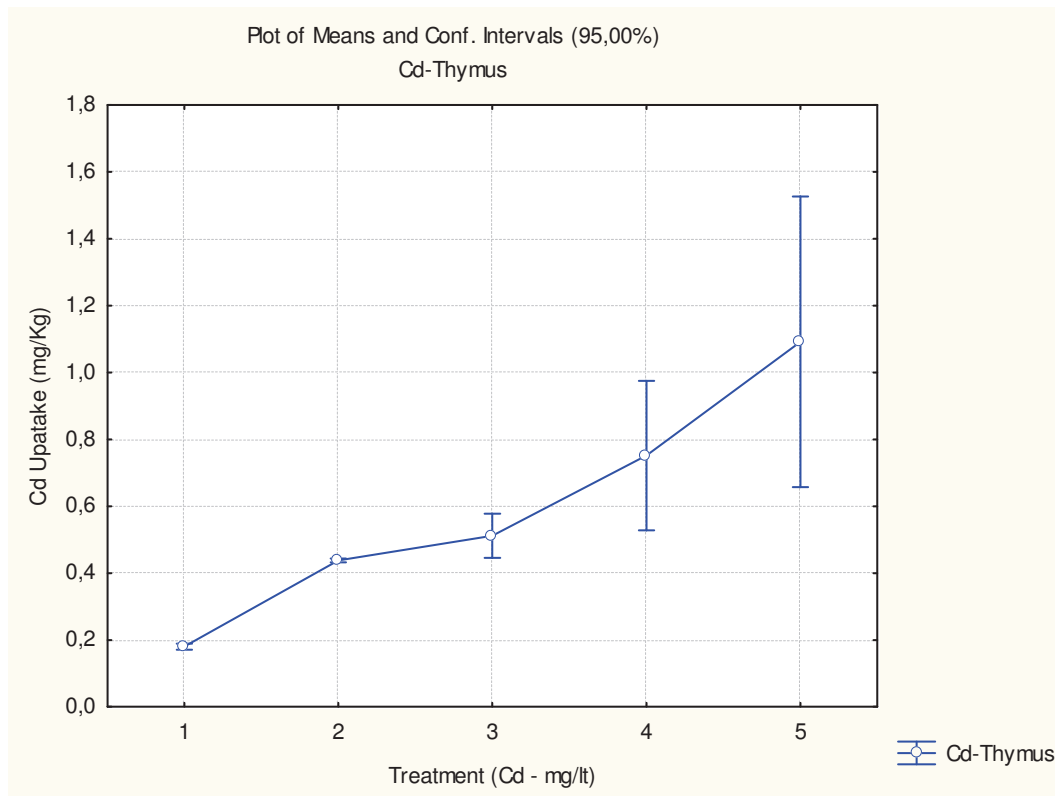
Πίνακας 4.6.6 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με την απορρόφηση του φυτού *Thymussp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Απορρόφηση (ppm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	0,18	0,0082	0,19	0,17
1	0,44	0,0047	0,44	0,43
5	0,51	0,0601	0,45	0,45
10	0,75	0,2076	1,04	0,59
20	1,09	0,4045	1,52	0,55

Ανάλυση διακύμανσης ANOVA για το φυτό γένους *Thymus sp.*

Analysis of Variance μεταξύ των μεταχειρίσεων Marked effects are significant at p < ,05000								
Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Cd-Thymus	2,377104	4	0,594276	0,632120	20	0,031606	18,80263	0,000001

Analysis of Variance μεταξύ των επαναλήψεων Marked effects are significant at p < ,05000								
Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Cd-Thymus	0,214824	4	0,053706	2,794400	20	0,139720	0,384383	0,817188



Η ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των επαναλήψεων κάθε μεταχείρισης δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, ενώ η ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των μεταχειρίσεων έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, γεγονός που τεκμηριώνει την ανταπόκριση των φυτών γένους *Thymus sp.* στην πρόσληψη Cd, όταν η περιεκτικότητα του καδμίου στο έδαφος αυξήθηκε σταδιακά από 0 έως 20 ppm

Φυτό *Sideritissp*

Τα στατιστικά αποτελέσματα για το φυτό *Sideritissp.* παρουσιάζονται στους **Πίνακες 4.6.7-4.6.12**. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος βλαστού, το μήκος ρίζας το συνολικό μήκος του φυτού, το βάρος βλαστού και την απορρόφηση του φυτού *Sideritissp.* και για τις τρεις επαναλήψεις σε σχέση με την συγκέντρωση καδμίου στο νερό άρδευσης. Όπως φαίνεται από τον **Πίνακα 4.6.7** ο μέγιστος και ο ελάχιστος μέσος όρος παρατηρούνται σε συγκεντρώσεις καδμίου 10 ppm και 1 ppm, αντίστοιχα. Ο μέγιστος και ο ελάχιστος μέσος όρος σχετικά με το μήκος ρίζας του φυτού *Sideritissp.*, όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 4.6.8** παρατηρούνται σε συγκεντρώσεις καδμίου 10 και 1 ppm, αντίστοιχα. Παρόμοια είναι και η συμπεριφορά που παρατηρείται στον **Πίνακα 4.6.9** σχετικά με το συνολικό μήκος του φυτού. Όσον αφορά το βάρος του βλαστού, τα στατιστικά αποτελέσματα του οποίου παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.6.10**, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή για τον μέσο όρο παρατηρούνται στα 5 και 10 ppm, αντίστοιχα. Στον **Πίνακα 4.6.11**, για το βάρος της ρίζας, η μέγιστη τιμή του μέσου

