



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Σχολή Γεωπονικών

Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:
*«Τεχνολογίες Παραγωγής και Διατροφική Αξία
Φυτικών Προϊόντων»*

Διπλωματική Εργασία



*«Προσρόφηση Χρωμίου από τον Πλατύφυλλο
Βασιλικό SweetBasil (*Ocimum basilicum*, L). Επίδραση
στα Μορφολογικά και Φυσιολογικά χαρακτηριστικά των
Φυτών-Βιοσυσσώρευση»*

Φοιτήτρια: Παναγιώτα Ράπτη

A.M : 65620178/ 80008

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Σαλάχας

ΑΜΑΛΙΑΔΑ 2020

Διπλωματική εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Γεωπονίας του
Πανεπιστημίου Πατρών για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
στις Τεχνολογίες Παραγωγής και Διατροφική Αξία Φυτικών Προϊόντων .

Τριμελής επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων : Σαλάχας Γεώργιος , Καθηγητής

Μέλος Επιτροπής : Μπαρούχας Παντελής , Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέλος Επιτροπής : Καυγά Αγγελική , Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πειραματική διπλωματική μελέτη εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Τεχνολογίες Παραγωγής και Διατροφική Αξία Φυτικών Προϊόντων » του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ.Γεώργιου Σαλάχα.

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή μου κ.Γεώργιο Σαλάχα για την άψογη συνεργασία μας, τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσε καθώς και την καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την περάτωση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ.Παντελή Μπαρούχα για την πολύτιμη βοήθεια του στις μετρήσεις των αποτελεσμάτων των συγκεντρώσεων του χρωμίου στην ICP και την καθοδήγηση του, καθώς και την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Καυγά Αγγελική ως μέλος της Εξεταστικής Επιτροπής.. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Κουλόπουλο Αθανάσιο, ΕΤΕΠ στο Τμήμα Γεωπονίας, για την πολύτιμη αρωγή του και βοήθεια του στις εργαστηριακές μετρήσεις. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Παντελή Μιχάλα, συνάδελφο και ιδιοκτήτη του φυτωρίου « ΜΙΧΑΛΑΣ ΦΥΤΑ ΑΓ. Ο.Ε », από όπου προμηθευτήκαμε τα σπορόφυτα για την άψογη συνεργασία του και τις όμορφες συμβουλές του. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Παναγιώτη Ζαφειράκη, Διπλωματούχο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Υπολογιστών και διδάσκοντα στο τμήμα Μουσειολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών με έδρα τον Πύργο, για την υπέροχη καθοδήγηση του και εκπαίδευση μου στο στατιστικό πρόγραμμα ανάλυσης δεδομένων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όμως μέσα από την καρδιά μου την οικογένεια μου για την αγάπη και την στήριξη της σε κάθε επίπεδο όλο αυτό το διάστημα ώστε να αντιμετωπίσω κάθε δυσκολία και να ολοκληρώσω το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών με επιτυχία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά, των οποίων τα δραστικά συστατικά χρησιμοποιούνται για την πρόληψη ή την θεραπεία ασθενειών κατέχουν ιδιαίτερη θέση στις ανθρώπινες κοινωνίες, από την αρχαιότητα έως σήμερα. Ο πλατύφυλλος βασιλικός (*Ocimum basilicum*, L.), είναι ένα παγκόσμια δημοφιλές αρωματικό-φαρμακευτικό φυτό με καλλωπιστικές, μαγειρικές, αρωματικές, φαρμακευτικές, και θρησκευτικές χρήσεις.

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του γήινου φλοιού και είναι παρόντα σε ποικίλες συγκεντρώσεις σε όλα τα οικοσυστήματα. Εμφανίζονται σε ποικίλες μορφές ως ιόντα διαλυμένα στο νερό, ως ατμοί ή ως άλλατα ή μεταλλεύματα σε βράχους, στην άμμο και το έδαφος. Τα βαρέα μέταλλα μπορούν επίσης να δεσμευτούν σε οργανικά ή ανόργανα, μόρια ή ακόμα και να προσκολληθούν στα μόρια του αέρα. Μερικά μέταλλα έχουν αποδειχτεί σημαντικά ως ιχνοστοιχεία σε μικρές ποσότητες για τους ζώντες οργανισμούς. Εντούτοις ορισμένες μορφές μετάλλων είναι τοξικές ακόμα και σε μικρές ποσότητες.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της βιοσυσώρευση τοξικών ιόντων χρωμίου στον πλατύφυλλο Βασιλικό και κυρίως στα εδάδιμα μέρη του φυτού. Με την προτεινόμενη πειραματική διαδικασία επίσης διερευνήσαμε με την επίδραση του Cr^{3+} και του Cr^{6+} στα φυσιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του πλατύφυλλου Βασιλικού (Sweet Basil, *Ocimum basilicum*, L.).

Για τον σκοπό της παρούσας μελέτης επιλέχτηκε ένα διπαραγοντικό πείραμα με τρισθενές και εξασθενές χρώμιο. Για κάθε παράγοντα έχουμε 5 επεμβάσεις (0 mg kg^{-1} , 5 mg kg^{-1} , 10 mg kg^{-1} , 20 mg kg^{-1} και 40 mg kg^{-1}) και για κάθε παράγοντα έγιναν 3 επαναλήψεις (συνολικά 150 φυτά). Η εφαρμογή του Cr^{3+} έγινε με τη μορφή $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ και η εφαρμογή του Cr^{6+} με τη μορφή $K_2Cr_2O_7$.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, αυξανόμενης της συγκέντρωσης στα ριζοπότισματα τόσο του τρισθενούς όσο και του εξασθενούς χρωμίου, παρουσιάζεται αισθητή μείωση του ύψους των φυτών αλλά και του νωπού-ξηρού βάρους τους. Επίσης αυξανόμενης της συγκέντρωσης στο ριζοπότισμα τόσο του τρισθενούς όσο και του εξασθενούς χρωμίου, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης ολικού χρωμίου τόσο στις ρίζες όσο και στο φύλλωμα.

ABSTRACT

Aromatic and medicinal plants have a special place in human societies from antiquity to the present. Sweet basil (*Ocimum basilicum*, L.), is a world-famous aromatic-medicinal plant with ornamental, culinary, aromatic, medicinal, and religious uses.

Heavy metals are natural constituents of the earth's crust and are present in varying concentrations in all ecosystems. They occur in various forms as ions dissolved in water, as vapors or as other forms in rocks, sand and soil. They occur also binding in organic or inorganic molecules. Some metals have been shown to be important trace elements in small quantities for living organisms. However some forms of metals are toxic even in small quantities.

The aim of the present study was to investigate the bioaccumulation of toxic chromium ions in the broad leaf Basil and mainly in the edible parts of the plant. With the proposed experimental procedure we also investigated the effect of Cr^{3+} and Cr^{6+} on the physiological and morphological characteristics of the basil (*Ocimum basilicum*, L.).

A factorial experimental design with two variables, Cr^{3+} and Cr^{6+} , has been selected for the present study. For each variable, there were 5 interventions (0 mg L^{-1} , 5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} , 20 mg L^{-1} and 40 mg L^{-1}) and for each intervention there were 3 repeats (total 150 plants). Cr^{3+} was applied as $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and Cr^{6+} was applied as $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Our results show that the increase of the concentration of both trivalent and hexavalent chromium into irrigation solutions, causes a significant reduction in plant morphological and physiological characteristics. In addition, the increase of the concentration of both trivalent and hexavalent chromium into irrigation solutions, increases total chromium accumulation in both the roots and the leaves.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	12
1.1. Προέλευση βαρέων μετάλλων στο έδαφος, στο υδάτινο και στο εναέριο περιβάλλον. Συσσώρευση και ανώτατα επιτρεπτά όρια. 12	
1.2. Τοξικότητα βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο και τους ζωικούς οργανισμούς	17
1.3. Τοξικότητα βαρέων μετάλλων στα φυτά	19
1.4. Απορρόφηση βαρέων μετάλλων και μηχανισμοί ανθεκτικότητας στα φυτά.....	22
2. ΤΟ ΧΡΩΜΙΟ	26
2.1 Το χρώμιο στο έδαφος, στο υδάτινο και εναέριο περιβάλλον και στα τρόφιμα. Συσσώρευση -ανώτατα επιτρεπτά όρια.	26
2.2 Τοξικότητα χρωμίου στον ανθρώπινο οργανισμό	28
2.3 Η περίπτωση της Βοιωτίας (Ασωπός).....	30
2.4 Το χρώμιο στα φυτά. Τοξικότητα-βιοσυσσώρευση – ανώτατα επιτρεπτά όρια –μηχανισμοί ανθεκτικότητας.....	34
2.5 Χρώμιο και Αρωματικά Φαρμακευτικά Φυτά (Αφφ)	36
3. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΑΣΙΛΙΚΟ	38
3.1 Ταξινόμηση και Βοτανικά Χαρακτηριστικά.....	38

3.2	Μορφολογικά χαρακτηριστικά	43
3.3	Πολλαπλασιασμός-Καλλιέργεια	45
3.4	Εδαφοκλιματικές συνθήκες.....	47
3.5	Χρήσεις.....	49
3.6	Φαρμακευτικές ιδιότητες.....	52
3.7	Ο Πλατύφυλλος Βασιλικός (Sweet Basil).....	57
4.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	59
4.1	Επιλογή πειραματόφυτου-Περιγραφή πειράματος.....	59
4.2	Υπόστρωμα καλλιέργειας.....	68
4.3	Προετοιμασία διαλυμάτων	69
4.4	Επεξεργασία και ανάλυση φυτικού υλικού	69
4.5	Στατιστική ανάλυση	76
4.6	Σκοπός της εργασίας.....	77
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	78
5.1	Επίδραση της συγκέντρωσης χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά	78
5.2	Επίδραση της συγκέντρωσης του χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά	92
5.3	Επίδραση της συγκέντρωσης του χρωμίου στο νωπό και ξηρό βάρος φυτών	94
5.3.1	Νωπό και Ξηρό Βάρος φυλλωμάτων ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr ³⁺)	94
5.3.2	Νωπό και Ξηρό Βάρος ριζών ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr ³⁺).....	96

5.3.3. Νωπό και Ξηρό Βάρος φυλλωμάτων ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{6+})	98
5.3.4 Νωπό και Ξηρό Βάρος ριζών ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{6+}).....	100
5.4. Βιοσυσώρευση ιόντων Cr στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα των φυτών	103
5.4.1. Συγκέντρωση χρωμίου στα φύλλα.....	103
5.4.2. Συγκέντρωση χρωμίου στις ρίζες	105
5.5. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων απορροφήσης χρωμίου στο φύλλωμα	107
5.6. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων απορροφήσης χρωμίου στις ρίζες	110
5.7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	113
5.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	119
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	128
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	129
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	131

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της γής. Δε μπορούν να διασπαστούν σε απλούστερες μορφές ή να καταστραφούν. Είναι στοιχεία που εύκολα χάνουν ηλεκτρόνια για να σχηματίσουν φορτισμένα ιόντα. Συνήθως είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και αποτελούν στοιχεία με υψηλή τοξικότητα και μεγάλη πυκνότητα. Τα κυριότερα στοιχεία που ανήκουν στη κατηγορία αυτή είναι το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το νικέλιο (Ni) και ο ψευδάργυρος (Zn). Η τοξικότητά τους ποικίλει από στοιχείο σε στοιχείο. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των βαρέων μετάλλων είναι η τάση τους να συσσωρεύονται στο εδαφικό σύστημα σε υψηλά pH και η μειωμένη δυνατότητα απομάκρυνσής τους από το επιφανειακό στρώμα εδάφους. Στο εδαφικό διάλυμα βρίσκονται με τη μορφή ενώσεων με οργανικές ουσίες, ή αιωρούμενα στη διαλυτή τους μορφή ως σχηματισμένες ενώσεις. Σε μικρή έκταση εισάγονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω των τροφίμων, του πόσιμου νερού και του αέρα. Σαν ιχνοστοιχεία μερικά βαρέα μέταλλα (π.χ. χαλκός, σελήνιο, ψευδάργυρος) είναι απαραίτητα για να διατηρηθεί ο μεταβολισμός του ανθρώπινου σώματος. Εντούτοις, σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορούν να είναι τοξικά.

Δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα μπορεί να προκύψει, για παράδειγμα, απ' τη μόλυνση πόσιμου νερού (π.χ. σωλήνες μολύβδου), υψηλές συγκεντρώσεις στον περιβάλλοντα αέρα κοντά σε πηγές εκπομπής, ή εισαγωγή μέσω της τροφικής αλυσίδας. Η τροφική δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα είναι πολύ σπάνια και στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζεται μόνο μετά από περιβαλλοντική ρύπανση, όπως για παράδειγμα στην Ιαπωνία μεταξύ 1932 – 1955 όπου λύματα που περιείχαν υδράργυρο απελευθερώνονταν στο κόλπο Μιμιμάτα. Ο υδράργυρος συσσωρεύθηκε στη θαλάσσια ζωή και μέσω της κατανάλωσης θαλασσινών το 1952 παρουσιάστηκαν τα πρώτα κρούσματα δηλητηρίασης (Sharma, Nagpal & Kaur, 2018).