όρου εμφανίζεται στα 1 ppm και η ελάχιστη στο τυφλό δείγμα. Τέλος, ο Πίνακας 4.6.12 εμπεριέχει τη στατιστική ανάλυση σχετικά με την απορρόφηση, όπου σε μηδενική συγκέντρωση καδμίου παρατηρείται ο ελάχιστος μέσος όρος και σε συγκέντρωση καδμίου 20 ppm ο μέγιστος μέσος όρος.

Πίνακας 4.6.7 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος βλαστού του φυτού *Sideritissp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Μήκος βλαστού (cm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	54,29	1,56	55,84	52,16
1	48,8	6,61	58,08	43,2
5	49,92	7,4	59,68	41,76
10	56,11	4,47	61,92	51,04
20	49,28	8,52	57,12	37,44

Πίνακας 4.6.8 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το μήκος ρίζας του φυτού *Sideritissp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Μήκος ρίζας (cm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	13,57	0,39	13,96	13,04
1	12,2	1,65	14,52	108
5	12,48	1,85	14,92	10,44
10	14,03	1,12	15,48	12,76
20	12,32	2,13	14,28	9,36

Πίνακας 4.6.9 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το συνολικό μήκος του φυτού *Sideritissp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Συνολικό μήκος φυτού (cm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	67,87	1,95	69,8	65,2
1	61	8,26	72,6	54
5	62,4	9,25	74,6	52,2
10	70,13	5,59	77,4	63,8
20	61,6	5,6	71,4	46,8

Πίνακας 4.6.10 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος βλαστού του φυτού *Sideritissp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Βάρος βλαστού (g)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	164,67	10,5	174	150
1	171,33	10,5	214	140
5	182	6,5	190	174
10	161	9,5	174	138
20	171	10,5	182	155

Πίνακας 4.6.11 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με το βάρος της ρίζας του φυτού *Sideritissp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Βάρος ρίζας (g)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	47,67	7,54	80	64
1	64	10,5	74	48
5	58,67	3,77	64	56
10	60,67	2,49	64	58
20	62	2,82	66	60

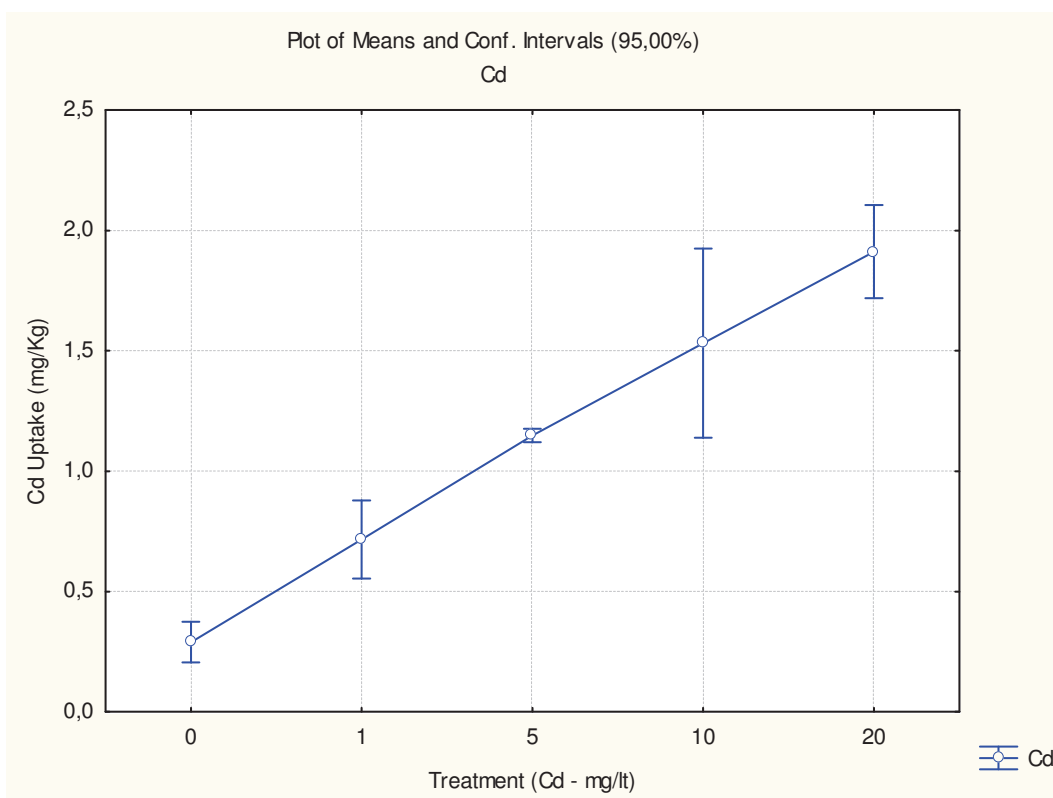
Πίνακας 4.6.12 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων σχετικά με την απορρόφηση του φυτού *Sideritissp.* και για τις τρεις επαναλήψεις.

Cd (ppm)	Απορρόφηση (ppm)			
	M.O.	Τυπική Απόκλιση	Maximum	Manimum
0	0,29	0,08	0,39	0,2
1	0,69	0,15	0,9	0,58
5	1,15	0,03	1,17	1,11
10	1,53	0,36	1,84	1,02
20	1,91	0,18	2,06	1,66

Ανάλυση διακύμανσης ANOVA για το φυτό γένους *Sideritis* sp.

Analysis of Variance μεταξύ των μεταχειρίσεων Marked effects are significant at $p < ,05000$								
Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Cd	8,249536	4	2,062384	0,585760	20	0,029288	70,41737	0,000000

Analysis of Variance μεταξύ των επαναλήψεων Marked effects are significant at $p < ,05000$								
Variable	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Cd	0,242776	4	0,060694	8,592520	20	0,429626	0,141272	0,964783



Η ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των επαναλήψεων κάθε μεταχείρισης δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, ενώ η ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των μεταχειρίσεων έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, γεγονός που τεκμηριώνει την

ανταπόκριση των φυτών γένους *Sideritis* sp. στην πρόσληψη Cd, όταν η περιεκτικότητα του καδμίου στο έδαφος αυξήθηκε σταδιακά από 0 έως 20 ppm.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και η χρήση αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών αυξάνεται δραματικά παγκοσμίως, η περιβαλλοντική ρύπανση με βαρέα μέταλλα δημιουργεί σοβαρό πρόβλημα στην ποιότητα φαρμακευτικών φυτών και των προϊόντων τους.

Για την παραλαβή του επιθυμητού θεραπευτικού ή διατροφικού αποτελέσματος, η ποιότητα των τελικών προϊόντων και των φυτικών πρώτων υλών πρέπει να διασφαλιστεί. Πολλές αναφορές έχουν δείξει ότι ένα από τα σοβαρά προβλήματα ποιότητας που συναντώνται συχνά είναι η υψηλή περιεκτικότητα των αρωματικών φυτών σε βαρέα μέταλλα η οποία συνδέεται με την εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων καδμίου φάνηκε να επηρεάζει ως ένα βαθμό τα φυτά γένους *Sideritis* sp. αλλά όχι τόσο τα φυτά γένους *Thymus* sp.

Πιο συγκεκριμένα, στα φυτά γένους *Sideritis* sp. στην 1^η επανάληψη φάνηκε πως η αύξηση της συγκέντρωσης του Cd οδήγησε σε μείωση του ύψους των φυτών ειδικά στην υψηλότερη συγκέντρωση Cd 20 ppm. Ωστόσο, στη 2^η επανάληψη το ύψος φαίνεται να εμφανίζεται σχετικά σταθερό σε σχέση με το ύψος του μάρτυρα, ενώ στην 3^η επανάληψη το ύψος των φυτών αυξάνεται στις δύο υψηλότερες συγκεντρώσεις Cd 10 και 20 ppm.

Τα φυτά του γένους *Thymus* sp. στην 1^η και τη 2^η επανάληψη φάνηκε να αναπτύσσονται κανονικά, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις εμφάνισαν και μεγαλύτερο ύψος από τον μάρτυρα.

Επιπλέον, δεν παρατηρήθηκε στρεσάρισμα των φυτών με βάση το μάρτυρα (H₂O) έως το τέλος των εφαρμογών.