Το χρώμιο είναι ένα μεταλλικό στοιχείο που απαντάται στη φύση και επομένως αποτελεί μέρος και της διατροφικής αλυσίδας. Συναντάται σε τρία σθένη (μορφές): το δισθενές Cr (II), το τρισθενές Cr (III) και το εξασθενές Cr (VI). Το δισθενές είναι πολύ ασταθές και η πλέον σπάνια μορφή του. Στο τρισθενές χρώμιο, σχεδόν όλο το χρώμιο που υπάρχει στη φύση βρίσκεται υπό την μορφή του τρισθενούς χρωμίου. Το τρισθενές χρώμιο είναι ένα βασικό διατροφικό ιχνοστοιχείο που ενεργοποιεί την ινσουλίνη και βοηθά στο μεταβολισμό της γλυκόζης, των

πρωτεϊνών και των λιπών. Το εξασθενές χρώμιο που συναντάται στο περιβάλλον, προέρχεται αποκλειστικά σχεδόν από δραστηριότητες του ανθρώπου. Διάφορες βιομηχανίες εκπέμπουν στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος πλήθος ενώσεων εξασθενούς χρωμίου μέσω των διεργασιών τους. Σε αντίθεση με το τρισθενές, το εξασθενές χρώμιο είναι τοξικό και καρκινογόνο. Η πύλη εισόδου του χρωμίου στον ανθρώπινο οργανισμό είναι: η εισπνοή, η κατάποση και η δερματική επαφή. Επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν ότι η εισπνοή σκόνης που περιέχει εξασθενές χρώμιο, προκαλεί καρκίνο του πνεύμονα και της ρινικής κοιλότητας. Επίσης, εισπνοή σωματιδίων που περιέχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου μπορεί να προκαλέσει έλκος, αιμορραγία, κνησμό και φτάρνισμα (Salachas *et al.*, 2015).

Το χρώμιο ανήκει στα βαρέα μέταλλα και συνήθως βρίσκεται στη δεύτερη θέση στους πίνακες κατάταξης, ως ο τοξικότερος ρυπαντής του αέρα μετά το βενζόλιο. Χαρακτηρίζεται από αοσμία και σκληρότητα. Είναι λαμπερό με γκρίζο χρώμα. Είναι ισχυρά αντιδιαβρωτικό και αντιοξειδωτικό. Η παραδοξότητα με το τρισθενές χρώμιο και την μορφή του είναι ότι είναι απαραίτητη για την εύρυθμη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού (σε μικρές ποσότητες). Στο σώμα ως θρεπτική ουσία ενεργοποιεί την δράση της ινσουλίνης στους διάφορους ιστούς. Όσον αφορά το εξασθενές χρώμιο, είναι η πιο τοξική και επικίνδυνη μορφή του χρωμίου ακόμα και σε μικρές ποσότητες. Συναντάται μόνο ως παράγωγο ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Sharma, Nagpal & Kaur, 2018).

Όσον αφορά τα αρωματικά φυτά μέρος των οποίων είναι ο πλατύφυλλος βασιλικός, είναι τα φυτά, που τα δραστικά συστατικά τους, χρησιμοποιούνται για την πρόληψη ή την θεραπεία ασθενειών. Κοινό γνώρισμα των αρωματικών και των φαρμακευτικών φυτών είναι η ύπαρξη αρωματικών αιθέριων ελαίων, που χρησιμοποιούνται είτε για την παραλαβή φαρμακευτικών ουσιών, είτε σαν δρόγες που τους προσδίδονται φαρμακευτικές ιδιότητες. Ο πλατύφυλλος ή γλυκός βασιλικός (Sweet basil, Genovese.) οφείλει τα ονόματα του στο μέγεθος των φύλλων του και στο χαρακτηριστικό γλυκό του άρωμα. Είναι ετήσιο ποώδες φυτό, με ύψος που κυμαίνεται από 40 έως 70 εκατοστά, ανάλογα με την ποικιλία και τη γονιμότητα του εδάφους. Το φυτό είναι πολύκλαδο ρίζα πασσαλώδη με πολλές διακλαδώσεις. Τα φύλλα είναι ωοειδή με μήκος 7 έως 8 εκατοστά και ανοικτό πράσινο χρώμα. Τα λουλούδια είναι μικρά, συνήθως λευκά, τα οποία σε ορισμένες ποικιλίες είναι

τοποθετημένα σε πυκνούς σπονδύλους και σχηματίζουν μακριά στάχια ενώ σε κάποιες άλλες ποικιλίες υπάρχουν κόρυμβοι (Salachas, *et al.*, 2015).

Στην Ελλάδα, υπάρχουν περιοχές που είτε λόγω της έντονης βιομηχανοποίησης, είτε της μεταλλοφορίας που τις χαρακτηρίζει, εμφανίζουν συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια. Παραδείγματα ρύπανσης από έντονη βιομηχανοποίηση είναι η ευρύτερη περιοχή της Ελευσίνας, η Βοιωτία, η Θεσσαλονίκη, η Κρήτη, ενώ λόγω της ύπαρξης μεταλλευτικής δραστηριότητας είναι το Λαύριο και η Χαλκιδική. Η βιομηχανοποίηση της περιοχής της Βοιωτίας ξεκίνησε δειλά κατά το 1950 και γιγαντώθηκε μέσω της θέσπισης του ΠΔ 84/84 το έτος 1984 που απαγόρευε στις υπάρχουσες βιομηχανίες της Αττικής την επέκταση και τον εκσυγχρονισμό τους, αλλά έβαζε φρένο και στην ίδρυση νέων. Αποτέλεσμα του ΠΔ 84/84 ήταν αρκετές βιομηχανίες να μεταφερθούν στον κοντινό μερος των Οινόφυτων. Σήμερα στην περιοχή λειτουργούν περίπου 700 μονάδες. Ο ποταμός Ασωπός που βρίσκεται στην περιοχή έχει υποστεί εκτεταμένη ρύπανση από βαρέα μέταλλα. Το 1969 διυπουργική απόφαση επέτρεπε την διάθεση αποβλήτων στον ποταμό και το 1979 νέα απόφαση επέτρεπε την ελεύθερη διάθεση κατεργασμένων υγρών αποβλήτων. Σήμερα, παρόλα τα μέτρα που έχουν ληφθεί, η ρύπανση παραμένει υψηλή. Εκτός της πολύ μεγάλης βιομηχανοποίησης που γνωρίζει σήμερα η περιοχή στην ευρύτερη περιοχή, υπάρχει και έντονη γεωργική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα να έχουν επηρεαστεί αρνητικά οι υδροφόροι ορίζοντες (Betsou *et al*, 2019).

Βασισμένη στην επίκαιρη πραγματικότητα σε σχέση με τα παραπάνω, η συγκεκριμένη πτυχιακή αναλύει και μελετάει τις εφαρμογές ριζοποτισμάτων βασιλικού, μέσα από πείραμα στο θερμοκήπιο σε βαρέα μέταλλα, για να αναλυθεί με την μέθοδο ICP η συκέντρωση των βαρέων μετάλλων στους φυτικούς ιστούς (ρίζες και φυλλώματα).

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί η προσρόφηση χρωμίου από τον πλατύφυλλο Βασιλικό (Sweet Basill) καθώς και η επίδραση του στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών-Βιοσυσσώρευση. Δεδομένου ότι το χρώμιο είναι πολύ τοξικό, πρέπει να μελετήσουμε την προσρόφηση του και τις συγκεντρώσεις συσσώρευσης του στον Πλατύφυλλο Βασιλικό.

1.ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

1.1. Προέλευση βαρέων μετάλλων στο έδαφος, στο υδάτινο και στο εναέριο περιβάλλον. Συσσωρευση και ανώτατα επιτρεπτά όρια.

Σύμφωνα με τον περιοδικό πίνακα περίπου 84 από τα γνωστά σήμερα στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν ως μέταλλα, αν και η διάκριση μεταξύ μετάλλων και μη-μετάλλων δεν είναι πάντοτε ξεκάθαρη. Γενικά, ένας από τους συνηθέστερους ορισμούς για τα βαρέα μέταλλα τα περιγράφει ως στοιχεία με μεγάλη πυκνότητα περίπου 5g/cm^3 και ατομικό αριθμό υψηλότερο του 20 όπου δεν συμπεριλαμβάνονται τα αλκάλια και οι αλκαλικές γαίες. Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν 69 στοιχεία, από τα οποία τα 16 είναι συνθετικά και δεν απαντώνται στη φύση. Παρόλη την σαφήνεια του ορισμού των βαρέων μετάλλων υπάρχει σύγχυση για το τι στοιχεία θα περιλαμβάνει. Μάλιστα η διάκριση μεταξύ απαραίτητων και τοξικών ιχνοστοιχείων δεν είναι πάντοτε εύκολη ενώ τα μεταλλοειδή συχνά κατηγοριοποιούνται μαζί με τα βαρέα μέταλλα λόγω ομοιοτήτων που παρουσιάζουν στην τοξικότητα που προκαλείται στους δέκτες. Για τα φυτά τα βόριο, χαλκός, σίδηρος, μαγγάνιο, μολυβδαίνιο, πυρίτιο, βανάδιο και ψευδάργυρος έχει βρεθεί να απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία τους ενώ για τα ζώα απαραίτητα είναι ο χαλκός, το ιώδιο, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο, το σελήνιο και ο ψευδάργυρος. Οι ρόλοι του αρσενικού, του φθορίου, του νικελίου, του πυριτίου, του κασσίτερου και του βαναδίου έχουν επίσης καθιερωθεί ως χρήσιμα, τα τελευταία χρόνια, στη διατροφή. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις πολλά από τα ιχνοστοιχεία μπορεί να αποδειχθούν τοξικά για τα φυτά ή και τα ζώα ενώ σίγουρα επηρεάζουν την ποιότητα των τροφίμων για ανθρώπινη κατανάλωση. Προσεγγιστικά τα μέταλλα σύμφωνα με την βιολογική τους υπόσταση επιτρέπουν την ταξινόμησή τους σε τρεις ομάδες (Salachas, *et al.*, 2015).

Τα βαρέα μέταλλα βιβλιογραφικά είναι συνυφασμένα με την ρύπανση του περιβάλλοντος, μια ρύπανση που δεν διαφέρει κατά πολύ από αυτή που προκαλούν άλλοι παράγοντες. Οι έρευνες που ασχολούνται με την ατμοσφαιρική ρύπανση συχνά αναφέρονται σε σωματιδιακούς ρύπους ή αλλιώς σωματίδια τα οποία περιγράφουν όλες τις ουσίες στην ατμόσφαιρα και τους συνδυασμούς τους. Διακρίνονται για την

υγρή ή ξηρή εναπόθεσή τους στη γη ,η οποία αποτελεί ένα σύστημα συνεχής ανατροφοδότησης από τις πηγές. Τα σωματίδια ποικίλουν σε μεγέθη και από αυτό εξαρτάται ο ρυθμός εναπόθεσής τους άλλα και οι τοξικολογικές ιδιότητές τους. Έχουν εντοπιστεί σωματίδια μέχρι 0,25 μm και χαρακτηριστεί ως λεπτά σωματίδια όπως οι ενώσεις μολύβδου, εν αντιθέσει με τα χονδρόκοκκα που φτάνουν περίπου τα 10 μm (Musilova *et al.*, 2016).

Η μόλυνση του εδάφους με βαρέα μέταλλα είναι ένα σοβαρό παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα που ενέχει κινδύνους για τον άνθρωπο, τα ζώα, τα μικρόβια και τα φυτά και τη μόλυνση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Βαρέα μέταλλα και άλλοι ρύποι εισέρχονται στο οικοσύστημα του εδάφους μέσω φυσικών διεργασιών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο εδαφολογικό περιβάλλον εξαρτώνται κυρίως από τη γεωλογία της περιοχής, ενώ οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η διάθεση στερεών αποβλήτων, η άρδευση λυμάτων, η εφαρμογή ιλύος, οι εξατμίσεις των αυτοκινήτων, οι διαδικασίες εξόρυξης και τήξης, η αστικοποίηση, οι γεωργικές δραστηριότητες, και η εκβιομηχάνιση συμβάλλουν επίσης στην συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Ομοίως, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους έχουν ουσιαστικά αποτελέσματα στην συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και στη διαθεσιμότητά τους σε φυτά. Η τοξικότητα βαρέων μετάλλων συνδέεται κυρίως με τον προσδιορισμό των μετάλλων στο έδαφος (Banks, Schwab & Henderson, 2006).

Αν και υπάρχουν πολλές πηγές μόλυνσης των υδάτων, η εκβιομηχάνιση και η αστικοποίηση είναι δύο από τις κύριες αιτίες για το αυξημένο επίπεδο μόλυνσης των βαρέων μετάλλων. Τα βαρέα μέταλλα μεταφέρονται με απορροή από βιομηχανίες, δήμους και αστικές περιοχές. Τα περισσότερα από αυτά τα μέταλλα καταλήγουν να συσσωρεύονται στο έδαφος και στα ιζήματα των υδάτινων σωμάτων (Musilova *et al.*, 2016).

Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να βρεθούν σε ίχνη σε πηγές νερού και εξακολουθούν να είναι πολύ τοξικά και να επιφέρουν σοβαρά προβλήματα υγείας στον άνθρωπο και σε άλλα οικοσυστήματα. Αυτό συμβαίνει επειδή το επίπεδο τοξικότητας ενός μετάλλου εξαρτάται από παράγοντες όπως οι οργανισμοί που εκτίθενται σε αυτό, η φύση του, ο βιολογικός του ρόλος και η περίοδος κατά την οποία οι οργανισμοί εκτίθενται στο μέταλλο. Οι τροφικές αλυσίδες και οι ιστοί

τροφίμων συμβολίζουν τις σχέσεις μεταξύ των οργανισμών. Επομένως, η μόλυνση του νερού από βαρέα μέταλλα επηρεάζει πραγματικά όλους τους οργανισμούς. Οι άνθρωποι, ένα παράδειγμα οργανισμών που τρέφονται στο υψηλότερο επίπεδο της διατροφικής αλυσίδας, είναι πιο επιρρεπείς σε σοβαρά προβλήματα υγείας, επειδή οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων αυξάνονται στην τροφική αλυσίδα (Lee *et al.*, 2002).

Η εκβιομηχάνιση και η αστικοποίηση, λόγω της ταχείας αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, έχουν πρόσφατα καταστήσει την ατμοσφαιρική ρύπανση ως σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα σε όλο τον κόσμο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αναφέρθηκε ότι επιταχύνθηκε από σκόνη και σωματίδια (PM) ιδιαίτερα λεπτά σωματίδια όπως τα PM_{2.5} και PM₁₀ που απελευθερώνονται μέσω φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών. Οι φυσικές διεργασίες που απελευθερώνουν σωματίδια στον αέρα περιλαμβάνουν καταιγίδες σκόνης, διάβρωση εδάφους, ηφαιστειακές εκρήξεις και καιρικές συνθήκες, ενώ οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες σχετίζονται περισσότερο με τη βιομηχανία και τη μεταφορά (Soleimani *et al.*, 2018).

Τα σωματίδια είναι σημαντικά και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, καθώς μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρά προβλήματα υγείας, όπως ερεθισμό του δέρματος και των ματιών, αναπνευστικές λοιμώξεις, πρόωρη θνησιμότητα και καρδιαγγειακές παθήσεις. Αυτοί οι ρύποι προκαλούν επίσης επιδείνωση της υποδομής, διάβρωση, σχηματισμό όξινης βροχής, ευτροφισμού και ομίχλης (Herawati *et al.*, 2000). Μεταξύ άλλων, βαρέα μέταλλα όπως μέταλλα ομάδας 1 (Cu, Cd, Pb), μέταλλα ομάδας 2 (Cr, Mn, Ni, V και Zn) και μέταλλα ομάδας 3 (Na, K, Ca, Ti, Al, Mg, Fe) προέρχονται από τις βιομηχανικές περιοχές, κυκλοφορία και φυσικές πηγές, αντίστοιχα (Soleimani *et al.*, 2018; Ventura *et al.*, 2017).

Τα θέματα μόλυνσης μετάλλων γίνονται ολοένα και πιο κοινά, με πολλές τεκμηριωμένες περιπτώσεις τοξικότητας μετάλλων σε μεταλλευτικές βιομηχανίες, χυτήρια, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα και εκτεταμένη γεωργία. Τα βαρέα μέταλλα, όπως το κάδμιο, ο χαλκός, ο μόλυβδος, το χρώμιο και ο υδράργυρος είναι σημαντικοί περιβαλλοντικοί ρύποι, ιδίως σε περιοχές με υψηλή ανθρωπογενή πίεση (Rezania, et al 2016).

Η υφή του εδάφους μαζί με άλλους παράγοντες είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που προκαλεί τη διαθεσιμότητα μετάλλων στο έδαφος. Τα

περιεχόμενα του αργίλου μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων και την επακόλουθη τοξικότητά τους στους ζωντανούς οργανισμούς. Οι καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε αμμώδες έδαφος έχουν έλλειψη μετάλλων, ιδιαίτερα Zn, σε σύγκριση με την αργιλώδη υφή. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο μεγάλο μέγεθος των πόρων και στη χαμηλή ικανότητα συγκράτησης του αμμώδους εδάφους για τη συγκράτηση μετάλλων. Η μεταφορά βαρέων μετάλλων από το έδαφος στο φυτό επηρεάζεται έντονα από την υφή του εδάφους. Τα φυτά που καλλιεργούνται σε αμμώδες έδαφος έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων από εκείνα που καλλιεργούνται σε αργιλώδες έδαφος. Η υψηλή βιοσυσσώρευση στα φυτά συνδέεται με μεγαλύτερη κινητικότητα μετάλλων σε αμμώδες έδαφος. Οι μικροοργανισμοί και τα βαρέα μέταλλα έχουν σημαντικά αρνητική σχέση. Έχουν αναφερθεί επιδράσεις υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στη δομή, τη δραστηριότητα και την αφθονία της μικροβιακής κοινότητας. Ομοίως, υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ μικροβίων του εδάφους και της υφής του εδάφους, Επιπλέον, η κίνηση των βαρέων μετάλλων από τον άνω προς τον κάτω ορίζοντα του εδάφους επηρεάζεται επίσης από την υφή του εδάφους. Σε αμμώδες έδαφος, τα βαρέα μέταλλα μπορούν εύκολα να μετακινηθούν από τον ένα ορίζοντα στον άλλο σε σύγκριση με το έδαφος από πηλό. Το μέγεθος των πόρων επηρεάζει επίσης την κινητικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Οι εκροές από την βιομηχανία συμβάλλουν στην ρύπανση νερόλακκων και λιμνών, εκβολών ποταμών και λιμνοθαλασσών, υγροτόπων και ωκεανών, συμβάλλοντας τελικά στην επιβάρυνση του κύκλου του νερού με πλήθος βαρέων μετάλλων. Υπάρχει μεταφορά μερικών μετάλλων σε κάποια ιζηματογενή περιβάλλοντα όταν διαλύονται, ορισμένα υπάρχουν ως αιωρούμενα ιζήματα (ανόργανα και οργανικά) και η κίνηση των υπολοίπων γίνεται εντός ενός ενιαίου στρώματος. Ένα μέταλλο που κινείται σε ενιαία στρώματα ή σε ενιαίες επιφανειακές αποθέσεις-ιζήματα μπορεί, αφού καθαριστεί από κάποιον υποκείμενο οργανισμό, να εισχωρήσει και αυτό εντός της τροφικής αλυσίδας. Εάν παρατηρείται η απόθεση από βαρέα μέταλλα εντός ενός ιζήματος, συχνά ακινητοποιούνται αναλόγως των φυσικοχημικών συνθηκών των υποκειμένων ιζημάτων. Παραδείγματος χάρη, υπάρχει προσρόφιση του αρσενικού -σιδήρου και ακινητοποίηση του όσο υπάρχουν ικανοποιητικά επίπεδα οξείδωσης. Η ακινητοποίηση άλλων βαρέων μετάλλων

(υδράργυρος, κάδμιο, χαλκός, παλλάδιο, ψευδάργυρος) γίνεται μέσω κατάλληλων επιπέδων στην οξειδοαναγωγή και συνθηκών pH σε ιζηματογενές περιβάλλον, ιδιαίτερα εάν υπάρχουν ιόντα θείου. Ο ρυθμός κινητικότητας ή ακινητοποίησης εξακολουθεί να είναι ο ίδιος, τόσο εντός ιζηματογενών ακολουθιών, όσο και επιφανειακών αποθέσεων (Sharma, Nagpal & Kaur, 2018).

Πλήθος οργανισμών έχει προσπαθήσει να προσδιορίσει τα μέγιστα επίπεδα στην ρύπανση των εν δυνάμει τοξικών μετάλλων και άλλων ανόργανων-οργανικών συστατικών του νερού και των τροφών. Μεταξύ αυτών είναι: ο Διεθνής Οργανισμός για την Υγεία (World Health Organization), η Διεύθυνση Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (USA Environmental Protection Agency), ο Αμερικάνικος Οργανισμός Υγείας (Pan American Health Organization) και η Ευρωπαϊκή Ένωση Υγείας (European Health Union) (Ai, *et al.*, 2018).

Ενώ το Cr (III) είναι σχετικά σταθερό και μη τοξικό, το Cr (VI) διατίθεται εύκολα μέσω του εδάφους και του νερού και αποτελεί ισχυρό οξειδωτικό παράγοντα (Singh & Singh, 2003). Έτσι, ενώ στη συμβατική μέθοδο η επεξεργασία του Cr (VI) που περιέχεται στα απόβλητα έχει ως αποτέλεσμα την αναγωγή του σε Cr (III) και την καθίζησή του υπό τη μορφή σταθερού υδροξειδίου (Cr (OH)₃), το τελευταίο δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας στην εναπόθεσή του στο περιβάλλον. Κι αυτό, επειδή υπάρχει πάντα η πιθανότητα επαναοξειδώσής του σε Cr (VI) υπό την παρουσία οξειδίων του μαγγανίου στο έδαφος ή λόγω των καιρικών συνθηκών. Έρευνες για την απομάκρυνση του Cr (VI) έχουν αποδείξει ότι με τη χρήση ηλεκτροδίων σιδήρου υπάρχει μεγάλη αποτελεσματικότητα, καθώς υπάρχει σταθερή σύνδεση μεταξύ Cr (III) και Fe (III) και υπό την παρουσία ισχυρής δέσμευσης η πιθανότητα επαναοξείδωσης του Cr (III) σε Cr (VI) μειώνεται (Al-Thani & Koc & Isaifan, 2018).

Η κύρια πηγή χρωμίου στα εδαφικά συστήματα είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων. Η περιεκτικότητα των περισσότερων πετρωμάτων σε χρώμιο κυμαίνεται από 5 έως 1800 mg/kg. Οι συγκεντρώσεις του μετάλλου στο έδαφος κυμαίνονται μεταξύ 1-300 mg/Kg. Στα περισσότερα εδάφη, βέβαια υπάρχει σε χαμηλές περιεκτικότητες (2 - 60 mg/kg) και από αυτά ένα πολύ μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο στα φυτά (μέχρι 0,19 mg/kg). Δεν έχει διευκρινιστεί επαρκώς το κατά πόσο το χρώμιο είναι γι' αυτά ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο. Αύξηση της τοπικής

συγκέντρωσης του χρωμίου στο έδαφος προέρχεται από την απόθεση και έκπλυση ατμοσφαιρικών σωματιδίων που περιέχουν χρώμιο, καθώς επίσης και από την απόθεση ιλύων και αποβλήτων από βιομηχανικές δραστηριότητες. Στα εδάφη το χρώμιο παρουσιάζεται κυρίως ως αδιάλυτο Cr (OH)₃ ή ως Cr (III) προσροφημένο σε εδαφικά συστατικά, γεγονός που εμποδίζει την εκχύλισή στα υπόγεια ύδατα ή την πρόσληψή του από τα φυτά. Η μορφή του χρωμίου στο έδαφος εξαρτάται από το δυναμικό οξειδοαναγωγής και το pH. Στην Ελλάδα, τα κοιτάσματα χρωμίου εμφανίζονται σε μανδουακής προέλευσης περιδοτίτες (υπερβασικά πετρώματα) και κυρίως μέσα σε δουνίτες οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Συγκεκριμένα κατά τη σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών σημαντικό τμήμα του ωκεάνιου φλοιού καταστράφηκε και το υπόλοιπο ανεβαίνοντας στην επιφάνεια δημιούργησε τα οφιολιθικά συμπλέγματα (Sinha, 2016).

1.2. Τοξικότητα βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο και τους ζωικούς οργανισμούς

Τα βαρέα μέταλλα είναι χημικά στοιχεία που έχουν ειδικό βάρος τουλάχιστον πέντε φορές μεγαλύτερο από αυτό του νερού. Αυτά που συνήθως εμπλέκονται σε ατυχήματα δηλητηρίασης του ανθρώπου είναι ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το αρσενικό και το κάδμιο, το νικέλιο, το αργίλιο, το ασήμι και το βηρύλλιο. Μερικά μέταλλα, όπως ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, το χρώμιο, ο σίδηρος και το μαγγάνιο είναι απαραίτητα για τον οργανισμό σε μικρές ποσότητες, αλλά τα ίδια μπορεί να γίνουν τοξικά σε μεγαλύτερες ποσότητες (Economou-Eliopoulos *et al.*, 2017).