Τεκμηριώθηκε στατιστική ανταπόκριση των φυτών γένους *Sideritis* sp. και *Thymus* sp. στην πρόσληψη Cd, όταν η περιεκτικότητα του καδμίου στο έδαφος αυξήθηκε σταδιακά από 0 έως 20 ppm.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adovasio, J. M., & Fry, G. F. (1976). Prehistoric psychotropic drug use in Northeastern Mexico and Trans-Pecos Texas. *Economic Botany*, 30(1), 94–96. doi: 10.1007/BF02866788
- Ajmal, M., Rao, R. A., Anwar, S., Ahmad, J. and Alunad, R., Adsorption studies on rice husk: Removal and recovery of Cd (II) from wastewater. *Bioresource Technology*, 86, 147-149 (2003).
- Akoumianakis, K.A., Passam, H.C., Barouchas, P.E., Moustakas, N.K. (2008). Effect of cadmium on yield and cadmium concentration in the edible tissue of endive (*Cichorium endivia* L.) and rocket (*Eruca sativa* Mill.). *International Journal of Food Agriculture and Environment*. 6(3-4), 201-209.
- Allen, S. J. and Brown, P. A., Isotherm analyses for single component and multicomponent metal sorption onto lignite. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 62, 7-24 (1995).
- Arshad, M., Ali, S., Noman, A., Ali, Q., Rizwan, M., Farid M., & Kashif Irshad M. (2016) Phosphorus amendment decreased cadmium (Cd) uptake and ameliorates chlorophyll contents, gas exchange attributes, antioxidants, and mineral nutrients in wheat (*Triticum aestivum* L.) under Cd stress, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62:4, 533-546,
- Aslan, I., Kilic, T., Goren, A., Topcu, G., 2006. Toxicity of acetone extract of *Sideritis trojana* and 7-epicandiciol, 7-epicandiciol diacetate and 18-acetylsideroxol against stored pests *Acanthoscelides obtectus* (Say), *Sitophilus granarius* (L.) and *Ephestia kuehniella* (Zell). *Industrial Crops and Products* 23, 171–176.
- Albano, S.M., Miguel, M.G., 2011. Biological activities of extracts of plants grown in Portugal. *Ind. Crop. Prod.* 33, 338–343.
- Badmaev, V. (1999). Tibetan medicine. In W. B. Jonas & J. S. Levin (Eds.), *Essentials of complementary and alternative medicine* (pp.253-275). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

- Bagamboula, C.F., Uyttendaele, M., Debevere, J., 2004. Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiol.* 21, 33–42.
- Bailey, S. E., Olin, T. J., Bricka R. M. and Adrian, D. D., A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research*, 33, 2469-2479 (1999).
- Ballester-Costa, C., Sendra, E., Ferná ndez-Lo´ pez, J., Pe´rez-A´ lvarez, J.A., Viuda-Martos, M., 2013. Chemical composition and in vitro antibacterial properties of essential oils of four *Thymus* species from organic growth. *Ind. Crops Prod.* 50, 304–311.
- Baker, A.J.M. (1981). Accumulators and excluders: strategies in the response of plants to heavy metals. *J Plant Nutr*;3:643–54.
- Baker, A.J.H., McGrath, S.P., Reeves, R.D., Smith, J.A.C. (2000). Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry N, Bañuelos G, editors. *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers;. p. 85–7.
- Baker, A.J.M., Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements-a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*;1:81–126.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. doi:10.1016/j.fct.2007.09.106
- Bampidis, V. A., Christodoulou, V., Christaki, E., Florou-Paneri, P., & Spais, A. B. (2005). Effect of dietary garlic bulb and garlic husk supplementation on performance and carcass characteristics of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 121(3-4), 273–283. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.02.003
- Barber, J., Francisco-Ortega, J., Santos-Guerra, A., Turner, K., Jansen, R., 2002. Origin of Macaronesic *Sideritis* L. (Lamioideae. Lamiaceae) inferred from nuclear and chloroplast sequence datasets. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 23, 293–306.

- Barros, L., Heleno, S.A., Carvalho, A.M., Ferreira, I.C.F.R., 2010. Lamiaceae often used in Portuguese folk medicine as a source of powerful antioxidants: vitamins and phenolic. *Food Sci. Technol.* 43, 544–550.
- Baye, H., Hymete, A. (2010). Lead and Cadmium Accumulation in Medicinal Plants Collected from Environmentally Different Sites. *Bull Environ Contam Toxicol* 84, 197–201
- Blanco, J., Ruiz, T., Pe´rez-Alonso, M.J., Va´zquez, F.M., Cases, M.A., Gervasini, C., 2010. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Thymbra capitata* (L.) Cav. in Spain. *Act. Bot. Gall.* 157, 55–63.
- Bogers, R. J., Craker, L. E., & Lange, D. (Eds.). (2006). *Medicinal and aromatic plants: Agricultural, commercial, ecological, legal, pharmacological and social aspects* (Wageningen UR Frontis Series). Netherlands: Springer.
- Botsoglou, N. A., Taitzoglou, I. A., Botsoglou, E., Zervos, I., Kokoli, A., Christaki, E., & Nikolaidis, E. (2009). Effect of long-term dietary administration of oregano and rosemary on the antioxidant status of rat serum, liver, kidney and heart after carbon tetrachloride-induced oxidative stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(8), 1397–1406. doi: 10.1002/jsfa.3601.
- Bottcher, H. (1965). *Miracle drugs* (pp. 23–139). Zagreb: Zora.
- Bown, D. (2001). *New encyclopedia of herbs and their uses*. London, England: Dorling Kindersley Ltd.
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Simin, N., Anackov, G., 2006. Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils. *J. Agric. Food Chem.* 54, 1822–1826.
- Brenes, A., & Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Animal Feed Science and Technology*, 158(1-2), 1–14.
- Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia, fitoquímica, plantas medicinales* (2nd ed.). Zaragoza: Editorial Acribia.
- Cai, J., & Zhen, Y. (2003). Medicine in ancient China. In H. Selin (Ed.), *Medicine across cultures: History and practice of medicine in Non-Western cultures* (pp. 49-73). Netherlands: Springer.