Όσον αφορά τον μόλυβδο, ο ατμοσφαιρικός αέρας με περιεκτικότητα περίπου 1μg/m³ σε Pb θεωρείται επικίνδυνος για τους ζώντες οργανισμούς (Γεντεκάκης, 2010). Η συμβολή των φυσικών πηγών είναι σχεδόν ασήμαντη.

Το κάδμιο (Cd) θεωρείται πιο τοξικό από το μόλυβδο, αλλά η χρήση του είναι κατά πολύ περιορισμένη. Η τοξικότητά του έγκειται στο γεγονός της υψηλής κινητικότητάς του και των σοβαρών επιπτώσεων στους οργανισμούς, ακόμη και σε χαμηλή συγκέντρωση (Jaishankar *et al.*, 2014).

Όσον αφορά τον υδράγυρο, έπειτα από έρευνες, αποδείχθηκε ως εξαιρετικά τοξικό από τα βαρέα μέταλλα και κατατάσσεται τρίτος στον κατάλογο ουσιών CERCLA υπηρεσία της EPA (United States Environmental Protection Agency) από την άποψη του κινδύνου που ενέχει για την ανθρώπινη νοσηρότητα και θνησιμότητα.

Ο υδράργυρος, ακόμη, αλληλεπιδρά σε διάφορα μέρη του οικοσυστήματος και προκαλεί σοβαρές βιοχημικές και φυσιολογικές διαταραχές ιδιαίτερα στον φυτικό κόσμο (Wuana & Okieimen, 2011).

Όσον αφορά το χρώμιο, θεωρείται ένα από τα πιο επιβλαβή στοιχεία. Οι πιο σταθερές και συνηθισμένες μορφές οξείδωσης του Cr είναι τρισθενής (Cr (III)) και εξασθενής (Cr (VI)). Το εξασθενές Cr είναι το πλέον τοξικό είδος επειδή έχει υψηλό δυναμικό οξειδώσεως, διαλυτότητα και κινητικότητα δια μέσου των μεμβρανών στους οργανισμούς. Το τρισθενές Cr είναι σχετικά αδιάλυτο στο νερό και τείνει να σχηματίζει ιζήματα υδροξειδίου με Fe στις τυπικές τιμές pH του υπόγειου νερού. Ωστόσο, σε υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου ή οξειδίων του Mn, το Cr (III) μπορεί να οξειδωθεί σε Cr (VI) (Salachas, *et al.*, 2015).

Ένα βαρύ μέταλλο είναι ένα χημικό στοιχείο ειδικού βάρους τουλάχιστον πενταπλάσιου του νερού. Σε δηλητηριάσεις ανθρώπων έχουν συνήθως εμπλοκή τα βαρέα μέταλλα του μολύβδου, υδράργυρο, αρσενικού, καδμίου, νικελίου, αργίλιου, ασημιού και βηρυλλίου. Μικρές ποσότητες ορισμένων μετάλλων όπως του ψευδαργύρου, του χαλκού, του χρωμίου, του σιδήρου και του μαγγανίου είναι απαραίτητες για τους οργανισμούς, αλλά σε μεγάλες ποσότητες γίνονται τοξικές. (Aí *et al*, 2018)

Τοξικά βαρέα μέταλλα είναι οποιαδήποτε σχετικά πυκνά μέταλλα ή μεταλλοειδή που σημειώνονται για το ποσό πιθανά τοξικά είναι, ιδιαιτέρως στο περιβάλλον. Ιδιαίτερη εφαρμογή του όρου υπάρχει στην περίπτωση του καδμίου, του υδραργύρου, του μολύβδου και του αρσενικού, τα οποία έχουν θέση στον κατάλογο της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας. Άλλες περιπτώσεις είναι αυτές του μαγγανίου, του χρωμίου, του κοβαλτίου, του νικελίου, του χαλκού, ψευδαργύρου, του σεληνίου, του αντιμονίου, και του θαλλίου (Prasad, *et al.*, 2011).

Ένα τοξικό βαρύ μέταλλο βρίσκεται εκ φύσεως στην επιφάνεια της γης και συγκέντρωση του γίνεται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Μπορεί να εισβάλει στον ιστό σε φυτά, ζώα και ανθρώπους μέσα από την εισπνοή, την διατροφή και την διακίνηση φορτίων. Έπειτα υπάρχει σύνδεση του και παρεμβαίνει στο πώς λειτουργούν τα ζωτικά κυτταρικά συστατικά. Το πόσο τοξικά είναι το αρσενικό, ο υδράργυρος και ο μόλυβδος ήταν γνωστό από τα αρχαία χρόνια, αλλά η χρονολόγηση των μεθοδικών μελετών για την τοξικότητα σε ορισμένα βαρέα μέταλλα ξεκινάει το

1868. Στον άνθρωπο, οι δηλητηριάσεις εξαιτίας βαρέων μετάλλων μπορεί να αντιμετωπιστούν (Ahmad & Ashraf, 2011). Ένα βαρύ μέταλλο μπορεί να εισέλθει στους οργανισμούς των ανθρώπων μέσα από την τροφή, το νερό ή τον αέρα ή μέσω απορρόφησης του δέρματος. Εκεί υπάρχει ανταγωνισμός και αντικατάσταση απαραίτητων μεταλλικών στοιχείων όπως του ασβεστίου ή του μαγνησίου και παρέμβαση στις λειτουργίες για ποικίλα συστήματα (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Οι ομάδες στοιχείων με πιο συνηθισμένη εμπλοκή στην τροποποίηση στα βιολογικά μόρια είναι το οξυγόνο, το θείο και το άζωτο. Όταν ένα μέταλλο δεσμεύεται με ένα από αυτά τα στοιχεία υπάρχει απενεργοποίηση σημαντικών ενζυμικών συστημάτων ή προκαλούνται πρωτεϊνικές καταστροφές. Οι άνθρωποι μπορούν να έρθουν σε επαφή με κάποιο βαρύ μέταλλο ως εργαζόμενοι στις βιομηχανίες, μέσω της παρασκευής για φαρμακευτικά προϊόντα καθώς και μέσω της γεωργίας. Ένα παιδί μπορεί επίσης να δηλητηριαστεί εάν παίζει σε μολυσμένα εδάφη. Τα μέταλλα που εμπλέκονται συχνότερα σε οξείες ή χρόνιες τοξικότητες είναι ο μόλυβδος, το αρσενικό και ο υδράργυρος (Sharma, Nagpal & Kaur, 2018).

Σε ασυμπτωματικούς εργαζόμενους που έχουν εκτεθεί χρόνια σε μόλυβδο, οι υποκλινικές βλάβες στο περιφερικό νευρικό σύστημα περιλαμβάνουν πλήθος αλλαγών στο ηλεκτρομυογράφημα. Οι κλασικές φόρμες στην νευροπάθεια μολύβδου περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο αδυναμία στους καρπούς και τα δάχτυλα, όμως στη συνέχεια εξαπλώνονται και στο υπόλοιπο με οικόσυστημα. Μία έκθεση με μικρή διάρκεια σε υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου μπορούν να προκαλέσουν κινητικές νευροπάθειες λαμβάνοντας υποξεία μορφή. Οι προγνώσεις για την αποκατάσταση είναι καλές, εφόσον υπάρξει άμεση λήξη της έκθεσης. Οι κινητικές νευροπάθειες αναπτύσσονται έπειτα από χρόνια έκθεση, η εξέλιξή τους είναι πιο αργή και είναι λιγότερο βέβαια πως θα αποκατασταθούν. Υπάρχουν πεποιθήσεις πως οι βάσεις των νευροπαθήσεων είναι σχετικές του μεταβολισμού της πορφυρίνης (Prasad, *et al.*, 2011).

1.3. Τοξικότητα βαρέων μετάλλων στα φυτά

Τα βαρέα μέταλλα δεδομένου ότι δεν αποικοδομούνται, συσσωρεύονται στο έδαφος και εισχωρούν στον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτό συμβαίνει δια μέσου των ανεπεξέργαστων αποβλήτων που απελευθερώνονται μέσω των βιομηχανιών, την

ανεξέλεγκτη διάθεση και καύση στερεών απορριμμάτων, αλλά και μέσω της εξόρυξης κοντά σε περιοχές εξόρυξης μεταλλευμάτων, μολύνοντας έτσι τα καλλιεργούμενα φυτά, τα ζώα που τρέφονται με μολυσμένο χορτάρι, τα παράκτια οικοσυστήματα αλλά και τα ιδιαίτερος εύαλωτα κοραλλιογενή συστήματα. Στα φυτά υπάρχουν μεταλλοτοξικότητες, οι οποίες είναι αποτέλεσμα σύνθετων αντιδράσεων που συμβαίνουν στο έδαφος και στο φυτό. Έτσι, υπάρχουν σχέσεις μεταξύ των ιόντων ή ακόμα και διαφορετική σχέση μετάλλων με φυτικούς γενότυπους. Η ερμηνεία των σχέσεων αυτών είναι πιθανοί βιοχημικοί μηχανισμοί των φυτών και έτσι εκφράζεται το πόσο ανθεκτικά ή ευαίσθητα είναι τα φυτά στα βαρέα μέταλλα (Lv, *et al.*, 2017).

Τα λαχανικά αποτελούν σημαντική πηγή τροφής και η μόλυνσή τους μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας. Τα φυλλώδη λαχανικά όπως το μαρούλι θεωρούνται πιθανοί υπερσυσσωρευτές βαρέων μετάλλων. Μία από τις ιδιότητες των πράσινων φυλλωδών λαχανικών είναι η συσσώρευση βαρέων μετάλλων στους ιστούς τους χωρίς να παρουσιάζουν συμπτώματα τοξικότητας. Με την αύξηση της διάρκειας έκθεσης, οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στις ρίζες του μαρουλιού και τους βλαστούς αυξάνονται. Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στη φυσιολογία και την ανάπτυξη της τομάτας σε μεταβλητές συγκεντρώσεις και να οδηγήσουν σε χλώρωση και νεκρωτικά συμπτώματα στα φύλλα. Τα φυτά που καλλιεργούνται σε αρδευόμενα από λύματα εδάφη περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στα φυτικά και μη φυτικά μέρη τους. Το μαρούλι έχει μεγαλύτερη ικανότητα συσσώρευσης βαρέων μετάλλων σε διαφορετικούς ιστούς. Η πρόσληψη βαρέων μετάλλων επηρεάζεται επίσης από διαφορετικά είδη φυτών και εντός του ίδιου είδους από διαφορετικές ποικιλίες. Όπως και άλλες καλλιέργειες τροφίμων, η πατάτα είναι μια σημαντική καλλιέργεια τροφίμων που καλλιεργείται σε ολόκληρο τον κόσμο. Είναι πλούσια σε ενέργεια, διαιτητικές ίνες, βιταμίνες, υδατάνθρακες και βασικά στοιχεία όπως Fe, Ca, Zn και K. Οι συγκεντρώσεις ορυκτών και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών μπορεί επίσης να επηρεαστούν από τοξικά μέταλλα. Σύμφωνα με τη Σουηδική Εθνική Υπηρεσία Τροφίμων (1984), η κατανάλωση πατάτας (200 g) παρέχει υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, ενέργεια, Ca, Cu, P, Fe, Mg και Zn (36,6 g, 3,8 g, 172 kcal, 0,44 mg, 18 mg, 90 mg, 1,2 mg, 48 mg και 0,82 mg, αντίστοιχα). Το pH του εδάφους επηρεάζει ουσιαστικά την παροχή αυτών των βασικών θρεπτικών συστατικών στα φυτά. Χαμηλό pH σημαίνει περισσότερη

παροχή θρεπτικών ουσιών. Επιπλέον, η παροχή θρεπτικών συστατικών στα φυτά επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, το κλίμα, οι πρακτικές καλλιέργειας και η κατάσταση αποθήκευσης. Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων ποικίλλουν επίσης στα διαφορετικά όργανα του ίδιου φυτού (Rezania, *et al.*, 2016).