- Carvalhais L. C., Dennis P. G., Fedoseyenko D., Hajirezaei M. R., Borriss R., Wirén N. V. (2011). Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, potassium, and iron deficiency. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 3–11.
- Chary, N., Kamala, C., and Raj, D. (2008). Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotox. Environ. Safe* 69, 513–524.
- Chedia, A., Ghazghazi, H., Dallali, S., Houssine, S., Brahim, H., Abderazzak, M., 2013. Comparison of chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Thymus capitatus* L. essential oils from two Tunisian localities (Sousse and Bizerte). *J. Agronom. Plant Prod.* 4, 1772–1781.
- Cheung, C. W., Porter J. F. and McKay, G., Sorption kinetic analysis for the removal of cadmium ions from effluents using bone char. *Water Research*, 35, 605-621 (2001).
- Chojnacka, K., Chojnacki, A., Gorecka, H., Gorecki, H. (2005). Bioavailability of heavy metals from polluted soils to plants. *Science of the Total Environment* 337, 175–182.
- Christaki, E., Bonos, E., Giannenas I., & Florou-Paneri, P. (2012). Aromatic Plants as a Source of Bioactive Compounds. *Agriculture*, 2(3), 228-243. doi:10.3390/agriculture2030228
- Craker, L. E., & Gardner, Z. E. (2006). Medicinal plants and tomorrow's pharmacy: An American perspective. In R. J. Bogers, L. E. Craker, & D. Lange (Eds.), *Medicinal and aromatic plants: Agricultural, commercial, ecological, legal, pharmacological and social aspects* (Vol. 17, pp.29-41). Netherlands: Springer.
- Craker, L. E., Gardner, Z., & Etter, S. C. (2003). Herbs in American fields: A horticultural perspective of herb and medicinal plant production in the United States, 1903 to 2003. *HortScience*, 38, 977-983.
- de la Rosa, G., Peralta-Videa, J.R., Montes, M., Parsons, J.G., Gardea-Torresdey, J.L. (2004). Cadmium uptake and translocation in tumbleweed (*Salsola kali*), a potential Cd-hyperaccumulator desert plant species: ICP/OES and XAS studies. *Chemosphere*, 55, 1159–1168.

- De Montellano, B. O. (1975). Empirical Aztec medicine. *Science*, 188(4185), 215-220.
- Dezuane, J., Handbook of Drinking Water Quality Standards and Controls. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 64-69 (1990).
- Dimitrova, Z. (1999). *The history of pharmacy* (pp. 13–26). Sofija: St Clement of Ohrid.
- Dimopoulos, P., Raus, Th., Bergmeier, E., Constantinidis, Th., Iatrou, G., Kokkini, S., Strid, A. & Tzanoudakis, D. 2013: Vascular plants of Greece: An annotated checklist. - Berlin: Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem; Athens: Hellenic Botanical society.
- Duka, S., Piotrowska, M., Terelak, H. (1996). Transfer of cadmium, lead, and zinc from industriallycontaminated soil to crop plants: a field study. *Environ Pollut*, 94 181–188.
- Duthie, G. G., & Brown, K. M. (1994). Reducing the risk of cardiovascular disease. In I. Goldberg (Ed.), *Functional foods: Designer foods, pharmafoods, nutraceuticals* (pp.19-38). London, UK.: Chapman & Hall. doi:10.1007/978-1-4615-2073-3.
- Evans, S. T. (2004). *Ancient Mexico and Central America*. New York: Thames and Hudson.
- Facciola, S., 1990. *Cornucopia – A Source Book of Edible Plants*. Kampong Publications, Vista, CA.
- Faleiro, L., Miguel, G., Gomes, S., Costa, L., Venancio, F., Teixeira, A., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G., 2005. Antibacterial and antioxidant activities of essential oils isolated from *Thymbra capitata* (L.) Cav. and *Origanum vulgare* L. *J. Agric. Food Chem.* 53, 8162–8168.
- Fan, T., Ye, W. L., Chen, H. Y., Lu, H. J., Zhang, Y. H., Li, D. X., et al. (2013). Review on contamination and remediation technology of heavy metal in agricultural soil. *Ecol. Environ. Sci.* 22, 1727–1736 (in Chinese). doi: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2013.10.016
- Friedman, H. S., & Adler, N. E. (2007). The history and background of health psychology. In H. S. Friedman, & R. C. Silver (Eds.), *Foundations of health psychology* (pp. 3-18). New York, NY, US: Oxford University Press.