Τα λαχανικά είναι ευάλωτα σε βαρέα μέταλλα σε υψηλές συγκεντρώσεις και η μεγάλη κλίμακας άρδευση με λύματα και η εφαρμογή λιπασμάτων για εμπορική παραγωγή αυξάνουν τον κίνδυνο μόλυνσης από βαρέα μέταλλα. Τα βαρέα μέταλλα έχουν σημαντικά αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών. Άλλες τοξικές επιδράσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τη λεύκανση των ριζών, την αλλαγή των συγκεντρώσεων των μετάλλων και τις αλλαγές στη φωτοσύνθεση. Σε υψηλότερη συγκέντρωση, το μέταλλο μετακινείται από τις ρίζες στους βλαστούς του φυτού. Οι συγκεντρώσεις μετάλλων στους ιστούς των φυτών κυμαίνονταν από 0,02-7, 0,1-2,4, 0,2-1,0, 4-15, 1,0 και 1-13 mg kg⁻¹ για As, Cd, Cr, Cu, Ni και Pb, αντίστοιχα (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Τα λαχανικά (φυλλώδη και μη φυλλώδη) που καλλιεργούνται σε μολυσμένο έδαφος θεωρούνται ως η κύρια πηγή βαρέων μετάλλων. Με βάση την πρόσληψη βαρέων μετάλλων, οι εγκαταστάσεις ταξινομούνται ως συσσωρευτές, υπερσυσσωρευτές και εξατμιστές. Η μόλυνση των φυτών με βαρέα μέταλλα μπορεί να συμβεί μέσω διεπαφών εδάφους-φυτού, νερού-φυτού και αέρα-φυτού. Ωστόσο, η διεπαφή εδάφους-φυτού είναι η κύρια πηγή συσσώρευσης μετάλλων στα φυτά. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι υπάρχει μια ισχυρή σχέση μεταξύ βαρέων μετάλλων στο έδαφος και καλλιέργειας τροφίμων. Γενικά, η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από την ποσότητα των ανταλλάξιμων μετάλλων στο έδαφος. Ομοίως, η διαλυτότητα και ο τύπος του εδάφους επηρεάζουν επίσης την πρόσληψη μετάλλων από τα φυτά. Η μέση πρόσληψη βαρέων μετάλλων από τα φυτά αυξάνεται καθώς το περιεχόμενο αυτών των μετάλλων αυξάνεται στο έδαφος. Η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από την απόσταση από την πηγή. Το ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας ήταν υψηλότερο στα φυτά κοντά σε δρόμους με μεγάλη κυκλοφορία. Τα εδάφη μειώνουν τη διαθεσιμότητα μετάλλων σε φυτά αποφεύγοντας τη μόλυνση της τροφικής αλυσίδας. Η βιοδιαθεσιμότητα του Cd είναι η υψηλότερη, ενώ η βιοδιαθεσιμότητα του As είναι η χαμηλότερη για καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε μολυσμένο έδαφος βαρέων μετάλλων. Ο *Amaranthus dubius*

έχει την ικανότητα να απομακρύνει βαρέα μέταλλα από το έδαφος μέσω του ριζικού του συστήματος, αλλά η απορρόφηση των βλαστών είναι αμελητέα για έναν αριθμό βαρέων μετάλλων όπως As, Cr, Cu, Ni και Pb (Sattar, 2018).

1.4. Απορρόφηση βαρέων μετάλλων και μηχανισμοί ανθεκτικότητας στα φυτά.

Η συσσώρευση βαρέων μετάλλων στα εδάφη προκαλεί ανησυχία στη γεωργική παραγωγή λόγω των αρνητικών επιπτώσεων στην ασφάλεια των τροφίμων και την εμπορευσιμότητα, την ανάπτυξη των καλλιεργειών λόγω φυτοτοξικότητας και την περιβαλλοντική υγεία των εδαφικών οργανισμών. Η τοξικότητα των μετάλλων έχει μεγάλη επίδραση και συνάφεια με τα φυτά και κατά συνέπεια επηρεάζει το οικοσύστημα, όπου τα φυτά αποτελούν αναπόσπαστο συστατικό. Τα φυτά που αναπτύσσονται σε μολυσμένες με μέταλλα περιοχές παρουσιάζουν αλλοιωμένο μεταβολισμό, μείωση της ανάπτυξης, χαμηλότερη παραγωγή βιομάζας και συσσώρευση μετάλλων. Διάφορες φυσιολογικές και βιοχημικές διεργασίες στα φυτά επηρεάζονται από μέταλλα. Οι σύγχρονες έρευνες σχετικά με την τοξικότητα και την ανεκτικότητα σε φυτά οφείλονται στην αυξανόμενη μεταλλική ρύπανση στο περιβάλλον. Μερικά μέταλλα, όπως ο χαλκός, το μαγγάνιο, το κοβάλτιο, ο ψευδάργυρος και το χρώμιο είναι, ωστόσο, απαραίτητα για τον μεταβολισμό των φυτών σε ίχνη. Μόνο όταν τα μέταλλα υπάρχουν σε βιοδιαθέσιμες μορφές και σε υπερβολικά επίπεδα, έχουν τη δυνατότητα να γίνουν τοξικά για τα φυτά. Αυτή η κριτική επικεντρώνεται κυρίως στον ψευδάργυρο, το κάδμιο, τον χαλκό, τον υδράργυρο, το χρώμιο, τον μόλυβδο, το αρσενικό, το κοβάλτιο, το νικέλιο, το μαγγάνιο και τον σίδηρο (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Τα βαρέα μέταλλα έχουν υψηλή πυκνότητα και ως επί το πλείστον τοξικό χαρακτήρα για τον άνθρωπο, τα φυτά και τα ζώα ανεξάρτητα από τις συγκεντρώσεις τους και έχουν υψηλή ατομική πυκνότητα πέντε φορές μεγαλύτερη από το νερό ή περισσότερο από 4 g/cm^3 ή περισσότερο και από 5 g/cm^3 . Τα μη απαραίτητα μέταλλα είναι μέρος του φλοιού της γης που εισέρχεται στο άνω μέρος του εδάφους και στην τροφική αλυσίδα μέσω βιογεωχημικών κύκλων. Μέταλλα και μεταλλοειδή όπως το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg) και ο ψευδάργυρος (Zn) ονομάζονται βαριά μέταλλα λόγω της υψηλής πυκνότητάς τους, ενώ το αρσενικό

(As) περιλαμβάνεται και αυτό στην λίστα λόγω παρόμοιων ιδιοτήτων (Chen et al. 1999). Βασικά και μη απαραίτητα ιχνοστοιχεία, όταν υπερβαίνουν τα όρια, μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικές φυσιολογικές, μορφολογικές και γενετικές ανωμαλίες, όπως μειωμένη ανάπτυξη, μεταλλαξιγόνα αποτελέσματα και αυξημένη θνησιμότητα (Banks, Schwab & Henderson, 2006).

Οι δύο διαδικασίες για τις οποίες ενδιαφέρεται η οικοτοξικολογική έρευνα είναι η βιοσυσσώρευση μέσω της τροφικής αλυσίδας στους διάφορους ιστούς και όργανα των οργανισμών, καθώς και της βιοαποικοδόμησης ή διάσπασης με την επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος. Οι χημικές ουσίες δεν παραμένουν αναλλοίωτες αλλά υπόκεινται σε μετασχηματισμούς και διασπάσεις σε αβιοτικές συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία, κατάλυση από μέταλλα, οξειδωτικές/αναγωγικές συνθήκες). Οι διεργασίες βιοσυσσώρευσης και βιομεγένθυνσης προσδιορίζουν τις συγκεντρώσεις των χημικών ρύπων στα έμβια όντα και τα διάφορα όργανά τους και κατά συνέπεια τις τοξικολογικές επιδράσεις στα βιολογικά συστήματα. Οι οργανισμοί προσλαμβάνουν τις χημικές ουσίες με δύο βασικούς τρόπους: είτε άμεσα από το φυσικό περιβάλλον (εισπνοή, κατάποση, δερματική επαφή) στο οποίο ζουν, είτε μέσω της διατροφής τους. Η ατμόσφαιρα περιέχει σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων σε σχέση με τα υδάτινα συστήματα (ωκεανοί, λίμνες, ποτάμια κλπ) και για τον λόγο αυτό οι σχέσεις μεταξύ νερών και υδρόβιων οργανισμών έχει μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον. (Economou-Eliopoulos, *et al.*, 2017).

Η βιοσυσσώρευση ορίζεται ως μια διαδικασία στην οποία μια χημική ουσία απορροφάται από έναν οργανισμό σε όλες τις οδούς πιθανής έκθεσης στο φυσικό περιβάλλον του. Η ικανότητα ενός φυτού να συσσωρεύει μέταλλα από εδάφη μπορεί να εκτιμηθεί και η ικανότητα ενός φυτού να μετατοπίσει μέταλλα από τις ρίζες στους βλαστούς μετριέται χρησιμοποιώντας τον παράγοντα μετατόπισης.

Η βιοσυσσώρευση χρησιμοποιείται για να αναφέρεται στη συσσωρευση χημικών στο εσωτερικό των ζωντανών οργανισμών. Τώρα είναι γνωστό ότι ορισμένες χημικές ουσίες είναι απαραίτητες και χρήσιμες στο εσωτερικό των ζωντανών οργανισμών, οπότε δεν γίνεται αναφορά σε αυτά. Γίνεται όμως για τη συσσωρευση επιβλαβών χημικών (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005).

Η βιοσυσσώρευση μπορεί να συμβεί με δύο βασικούς τρόπους. Ένας τρόπος είναι η ποσότητα της χημικής ουσίας που εισέρχεται στον ζωντανό οργανισμό

γρηγορότερα από ότι ο οργανισμός μπορεί να τη διαλύσει και να τη χρησιμοποιήσει. Αυτό σημαίνει ότι εισέρχονται περισσότερες ποσότητες απ όσες βγαίνουν, προκαλώντας επομένως τη συσσώρευση της χημικής ουσίας στον οργανισμό (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005).

Ο άλλος κύριος τρόπος με τον οποίο συμβαίνει η βιοσυσσώρευση είναι η χημική ουσία που εισέρχεται στον ζωντανό οργανισμό και ο οργανισμός δεν είναι σε θέση να τον διαλύσει ή να τον αποβάλει με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η χημική ουσία συνεχίζει να συσσωρεύεται έως ότου τελικά γίνει θανατηφόρα για τον ζωντανό οργανισμό (Banks, Schwab & Henderson, 2006).

Στα φυτά ενσωματώνονται όλα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν το έδαφος στο οποίο είναι φυτεμένα. Οι ρίζες των φυτών έχουν την ικανότητα να απορροφούν και μορφές στοιχείων χαμηλής κινητικότητας λόγω διαφόρων εκκριμάτων των ριζών που αλλάζουν το pH του περιβάλλοντος. Οι ρίζες σε μολυσμένες από μέταλλα περιοχές μπορεί να δημιουργήσουν μηχανισμούς για την προστασία των φυτών από την υπερβολική πρόσληψη ενός τοξικού μετάλλου. Έχουν παρατηρηθεί δύο βασικές γενετικά καθορισμένες αποκρίσεις των φυτών στα μέταλλα: η ευαισθησία και η αντοχή. Η ευαισθησία οδηγεί στον θάνατο των φυτών, ενώ η αντοχή δείχνει πώς αν και τα φυτά επηρεάζονται, αντιδρούν με τρόπο που τους επιτρέπει να επιβιώνουν σε υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων. Η αντοχή επιτυγχάνεται από τα φυτά βάσει κυρίως δύο στρατηγικών: μέσω της αποφυγής, η οποία περιγράφει τους μηχανισμούς μέσω των οποίων τα φυτά αποκλείουν τα βαρέα μέταλλα στο εξωτερικό περιβάλλον, και της ανθεκτικότητας, που επιτρέπει στα φυτά να αντιμετωπίσουν την εσωτερική καταπόνηση που επιβάλλουν οι υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων (Μήτσιος, 2004).

Η αποφυγή βοηθάει τα φυτά να έχουν κατάλληλους αμυντικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων αποκλείουν τα βαρέα μέταλλα. Τα κύτταρα των φυτών αυτών δεν έχουν την ικανότητα να αντέξουν υψηλές συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και παρουσιάζονται το ίδιο ευάλωτα με εκείνα των ευαίσθητων φυτών. Τα τοξικά μεταλλικά ιόντα είτε δεσμεύονται και εξουδετερώνονται στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας από χηλικές ενώσεις (κυρίως οργανικά οξέα, όπως μηλικό) που εκκρίνονται από τα κύτταρα της ρίζας, είτε αποκλείονται στο εξωτερικό περιβάλλον. (Μήτσιος, 2004).

Για πρώτη φορά την Ελλάδα, στην διδακτορική διατριβή της κ. Γεωργίας Μπαλωμένου(2009) στα πλαίσια Ερευνητικού Προγράμματος ΠΕΝΕΔ-2003 του Εργαστηρίου μας Φυσιολογίας και Θρέψης Φυτών σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, έγινε συστηματική μελέτη και συστηματικές μηνιαίες δειγματοληψίες βαρέων μετάλλων Cd, Pb, Ni, Zn, Ni, κλπ., στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας για δύο χρόνια, για να διαπιστωθεί η βιοσυσσώρευσή τους στο νερό , στα λαχανικά και στο έδαφος. Διαπιστώθηκε ότι ορισμένα από τα βαρέα μέταλλα και ιδιαίτερα τα Cd και Pb ανιχνεύθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις σε πολλά δείγματα, ακόμη και στα λαχανικά μαρούλι και σπανάκι(Balomenou et. al, 2008).

Στην ίδια μελέτη, μετά από πειραματική υδροπονική καλλιέργεια σπανακιού σε περλίτη, διαπιστώθηκε ότι η παρουσία χουμικών οξέων μειώνει σημαντικά την βιοσυσσώρευση του Cd στα φύλλα. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η δέσμευση και η κινητικότητα του Cd επηρεάζεται και διαμορφώνεται καθοριστικά από κοινά ιόντα ηλεκτρολυτών, ιδιαίτερα σε περιοχές υδάινων οικοσυστημάτων και μεταβλητής αλατότητας (Kosma et al., 2009). Με βάση τη θεωρία που αναπτύχθηκε, γίνεται ακριβέστερη ερμηνεία της κατανομής των βαρέων μετάλλων σε γλυκά και υφάλμυρα οικοσυστήματα.