- Gabaldon, C., Marzal, P. and Seco, A., Cadmium and Zinc adsorption on to activated carbon: influence of temperature, pH and mental/carbon ratio. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 66, 279-285 (1996).
- Gardea-Torresdey, J.L. (2005). Production of low-molecularweight thiols as a response to cadmium uptake by tumbleweed (*Salsola kali*). *Plant Physiol Biochem*;43, 491–498.
- Greathead, H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(2), 279–290.
- González-Burgos, E., Carretero, M.E., Gómez-Serranillos, M.P., 2011. *Sideritis* spp.: Uses, chemical composition and pharmacological activities—A review. *Journal of Ethnopharmacology*. 135, 209-225.
- Guvenc, A., Houghton, P.J., Duman, H., Cos, kun, M., S, ahin, P., 2005. Antioxidant activity studies on selected *Sideritis* species native to Turkey. *Pharmaceutical Biology* 43, 173–177.
- Hooda, P.S. (1997). Plant availability of heavy metals in soils previously amended with heavy applications of sewage sludge. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 73, 446–454.
- Kachadourian, R., & Day, B. J. (2006). Flavonoid-induced glutathione depletion: Potential implications for cancer treatment. *Free Radical Biology and Medicine*, 41(1), 65-76.
- Kadri, A., Zarai, Z., Chobba, I. B., Bekir, A., Gharsallah, N., Damak, M., & Gdoura, R. (2011). Chemical constituents and antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil cultivated from South-Western Tunisia. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(25), 5999-6004.
- Kantsa, A., Sotiropoulou, S., Vaitis, M., & Petanidou, T. (2015). Plant volatilome in Greece: a review on the properties, prospects and chemogeography. *Chemistry and Biodiversity*, 12(10), 1466-1480. doi: 10.1002/cbdv.201500171.
- Kelley, M.E., Brauning, S.E., Schoof RA, Ruby MV. (2002). Assessing oral bioavailability of metals in soil. Ohio: Battelle Press. p 2, 18.
- Kelly, K. (2009). *The History of medicine* (pp. 29–50). New York: Facts on file.

- Khalid, N., Alunad, S., Toheed, A. and Alunad, J., Potential of rice husk for antimony removal. *Applied Radiation and Isotopes*, 47, 467 (2000).
- Lange, D. (2001). Trade in medicinal and aromatic plants: a financial instrument for nature conservation in Eastern and Southeast Europe? In B. Heinze, G. Baurle, & G. Stolpe (Eds.), *Financial instruments for nature conservation in Central and Eastern Europe* (BfN-Skripten, No. 50, p. 157-171). Bonn, Germany: German Federal Agency for Nature Conservation.
- Lao, L. (1999). Traditional Chinese medicine. In W. B. Jonas & J. S. Levin (Eds.), *Essentials of complementary and alternative medicine* (pp. 216-233). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Lawrence, B. M. (1985). A review of the world production of essential oils. *Perfumer Flavorist*, 10(5), 1-16.
- Lawrence, B.M., Tucker, A.O., 2002. The genus thymus as a source of commercial products. Thyme. The genus *Thymus*. In: Stahl- Bishup, E., Sa´ ez, F. (Eds.), . In: *Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles*, vol. 17. Taylor & Francis, London, pp. 252–262.
- Li Q., Sun Y., Guo H. J., Sang F., Ma H. Y., Peng H., et al. . (2018). Quality control of the traditional Chinese medicine Ruyi jinhuang powder based on high-throughput sequencing and real-time PCR. *Sci. Rep.* 8:8261.
- Li, J., Xu, Y. 2017, Use of clay to remediate cadmium contaminated soil under different water management regimes, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 141, 107-112.
- Lu H. N., Sun J. T., Zhu L. Z. (2017). The role of artificial root exudate components in facilitating the degradation of pyrene in soil. *Sci. Rep.* 7, 1–10.
- Lydakis-Simantiris, N., Fabian, M. & Skoula, M. (2016). Cultivation of medicinal and aromatic plants in heavy metal-contaminated soils. *Global NEST Journal*, 18, 630, 630-642.
- McGrath, D. (1996). Application of single and sequential extraction procedures to polluted and unpolluted soils. *Science of the Total Environment* 178, 37–44.
- McGrath, S.P., Zhao, F.J., Lombi, E. (2002). Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. *Adv Agric*;75:1–56.

- Madsen, H. L., & Bertelsen, G. (1995). Spices as antioxidants. *Trends in Food Science & Technology*, 6(8), 271-277. doi:10.1016/S0924-2244(00)89112-8
- Mamun, S. Al., Chanson, G., Benyas, E., Aktar, M., Lehto, N., McDowell R., & Robinson, B. (2016). Municipal composts reduce the transfer of Cd from soil to vegetables, *Env. Poll.* 213, 8–15
- Mahvi, A. H., Maleki, A. and Eslami, A., Potential of rice husk and rice husk ash for phenol removal in aqueous system. *American Journal of Applied Sciences*, 1, 321-326 (2004).
- Mateescu, I., Paun, L., Popescu, S., Roata, G., & Sidoroff, M. (2014). Medicinal and aromatic plants - A statistical study on the role of Phytotherapy in human health. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 71(1), 14-19.
- Martinos, K., Skoufogianni, E., Stathaki, C., & Solomou, A. (2015). *Biodiversity conservation and sustainable forest management in Greece: A study of past and future views under continuing stress factors*. Paper presented at the International workshop Biodiversity in the Mediterranean basin, University of Primorska, 11-13 March, Koper, Slovenia.
- Mench, M., Vangronsveld, J., Didier, V., Clijsters, H. (1994). Evaluating of metal mobility, plant availability and immobilization by chemical agents in a limed-silty soil. *Environmental Pollution* 86, 279–286.
- Miguel, G., Simões, M., Figueiredo, A. C., Barroso, J.G., Pedro, L. G. & Carvalho, L. (2004). Composition and antioxidant activities of the essential oils of *Thymus caespititius*, *Thymus camphoratus* and *Thymus mastichina*. *Food Chemistry*, 86(2), 183-188. doi:10.1016/j.foodchem.2003.08.031
- Milner, J. A. (1994). Reducing the risk of cancer. In I. Goldberg (Ed.), *Functional foods: Designer foods, pharmafoods, nutraceuticals* (pp. 39–70). London, UK.: Chapman & Hall. doi:10.1007/978-1-4615-2073-3
- Morales, R., 2002. The history, botany and taxonomy of the genus *Thymus*. Thyme. The genus *thymus*. In: Stahl-Bishop, E., Sa´ ez, F. (Eds.), . In: *Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles*, vol. 17. Taylor & Francis, London, pp. 1–43.

- Mossop, K.F., Davidson, C.M.(2003). Comparison of original and modified BCR sequential extraction procedures for the fractionation of copper, iron, lead, manganese and zinc in soils and sediments. *Analytica Chimica Acta* 478, 111–118.
- Mulas, M., 2006. Traditional uses of Labiatae in the Mediterranean area. In: Proc. First Int. Symp. On the Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation. *Acta Hort*, pp. 25–32 (vol. 723).
- Muller, M., Anke, M.. (1994). Distribution of cadmium in the food chain (soil-plant-human) of a cadmium exposed area and the health risks of the general population. *Science of the Total Environment* 156:151–158.
- Nedorostova, L., Kloucek, P., Kokoska, L., Stolcova, M., Pulkrabek, J., 2009. Antimicrobial properties of selected essential oils in vapour phase against foodborne bacteria. *Food Control* 20, 157–160.
- Negi, P. S. (2012). Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. *International Journal of Food Microbiology*, 156(1), 7-17. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.006
- Nunn, J. F. (1996). *Ancient Egyptian medicine*. Norman, OK: University of Oklahoma Press.
- Oakes, L., & Gahlin, L. (2003). *Ancient Egypt: An illustrated reference to the myths, religions, pyramids and temples of the land of the pharaohs*. New York: Barnes & Noble Books.
- Omidbeygi, M., Barzegar, M., Hamidi, Z., Naghdibadi, H., 2007. Antifungal activity of thyme, summer savory and clove essential oils against *Aspergillum flavus* in liquid medium and tomato paste. *Food Control* 18, 1518–1523.
- Palmeira-de Oliveira, A., Palmeira-de-Oliveira, R., Gaspar, C., Salgueiro, L., Cavaleiro Martinez-de-Oliveira, C.J., Queiroza, J.A., Rodrigues, A.G., 2013. Association of *Thymbra capitata* essential oil and chitosan (TCCH hydrogel): a putative therapeutic tool for the treatment of vulvovaginal candidosis. *Flav. Fragr. J.* 28, 354–359.
- Peijnenburg, W.J.G.M., Jager, T. (2003). Monitoring approaches to assess bioaccessibility and bioavailability of metals: Matrix issues. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 56, 63–77.

- Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupe, G., Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain. *Int J Biochem Cell Biol.*, 41(8-9),1665-1677.
- Perumalla, A. V. S., & Hettiarachchy, N. S. (2011). Green tea and grape seed extracts—Potential applications in food safety and quality. *Food Research International*, 44(4), 827-839. doi:10.1016/j.foodres.2011.01.022
- Peternele, W. S., Winkler-Hechenleitner, A. A. and GomezFineda, E. A., Adsorption of Cd (II) and Pb (II) on to functionalized formic lignin from sugar cane bagasse. *Bioresource Technology*, 68, 95-100 (1999).
- Poulose, A.J., Croteau, R., 1978a. Biosynthesis of aromatic monoterpenes-conversion of c-terpinene to p-cymene and thymol in *Thymus vulgaris* L. *Arch. Biochem. Biophys.* 187, 307–314.
- Sahuquillo, A., Rigol, A., Rauret, G. (2003). Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends in Analytical Chemistry* 22(3), 152–159.
- Senatore, F., 1996. Influence of harvesting time on yield and composition of the essential oil of thyme (*Thymus pulegioides* L.) growing wild in Campania (Southern Italy). *J. Agric. Food Chem.* 44, 1327–1332.
- Saoud, I., Hamrouni, L., Gargouri, S., Amri, I., Hanana, M., Fezzani, T., Bouzid, S., Jamoussi, B., 2013. Chemical composition, weed killer and antifungal activities of Tunisian thyme (*Thymus capitatus* Hoff. et Link.) essential oils. *Acta Aliment.* 42, 417–427.
- Sharon, D. G., & Donnan, C. B. (1977). The magic cactus: Ethnoarchaeological continuity in Peru. *Archaeology*, 30(6), 374-381.
- Solomakos, N., Govaris, A., Koidis, P., Botsoglou, N., 2008. The antimicrobial effect of thyme essential oil, nisin and their combination against *Escherichia coli* O157: H7 in minced beef during refrigerated storage. *Meat Sci.* 80, 159–166.
- Stefanou, P., Baloutas, D., Katsinikas, D., Abraham, E. M., Kyriazopoulos, A. P., Parissi, Z. M., & Arabatzis, G. (2014). *Cultivation and production of aromatic plants in Greece: present situation, possibilities and prospects*. Paper presented at the Proceedings of the 8th Panhellenic Rangeland Congress, Thessaloniki, 1-3 October.