2. ΤΟ ΧΡΩΜΙΟ

Το χρώμιο είναι ένα από τα μέταλλα στην ομάδα VIB στον περιοδικό πίνακα (Csuros & Csuros, 2016). Ο ατομικός του αριθμός είναι 24 και το ατομικό του βάρος 51,996. Έχει γίνει χρήση του από το 1877 σε πλήθος κραμάτων χάλυβος, χάρη στο πόσο ανθεκτικό είναι έναντι της οξειδωσης, και για τη διαδικασία της επιχρωμίσωσης από το 1926. Τα κράματα που περιέχουν χρώμιο είναι επίσης πιο σκληρά και αντιστέκονται έναντι της μηχανικής ένδυσης. Εξαιτίας των πυρίμαχων ιδιοτήτων του χρωμίου καθίσταται κατάλληλο για να παραχθούν πυρίμαχα τούβλα, να επενδυθούν φούρνοι και κλίβανοι, το οποίο είναι αντίστοιχο του 15% του χρωμίου που χρησιμοποιείται. Ένα ακόμα 15% χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες χημικών για να σκουρύνουν τα δέρματα, να παρασκευαστούν χρωστικές ουσίες και συντηρητικά ξύλου. Αριθμός επιδημιολογικών μελετών μικρής κλίμακας έχουν αποδείξει πως εάν υπάρχουν ελλείψεις σε χρώμιο στην διατροφή υπάρχει περίπτωση να αναπτυχθεί διαβήτης και να προκληθούν καρδιαγγειακά προβλήματα (Sharma, Nagpal & Kaur, 2018).

2.1 Το χρώμιο στο έδαφος, στο υδάτινο και εναέριο περιβάλλον και στα τρόφιμα. Συσσώρευση -ανώτατα επιτρεπτά όρια.

Όσον αφορά την παρουσία του χρωμίου στην φύση, αυτό εμφανίζεται και στην υγρή του μορφή διαλυμένο και στην σταθερή του μορφή ως ίζημα στον πυθμένα ποταμών, λιμνών και θάλασσας, στα άλγη του βυθού και το πλαγκτόν. Σε καθαρά ύδατα οι συγκεντρώσεις του χρωμίου είναι συνήθως χαμηλές (της τάξης των 5 $\mu\text{g/L}$) χωρίς να εξαιρούνται οι περιπτώσεις υδάτων σε επαφή με φυσικά πετρώματα με υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου (π.χ. ηφαιστειογενή υπερβασικά πετρώματα). Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και η απόρριψη αποβλήτων από βιομηχανίες (βαφεία, μεταλλουργίες, βυρσοδεψία), τα ατυχήματα, η απόπλυση από χωματαρές ,από πύργους ψύξης αλλά και από χώρους υγειονομικής ταφής (XYTA). Αναλόγως της ρύπανσης, η διάρκεια παραμονής του ολικού χρωμίου σε λίμνες και ποταμούς κυμαίνεται από 5 έως 18 χρόνια από τη στιγμή της παύσης αυτής και το μεγαλύτερο μέρος του εξασθενούς επικάθεται τελικώς στα άλγη και στους οργανισμούς του πυθμένα (Zhou *et al* ,2017).

Το Εθνικό Ινστιτούτο για την Ασφάλεια και την Υγεία της Εργασίας (National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH) συνέστησε ένα όριο έκθεσης 10 ωρών TWA για όλες τις ενώσεις Cr (VI) $1 \mu\text{g Cr (VI)} / \text{m}^3$. Για τις ενώσεις χρωμίου και Cr (II) και Cr (III), το συνιστώμενο όριο έκθεσης είναι $500 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ως TWA 10 ωρών (Hena, 2010). Το PA έχει ένα επιβλητέο μέγιστο επίπεδο ρύπανσης του ολικού χρωμίου σε πόσιμο νερό $100 \mu\text{g} / \text{L}$ (100 ppb) για δημόσια συστήματα νερού. Μέχρι σήμερα, δεν έχει θεσπιστεί κανονισμός της ΕΕ σχετικά με τα μέγιστα επίπεδα συνολικών Cr στα τρόφιμα (Tratnik & Bocca, 2017).

Το ανώτατο επιτρεπτό όριο είναι $50 \mu\text{g Cr} / \text{L}$ για το συνολικό Cr τόσο σε νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση όσο και σε φυσικά μεταλλικά νερά και αναφέρεται από την οδηγία 98/83 / ΕΚ του Συμβουλίου και την οδηγία 2003/40 / ΕΚ της Επιτροπής, αλλά δεν υπάρχει ορισμένο ανώτερο επίπεδο, ειδικά για το Cr (VI) (Tratnik & Bocca, 2017).

Θεωρείται ευκίνητο στο υδάτινο περιβάλλον, ενώ παραμένει στη διαλυτή φάση και θεωρείται επίσης βιοδιαθέσιμο (Stanin & Pirnie, 2004). Η συμπεριφορά του χρωμίου σε οξειδοαναγωγικούς όρους στο υδάτινο περιβάλλον είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη αντίδραση και είναι εξαρτώμενη από τη συνεργιστική δράση και άλλων ρυπαντών βιομηχανικής ή γεωργικής προέλευσης (Al-Thani, Koc & Isaifan, 2018).

Το χρώμιο συναντάται στη φύση σε τρεις σταθερές μορφές: ως μεταλλικό χρώμιο, ως χρώμιο III (Τρισθενές) και ως χρώμιο VI (Εξασθενές). Το χρώμιο είναι ένα μεταλλικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 24 στον περιοδικό πίνακα των στοιχείων. Συναντάται ευρέως στο ορυκτό χρωμίτης, από το οποίο ανακτάται με τη διεργασία του εξευγενισμού. Το μεταλλικό χρώμιο είναι εξαιρετικά ανθεκτικό σε χημική προσβολή (διάβρωση και οξείδωση), γεγονός που εξηγεί και τη χρήση του ως συστατικό κραμάτωσης στον ανοξείδωτο χάλυβα και ως επικάλυψη (επιχρωμίωση) (Barouchas *et al.*, 2017). Το χρώμιο (III) και το χρώμιο (VI) είναι μορφές του χρωμίου που συνδυάζονται με άλλα στοιχεία για να σχηματίσουν ενώσεις (η λατινική αρίθμηση αφορά σε μια ιδιότητα που καλείται σθένος και προσδιορίζει τους τύπους των ενώσεων ή των χημικών αντιδράσεων στις οποίες μια ουσία μπορεί να συμμετέχει) (Barouchas *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2017).

Το χρώμιο (III) (η τρισθενές χρώμιο) είναι η μορφή που συναντάται ευρύτερα στο περιβάλλον. Είναι η σταθερότερη μορφή από τις άλλες δύο και είναι απαραίτητη

για την ανθρώπινη υγεία, γιατί συμβάλλει μαζί με την ινσουλίνη στη διατήρηση των κατάλληλων επιπέδων σακχάρου στο αίμα (Barouchas *et al.*, 2017). Το χρώμιο (VI) (ή εξασθενές χρώμιο) είναι η σημαντικότερη εμπορική μορφή λόγω των χημικών ιδιοτήτων που έχει, αλλά μπορεί να προκαλέσει και άμεσες επιπτώσεις στην υγεία όπως για παράδειγμα καρκίνο του πνεύμονα (Lv *et al.*, 2017).

Τα τελευταία χρόνια, η ανησυχία για τη μόλυνση των εδαφών από βαρέα μέταλλα από βιομηχανίες έχει αυξηθεί. Το χρώμιο είναι ένα βαρύ μέταλλο που λόγω της κινητικότητάς του στο σύστημα φυτού-εδάφους και της χαμηλής συγγένειας του με τα κολλοειδή εδάφους μπορεί εύκολα να εισέλθει στην τροφική αλυσίδα, με αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία (Banks, Schwab & Henderson, 2006).

Αυτές οι δύο μορφές είναι δραστικά διαφορετικές ως προς το φορτίο, τις φυσικοχημικές ιδιότητες καθώς και χημική και βιοχημική κατάσταση. Το χρώμιο (III) είναι η πιο θερμοδυναμικά σταθερή μορφή χρωμίου στο έδαφος και καθιζάνει εύκολα ως υδροξείδιο του χρωμίου ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) και υδροξείδιο του σιδήρου - χρωμίου ($(\text{Fe}, \text{Cr})(\text{OH})_3$) ή καθίσταται ακινητοποιημένο μετά από προσρόφηση στα κολλοειδή εδάφους (Levankumar *et al.*, 2009). Το χρώμιο (VI) παραμένει θερμοδυναμικά μεταστατικό στο διάλυμα πόρων και είναι γενικά πολύ πιο κινητό στο έδαφος από το χρώμιο (III), καθώς τα οξυανιόντα $\text{Cr}(\text{VI})$ (χρωμικά CrO_4 , διχρωμικό HCrO_4^- και διχρωμικό $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) δεν απορροφώνται στο έδαφος υπό αλκαλικές έως υπο-ουδέτερες συνθήκες (Ly *et al.*, 2017). Η μεταφορά και η μείωση του $\text{Cr}(\text{VI})$ με μολυσμένο έδαφος αντικατοπτρίζει τελικά τις αλληλεξαρτώμενες επιδράσεις των χημικών, φυσικών και μικροβιακών διεργασιών. Επίσης, το $\text{Cr}(\text{VI})$ μπορεί να μειωθεί γρήγορα σε $\text{Cr}(\text{III})$ από οργανική ύλη εδάφους (Georgiadou *et al.*, 2018).

2.2 Τοξικότητα χρωμίου στον ανθρώπινο οργανισμό

Η ρύπανση από τα βαρέα μέταλλα μπορεί να επηρεάσει την τροφική αλυσίδα και κατ' επέκταση την υγεία του ανθρώπου. Οι κατηγορίες που δείχνουν την σοβαρότητα της κατάστασης ξεκινούν από ασθένειες έως δυσλειτουργία οργάνων, μείωση της πνευματικής λειτουργίας και ακόμη και καρκινογενέσεις. Όσον αφορά την τοξικότητα του χρωμίου στον ανθρώπινο οργανισμό, το εξασθενές χρώμιο δεν είναι ένα βιοσυσσωρεύσιμο μέταλλο, όπως π.χ. ο μόλυβδος, το κάδμιο ή ο

υδράργυρος (Pavesi & Moreira, 2020). Αυτό σημαίνει ότι δεν συσσωρεύεται (εγκλωβίζεται) στις τροφές έτσι ώστε να μεταφερθεί στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον για να προκαλέσει σοβαρές βλάβες θέλει χρόνια πρόσληψη ή μεγάλες ποσότητες, λόγω της εύκολης μετατροπής του σε μη βλαβερό τρισθενές χρώμιο (Achmad & Auerkari, 2017). Η τοξικότητα και η οι καρκινικές του ιδιότητες οφείλονται ακριβώς στην αστάθεια της μορφής αυτής του χρωμίου. Για να προκληθεί βλάβη στον άνθρωπο θα πρέπει να εισαχθεί απευθείας ως εξασθενές χρώμιο. Έτσι π.χ. λαχανικά ή ζώα που ποτίζονται με νερό που περιέχει υψηλές ποσότητες χρωμίου είναι πιθανόν να μην αναπτύσσονται καλά, να αρρωσταίνουν ή και να πεθαίνουν. Αν τα καταναλώσει όμως ένας άνθρωπος δεν πρόκειται να αρρωστήσει (Lv, *et al.*, 2017).

Οι εξασθενείς ενώσεις χρωμίου έχουν αποδειχθεί ότι προκαλούν καρκίνο του πνεύμονα στους ανθρώπους όταν εισπνέονται. Μελέτες έχουν δείξει με συνέπεια αυξημένα ποσοστά καρκίνου του πνεύμονα σε εργαζόμενους που εκτέθηκαν σε υψηλά επίπεδα χρωμίου στον αέρα του χώρου εργασίας. Τα άτομα που εργάζονται σε βιομηχανίες που επεξεργάζονται ή χρησιμοποιούν ενώσεις χρωμίου μπορούν να εκτεθούν σε υψηλότερα από τα κανονικά επίπεδα χρωμίου (Jumina & Harizal, 2019). Οι επαγγελματικές εκθέσεις συμβαίνουν κυρίως μεταξύ των εργαζομένων που χειρίζονται χρωστικές που περιέχουν χρωμικό, βαφές ψεκασμού ή επιστρώσεων, συγκόλληση ή κοπή μετάλλων που περιέχουν χρώμιο, όπως ανοξειδωτο ατσάλι. Μερικές από τις ανεπιθύμητες ενέργειες στην υγεία από την έκθεση σε εξασθενές χρώμιο περιλαμβάνουν ρινικούς και φλεβοκομβικούς καρκίνους, νεφρική και ηπατική βλάβη, ρινικό και δερματικό ερεθισμό, έλκος καθώς και ερεθισμό και βλάβη στα μάτια (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Η έκθεση του ανθρώπου σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιθανή βλάβη λόγω των τοξικών, γονιδιοτοξικών και καρκινογόνων επιδράσεών της. Το Chromium είναι ένα από τα οκτώ μέταλλα στις κορυφαίες 50 τοξικές ουσίες στον κόσμο στα δεδομένα που εκδίδει ο Οργανισμός Τοξικών Ουσιών και Μητρώων Νόσων (ATSDR) και ο ΠΟΥ έχει ταξινομήσει το χρώμιο ως καρκινογόνο για τα ανθρώπινα όντα. Υπό κανονικές συνθήκες, η πλειονότητα των ιόντων χρωμίου εμφανίζεται ως τρισθενής Cr (III) ή εξασθενής Cr (VI). Μια σημαντική διάκριση είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος του Cr (III) θα εκκρίνεται στα ούρα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του Cr (VI) θα παραμείνει στο σώμα (Achmad *et al.*, 2017; Maret, 2019).

Οι επιδράσεις της έκθεσης στο χρώμιο στην υγεία εξαρτώνται από τη δόση και το όργανο που κινδυνεύει, και η έκθεση γενικά γίνεται από ένα μείγμα ιόντων Cr (III) και Cr (VI). Οι υψηλές συγκεντρώσεις που προκαλούν οξείες επιπτώσεις σχετίζονται συχνά και με τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Η οξεία αντίδραση θα εμφανιστεί μόνο πάνω από το επίπεδο χρωμίου LD 50 (20-250 mg Cr (VI) και 185–615 mg Cr (III) ανά kg σωματικού βάρους) (Achmad *et al.*, 2017; Maret, 2019).

Ο καρκίνος που σχετίζεται με το χρώμιο εμφανίζεται συχνά στο αναπνευστικό σύστημα, κυρίως ως καρκίνος του πνεύμονα, της ρινικής και του κόλπου. Η αντίδραση του Cr (VI) με ασκορβικό οξύ (αναγωγικό) και υπεροξείδιο υδρογόνου (οξειδωτής) θα έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση ριζών υδροξυλίου που προκαλούν βλάβη στο DNA, μεταλλάξεις και αυξανόμενο δυναμικό καρκίνου. Μεταβολές στο DNA μπορεί να βρεθούν ως ρήγματα κλώνου DNA, προσθήκες Cr-DNA, διασυνδέσεις DNA-DNA και DNA-πρωτεΐνης και οξειδωτική βλάβη DNA. Επιπλέον, το Cr (VI) έχει αναφερθεί ότι αναστέλλει επιγενετικά (με μεθυλίωση) το γονίδιο καταστολής όγκου το οποίο συχνά μεταβάλλεται σε καρκίνο (Achmad *et al.*, 2017; Maret, 2019).

Διατροφικά λοιπόν, το Cr (III) είναι ένα βασικό συστατικό μιας ισορροπημένης διατροφής για ανθρώπους και ζώα, όσον αφορά την πρόληψη δυσμενών επιπτώσεων στο μεταβολισμό της γλυκόζης. Το Cr (VI) είναι εξαιρετικά τοξικό, καρκινογόνο και μπορεί να προκαλέσει θάνατο σε ζώα και ανθρώπους σε περίπτωση έκθεσης σε μεγάλες δόσεις. Οι τρόποι έκθεσης του ανθρώπου σε ενώσεις Cr περιλαμβάνουν κατάποση μολυσμένων τροφίμων και νερού, εισπνοή αερομεταφερόμενων σωματιδίων και επαφή με πολλά κατασκευασμένα είδη που περιέχουν ενώσεις Cr. (JeanL, *et al.*, 2008).

2.3 Η περίπτωση της Βοιωτίας (Ασωπός)

Ο Ασωπός είναι ποταμός που διατρέχει τα σύνορα των Νομών Βοιωτίας και Αττικής. Οι κύριες πηγές του βρίσκονται στον Κιθαιρώνα ενώ στην πορεία του συμβάλλουν και άλλα ρεύματα που προέρχονται από τους ορεινούς όγκους μεταξύ Πάρνηθας και Δερβενοχωρίων. Έχει συνολικό μήκος 57 χιλιόμετρα και διέρχεται από το Συκάμινο, τον Ωρωπό, το Σχηματάρι τον Άγιο Θωμά και τα Οινόφυτα, ώσπου χύνεται στον Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο. Ο ποταμός κινδυνεύει σοβαρά από την ρύπανση

που επήλθε στον υδροφόρο ορίζοντα από τα ακατέργαστα λύματα που διοχετεύουν με παράνομους υπόγειους αγωγούς οι βιομηχανίες της ευρύτερης περιοχής. Γίνονται προσπάθειες ώστε να καθαριστεί το ποτάμι από τα τοξικά λύματα καθώς επίσης και νέοι τρόποι υδροδότησης της περιοχής. Ο δήμος είχε ζητήσει, με ηλεκτρονική επιστολή, από την Αμερικανίδα ακτιβίστρια, Έριν Μπρόκοβιτς, να αναλάβει την υπόθεση. Η Μπρόκοβιτς ανταποκρίθηκε άμεσα και ζήτησε μέσω μηνύματός της στη σελίδα του κινήματος Friends of the Earth τη συλλογή υπογραφών για αποστολή μηνύματος στον Αμερικανό πρέσβη στην Ελλάδα, με το οποίο του ζητείται να ασκήσει πίεση στην ελληνική κυβέρνηση για λύση του προβλήματος (Lilli *et al.*, 2015).

Το 2010 η υπουργική απόφαση της τότε Υπουργού Περιβάλλοντος Τίνας Μπιρμπίλη για τον καθορισμό των ανώτατων επιτρεπτών ορίων βαρέων μετάλλων συνιστούσε μια δημόσια ομολογία γι' αυτό που πήρε τη βούλα του μεγαλύτερου οικολογικού εγκλήματος στη χώρα. Έκτοτε ο Ασωπός πηγαиноέρχεται στη δημοσιότητα με την αφορμή της δημοσίευσης κάποιας έρευνας, δικαστικής απόφασης ή ενός σχεδίου αποκατάστασης. Παρ' όλα αυτά τα νερά του εξακολουθούν να είναι κίτρινα, τα εδάφη της περιοχής ρημαγμένα από τις ανεξέλεγκτες αποθέσεις τοξικών αποβλήτων και οι κάτοικοι των περιοχών που διέρχεται μαθημένοι στη συμβίωση με τη μόλυνση (Dokou *et al.*, 2016).

Η παρουσία φυσικών πηγών ρύπανσης στην περιοχή περιορίζεται εκτός της στενής περιοχής της λεκάνης του Ασωπού, νότια στην ορεινή περιοχή της Πάρνηθας και βόρεια στην περιοχή του όρους Κτυπός. Συνεπώς, εκτιμάται με βεβαιότητα ότι τα διάφορα μέταλλα και οι ρύποι που προσδιορίστηκαν είναι στην πλειονότητά τους αποτέλεσμα, βιομηχανικής, αστικής και γεωργικής ρύπανσης. Ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται στην περιοχή, φαίνεται να απειλείται άμεσα από διηθήσεις μολυσμένων υδάτων τόσο κατά μήκος του Ασωπού όσο και στην "υδραυλική καταβόθρα" που αναπτύσσεται δυτικά των Οινοφύτων. Σημαντική υποβάθμιση έχει επίσης υποστεί και το υπερκείμενο κοκκώδες υδροσύστημα, καθώς και τα παράκτια κοκκώδη υδροσυστήματα της περιοχής Ωρωπού – Αυλίδας (Dokou *et al.*, 2016).

Υπάρχουν οι παρακάτω εστίες ρύπανσης στην περιοχή:

Σημειακές πηγές ρύπανσης: Αυτές οφείλονται κυρίως στην ανεξέλεγκτη διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων, αλλά και αστικών λυμάτων, σε επιφανειακούς και υπόγειους αποδέκτες. Σημειώνεται ότι η κύρια πηγή ρύπανσης των υπογείων υδάτων της ευρύτερης του Ασωπού περιοχής θεωρείται η βιομηχανική δραστηριότητα, που αναπτύχθηκε στην περιοχή Οινοφύτων-Σχηματαρίου περιστασιακά, άναρχα και χωρίς παραγωγικές υποδομές και υποδομές προστασίας του περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό, ιδιαίτερη βαρύτητα στην παρούσα Τεχνική Έκθεση δίνεται από την Ο.Ε. στην προέλευση των τοξικών ρύπων, οι οποίοι εντοπίστηκαν και συνεχίζουν να εντοπίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε υδατικά και εδαφικά δείγματα (Sattar, 2018).

Διάχυτες πηγές ρύπανσης-Επιφανειακές απορροές: Στην περιοχή μελέτης υπάρχει έντονη αγροτική δραστηριότητα που περιλαμβάνει αροτραίες και δενδρώδεις καλλιέργειες. Συγκεκριμένα, καλλιεργούνται συνολικά 351.400 στρέμματα εκ των οποίων το 45% είναι αρδευόμενα και το 55% ξηρικά (από στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας). Γενικά, στην περιοχή μελέτης παρατηρείται έντονη γεωργική δραστηριότητα στο ανάντη τμήμα του Ασωπού. Η παραγωγή της περιοχής είναι κυρίως σιτηρά (σκληρό σιτάρι), βρώμη, βαμβάκι και ορισμένες κατηγορίες κτηνοτροφικών φυτών (κριθάρι για σανό) και κηπευτικά σε ποσοστό 6,6%. Έτσι, αναμένεται να προκαλείται ρύπανση του ποταμού Ασωπού από την επιφανειακή απορροή των όμβριων νερών στις καλλιεργούμενες εκτάσεις (Lilli *et al.*, 2015).

Φυσικές πηγές ρύπανσης: Εκτός από τις σημειακές και τις διάχυτες πηγές ρύπανσης από τις βιομηχανικές, αστικές και αγροτικές δραστηριότητες, η μελέτη του ΙΓΜΕ επιβεβαίωσε ότι υπάρχουν φυσικές πηγές ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα και οφιόλιθοι), οι οποίες περιορίζονται εκτός της στενής περιοχής της λεκάνης του Ασωπού, νότια στην ορεινή περιοχή της Πάρνηθας και βόρεια στην περιοχή του όρους Κτυπός (Moraetis *et al.*, 2012).

Με εξασθενές χρώμιο έχουν επιμολυνθεί οι ρίζες των καλλιεργειών στην ευρύτερη περιοχή του Ασωπού, σύμφωνα με τα πρώτα αποτελέσματα έρευνας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου. Οι εντάσεις πολλές φορές δημιουργούνται αδικαιολόγητα γιατί θίγονται κάποια κεκτημένα συμφέροντα, δήλωσε ο τέως υφυπουργός Εσωτερικών. Οι επιπτώσεις από τη μόλυνση του Ασωπού στο πόσιμο νερό, τον υδροφόροορίζοντα, τη διατροφική αλυσίδα και την υγεία, αναδεικνύονται

ως μείζον πρόβλημα από τους κατοίκους της Θήβας, των Οινοφύτων, του Σχηματαρίου και των όμορων περιοχών (Lagiopoulos *et al.*, 2017).

Η μόλυνση Cr (VI) στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ασωπού επηρεάζει διάφορα διαμερίσματα του περιβάλλοντος: τα υπόγεια ύδατα (που χρησιμοποιούνται για ανθρώπινη κατανάλωση και άρδευση), το νερό του ποταμού και τα εδάφη. Η γεωγενής προέλευση της μόλυνσης Cr στα υπόγεια ύδατα δημιουργεί ένα πολύ περίπλοκο και μοναδικό πρόβλημα μόλυνσης στην περιοχή. Η εκτεταμένη λεκάνη απορροής του Ασωπού έχει αποτελέσει αντικείμενο αυξανόμενης έρευνας τα τελευταία χρόνια (Lilli *et al.*, 2015).

Οι Vasilatos *et al.* (2008) διαπίστωσαν σημαντικές συγκεντρώσεις Cr (VI) σε πηγάδια που χρησιμοποιούνται για την αστική παροχή νερού του Ωρωπού (έως 80 $\mu\text{g} / \text{L}$) και των Οινόφυτων (έως 53 $\mu\text{g} / \text{L}$) που υπερβαίνουν το όριο των 50 $\mu\text{g} / \text{L}$ για το συνολικό Cr σε πόσιμο νερό. Χαμηλότερες συγκεντρώσεις έως 33 και 40 $\mu\text{g} / \text{L}$ εντοπίστηκαν στα υπόγεια ύδατα που χρησιμοποιούνται για την αστική ύδρευση των πόλεων Θήβα και Σχηματάρι, αντίστοιχα.