- Steiner, R. W. R. (2003). Cultural perspectives on traditional Tibetan medicine. In H. Selin (Ed.), *Medicine across cultures: History and practice of medicine in Non-Western cultures* (pp. 85-113). Netherlands: Springer.
- Tiwari, S. (2008). Plants: A rich source of herbal medicine. *Journal of Natural Products*, 1, 27-35.
- Yu, H., Wang, J., Fang, W., Yuan, J., Yang, Z. (2006). Cadmium accumulation in different rice cultivars and screening for pollution-safe cultivars of rice. *Sci Total Environ*, 370,302–309.
- ur Rehman, M. Z., Khalid, H., Akmal, F., Ali, S., Rizwan, M., Farooq Qayyum, M., Muhammad Iqbal, Usman Khalid, M., Azhar, M. (2017). Effect of limestone, lignite and biochar applied alone and combined on cadmium uptake in wheat and rice under rotation in an effluent irrigated field, *Environmental Pollution*, 227, 560-568.
- Van de Braak, S. A. A. J., & Leijten, G. C. J. J. (1999). *Essential oils and oleoresins: A survey in the Netherlands and other major markets in the European Union*. The Netherlands: CBI, Centre for the Promotion of Imports from Developing Countries: Rotterdam, Netherlands.
- Vila, R., 2002. Flavonoids and further polyphenols in the genus *Thymus*. Thyme. The genus *Thymus*. In: Stahl-Bishop, E., Sa´ ez, F. (Eds.), . In: *Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles*, vol. 17. Taylor & Francis, London, pp. 144–176.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernandez-Lopez, J., Perez-Alvarez, J.A., 2009. Effect of adding citrus waste water, thyme and oregano essential oil, on the chemical, physical and sensory characteristic of a bologna sausage. *Int. Food Sci. Emerging Tech.* 10, 655–660.
- Voliotis, D. (1998). *Economic Botany* (pp. 266). Athens: Psichalos Press.
- Wiart, C. (2006). *Ethnopharmacology of medicinal plants: Asia and the Pacific* (pp.1-50). New Jersey: Humana Press. doi: 10.1007/978-1-59745-160-4
- Zarzuelo, A., Crespo, E., 2002. The medicinal and non –medicinal uses of Thyme. Thyme. The genus *Thymus*. In: Stahl-Bishop, E., Sa ez, F. (Eds.), . In: *Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles*, vol. 17. Taylor & Francis, London, pp. 263–292.

Yvon, Y., Raoelison, E.G., Razafindrazaka, R., Randriantsoa, A., Romdhane, M., Chabir, N., Mkaddem, M.G., Bouajila, J., 2012. Relation between chemical composition or antioxidant activity and antihypertensive activity for six essential oils. *J. Food Sci.* 77, H184–H191.

Walker T. S., Bais H. P., Grotewold E., Vivanco J. M. (2003). Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiol.* 32, 44–51.

Watanabe, M.A. (1997). Phytoremediation on the brink of commercialization. *Environmental Science and Technology* 31:182A–186A.

World Health Organization (WHO). (2001). Environmental Health Criteria for Zinc. Available from: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc221.htm>. Accessed 2004 September 13.

Wolnik, K.A., Fricke, F.L., Capar, S.G., Braude, G.L., Meyer, M.W., Satzger, R.D., Bonnin, E. (1983). Elements in major raw agricultural crops in the United States. Cadmium and lead in lettuce, peanuts, potatoes, soybeans, sweet corn, and wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31, 1240–1244.

Zhou, D.M., Hao, X.Z., Wang, Y.J., Dong, Y.H., Cang, L. (2005). Copper and zinc uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere* 59, 167–175.

Zhou, Q., Liu, Z. D., Liu, Y, Jiang, J., and Xu, R. K. (2016). Relative abundance of chemical forms of Cu(II) and Cd(II) on soybean roots as influenced by pH, cations and organic acids. *Sci. Rep.* doi: 10.1038/srep36373

Zuazo, V. H. D., Pleguezuelo, C. R. R., Martinez, J. R. F., Raya, A. M., Panadero, L. A., Rodríguez, B. C., & Moll, M. C. N. (2008). Benefits of plant strips for sustainable mountain agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(4), 497-505.