Οι Οικονομου-Ελιουπουλος κ.ά. (2011) εξέτασαν δείγματα υπόγειων υδάτων από τον υδροφόρο ορίζοντα του Ασωπού που κυμαίνονταν στα 200μ. Τα αποτελέσματα χρώμιου μπορούσαν να αποδοθούν μόνο σε βαθιά έγχυση βιομηχανικών αποβλήτων και όχι στον ποταμό Ασωπό ή τους βράχους απόπλυσης.

Οι Οικονομου-Ελιουπουλος κ.ά. (2012) μελέτησε το έδαφος, τα φυτά και το σύστημα υπόγειων υδάτων στη λεκάνη της Θήβας. Όσον αφορά τη μόλυνση με Cr σε υπόγεια ύδατα, διαπίστωσαν ότι τα δείγματα από πηγάδια οικιακής χρήσης και άρδευσης σε όλη τη λεκάνη της Θήβας παρουσίασαν σχετικά χαμηλά (8-37 $\mu\text{g} / \text{L}$) Cr (VI). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι χαμηλές συγκεντρώσεις Cr (VI) στα πηγάδια της Θήβας μπορεί να σχετίζονται με το μεγάλο τους βάθος.

Οι Tziritis *et al.* (2012) διερεύνησαν τις συγκεντρώσεις Cr (VI) στα υπόγεια ύδατα από την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Θήβας. Εντοπίστηκαν δύο ξεχωριστές ομάδες δειγμάτων: η πρώτη ομάδα, που βρίσκεται βόρεια της πόλης της Θήβας, με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 13 έως 212 $\mu\text{g} / \text{L}$ και η δεύτερη, που βρίσκεται κοντά στο χωριό Μουρίκι, με χαμηλότερες συγκεντρώσεις (9-10 $\mu\text{g} / \text{L}$).

Πρόσφατη εργασία που πραγματοποιήθηκε από τους Panagiotakis et al. (2015) διερεύνησε τη συμβολή των γεωγενών και ανθρωπογενών πηγών Cr (VI) στην ευρύτερη περιοχή της Θήβας. Πραγματοποίησαν μια εκστρατεία δειγματοληψίας υπόγειων υδάτων που αποκάλυψε την παρουσία δύο υδρολογικά ανεξάρτητων λοφίων Cr (VI): ένα στο βορρά (με μέγιστη συγκέντρωση 160 $\mu\text{g} / \text{L}$) και ένα στο νότο της περιοχής μελέτης (με μέγιστη συγκέντρωση 75 $\mu\text{g} / \text{L}$). Δείγματα υπόγειων υδάτων που συλλέχθηκαν από τους δύο λοφούς Cr (VI) υποστήριξαν την υπόθεση της γεωγενούς πηγής

Οι Karpara et al. (2015) δοκίμασαν το νερό της βρύσης (και τα υπόγεια ύδατα από λίγα πηγάδια) περίπου 600 τοποθεσιών στην Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένης της λεκάνης απορροής του Ασωπού. Βρήκαν υψηλές συγκεντρώσεις Cr (VI) στη λεκάνη μόνο σε ιδιωτικά πηγάδια, ενώ οι συγκεντρώσεις Cr στο νερό της βρύσης των περισσότερων δήμων (Θήβα, Οινόφυτα και Ωρωπός) ήταν πολύ χαμηλές. Αυτό το εύρημα εξηγείται από την αλλαγή πηγών νερού που τροφοδοτούν την περιοχή με πόσιμο νερό.

2.4 Το χρώμιο στα φυτά. Τοξικότητα-βιοσυσσώρευση –ανώτατα επιτρεπτά όρια –μηχανισμοί ανθεκτικότητας

Όσον αφορά το χρώμιο, την ύπαρξη και την επίδραση στα φυτά, πρέπει να σημειωθεί πώς η ρύπανση του εδάφους και των νερών με χρώμιο, εξαιτίας ανθρωπογενών δραστηριοτήτων προκαλεί επίσης σειρά προβλημάτων, τόσο στη γεωργία όσο και στην κτηνοτροφία. Το χρώμιο που προέρχεται από τη φύση συνδέεται με την έλλειψη γονιμότητας του εδάφους μόνο σε μερικές περιοχές, και αυτό λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων του σ' αυτές. Η υψηλή διαλυτότητα του εξασθενούς χρωμίου στο νερό προκαλεί στη συνέχεια την απορρόφηση του από το ριζικό σύστημα των φυτών (Zhou, *et al.*, 2017).

Η κατανομή του Cr στα περιβαλλοντικά συστήματα ελέγχεται από τρεις σημαντικές αντιδράσεις: μείωση οξειδωσης, διαλυτοποίηση καθίζησης και απορρόφηση. Όλες οι ενώσεις Cr είναι πολύ τοξικές για τα φυτά και είναι επιζήμιες για την ανάπτυξη τους.

Προηγούμενες έρευνες έδειξαν ότι τα επίπεδα χρωμίου σε φυτά που αναπτύσσονται σε «κανονικά» εδάφη είναι συνήθως μικρότερα από 1 mg kg^{-1} σε

ξηρό βάρος (Dry Weight – εφεξής DW), σπάνια υπερβαίνουν τα 5 mg kg⁻¹ και συνήθως κυμαίνονται από 0,02 έως 0,2 mg kg⁻¹ (DW). Εφόσον το Cr μπορεί να εισέλθει στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω φαρμακευτικών φυτών, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η πιθανή τοξικότητα και ο κίνδυνος για την υγεία. (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Οι Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005, μελετώντας την επίδραση διαφορετικών καταστάσεων οξείδωσης Cr στη συνολική συγκέντρωση Cr στα φυτικά μέρη τριών φαρμακευτικών φυτών, διαπίστωσαν ότι η υψηλότερη συνολική συγκέντρωση Cr στα φυτικά μέρη και των τριών ειδών ήταν όταν το Cr εφαρμόστηκε στο έδαφος σε εξασθενή μορφή σε αντίθεση με την τρισθενή μορφή, ανεξάρτητα από τη μέθοδο ανάλυσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται πρώτον στην καλύτερη κινητοποίηση των Cr (VI) και δεύτερον στους ανεξάρτητους μηχανισμούς πρόσληψης για τις δύο καταστάσεις οξείδωσης Cr. Το εξασθενές Cr είναι πιο κινητό από το τρισθενές Cr (Barouchas *et al.*, 2014). Η συσσώρευση Cr στα ανώτερα μέρη του φυτού είναι 12 έως 18 φορές υψηλότερη για εξασθενές από ό, τι για τα τρισθενές Cr. Το τρισθενές και το εξασθενές Cr έχουν έναν ανεξάρτητο μηχανισμό πρόσληψης. Η πρόσληψη του Cr (III) είναι παθητική διάχυση και αυτό γιατί το ιόν αλληλεπιδρά με τα κυτταρικά τοιχώματα μέσω ανταλλαγής κατιόντων. Η απορρόφηση του Cr (VI) απαιτεί μεταβολική ενέργεια από τα φυτά. Το Cr (VI) κινείται πιο εύκολα από τις ρίζες στους ανώτερους ιστούς των φυτών λόγω απορρόφησης, και ως ενεργή διαδικασία, πιθανώς συσχετίζεται με το σύστημα μεταφοράς θειϊκού άλατος που βρίσκεται εντός της μεμβράνης πλάσματος. Δεδομένου ότι τα φυτά δεν διαθέτουν ειδικό σύστημα μεταφοράς για το Cr, απορροφάται από φορείς ουσιωδών ιόντων όπως θείο ή σίδηρο (Sattar, 2018). Ως εκ τούτου, το χρώμιο μπορεί να επηρεάσει την πρόσληψη αυτών των βασικών στοιχείων. Ανεξάρτητα από τη μορφή του Cr που εφαρμόζεται στο έδαφος και τη μέθοδο ανάλυσης, η συνολική συγκέντρωση Cr στα φυτικά μέρη των τριών φαρμακευτικών φυτών που μελετήθηκαν εδώ ήταν σχετικά χαμηλή πιθανώς λόγω της ακινητοποίησης του Cr από οργανική ύλη στο έδαφος (Barouchas *et al.*, 2017). Για παράδειγμα, η οργανική ύλη έχει βρεθεί ότι μετατρέπει το κινητό Cr (VI) στο σχετικά ακίνητο Cr (III). Ωστόσο, το γεγονός ότι και στα τρία είδη η συνολική συγκέντρωση Cr ήταν υψηλότερη σε φυτά που εκτέθηκαν σε Cr (VI) από ότι το Cr (III) μπορεί να έχει σημασία για την ανθρώπινη υγεία ενόψει της πολύ υψηλότερης τοξικότητας του πρώτου. Τέλος, η παρατήρηση ότι σε όλες τις περιπτώσεις η

συνολική συγκέντρωση Cr που μετρήθηκε με το MADM ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη της μεθόδου πέψης ξηράς τέφρας δείχνει ότι πιθανώς η χρήση οξέος και H₂O₂ στην προηγούμενη αυξάνει την πέψη της οργανικής ύλης. Επομένως, αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι πιο ακριβής για τη μέτρηση των συνολικών συγκεντρώσεων Cr σε ιστούς φυτών (JeanL, *et al.*, 2008).

Συνολική συγκέντρωση Cr στα φυτικά μέρη, σε διαφορετικές καταστάσεις και με διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του συνολικού Cr δείχνουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο καταστάσεων οξείδωσης του Cr που εφαρμόζονται και των δύο μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του συνολικού Cr, σύμφωνα με τη δοκιμή πολλαπλού εύρους του Duncan στο $p < 0,05$ (Banks, Schwab & Henderson, 2006).

2.5 Χρόμιο και Αρωματικά Φαρμακευτικά Φυτά (Αφφ)

Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων στα αρωματικά φαρμακευτικά φυτά εκδηλώνεται με πολλούς τρόπους όταν στα φυτικά κύτταρα συσσωρεύονται βαρέα μέταλλα σε υψηλά επίπεδα. Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες: σε αυτά με ενεργή οξειδοαναγωγή (Fe, Cu, Cr, Co) και σε αυτά με ανενεργή οξειδοαναγωγή (Cd, Zn, Ni, Al) (Kosma *et al.*, 2009). Τα ενεργά οξειδοαναγωγικά βαρέα μέταλλα εμπλέκονται άμεσα στην οξειδοαναγωγική αντίδραση των κυττάρων και οδηγούν στον σχηματισμό O₂ και ακολούθως σε H₂O₂ και OH μέσω των αντιδράσεων Haber-Weiss και Fenton. Η έκθεση των φυτών σε οξειδοαναγωγικά αδρανή βαρέα μέταλλα οδηγεί επίσης σε οξειδωτικό στρες μέσω των έμμεσων μηχανισμών όπως η αλληλεπίδραση με το αντιοξειδωτικό αμυντικό σύστημα, την διακοπή της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων ή την επαγωγή υπεροξειδωσης των λιπιδίων. Ένας άλλος σημαντικός μηχανισμός της τοξικότητας των βαρέων μετάλλων είναι η ικανότητα τους να συνδέονται ισχυρά με άτομα οξυγόνου, αζώτου και θείου. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, μπορούν να αδρανοποιήσουν τα ένζυμα συνδεδεμένα με τα κατάλοιπα κυστεΐνης. Για παράδειγμα, η δέσμευση Cd σε σουλφυδρυλικές ομάδες των δομικών πρωτεϊνών και των ενζύμων οδηγεί σε εσφαλμένη αναδίπλωση και αναστολή της δραστηριότητας καθώς και σε παρέμβαση στην οξειδοαναγωγική-ενζυματική ρύθμιση (Farouk & Al-Amri, 2019)

Η συγκέντρωση Cr σε μέρη φυτών δυόσμου, σε διαφορετικές καταστάσεις οξείδωσης που προστέθηκε Cr και σε διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του συνολικού Cr, έδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο καταστάσεων οξείδωσης του Cr που εφαρμόζονται με τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του συνολικού Cr, σύμφωνα με στη δοκιμή πολλαπλού εύρους του Duncan στο $p < 0,05$) (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Η συγκέντρωση Cr φυτών μέντας, σε διαφορετικές καταστάσεις οξείδωσης και διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του συνολικού Cr, δεν έδειξαν ορατά φυτοτοξικά συμπτώματα λόγω της αυξανόμενης εφαρμογής είτε Cr (III) είτε Cr (VI) σε οποιοδήποτε από τα είδη φυτών (JeanL, *et al.*, 2008).

Η συγκέντρωση Cr στα μέρη των φυτών αυξήθηκε με αυξανόμενες προσθήκες Cr στο έδαφος. Η συνολική συγκέντρωση Cr σε φυτά που εκτέθηκαν σε Cr (VI) ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη των φυτών που εκτέθηκαν σε Cr (III), ανεξάρτητα από τη μέθοδο, υποδεικνύοντας μεγαλύτερη κινητικότητα του εξασθενούς Cr. Ωστόσο, η πρόσληψη ήταν σχετικά χαμηλή σε όλα τα είδη αρωματικών φυτών (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Οι συγκεντρώσεις Cr (III) και Cr (VI) προς ολικές αναλογίες Cr σε προηγούμενες μελέτες μπορεί να έχουν προκαταβληθεί από τη μείωση του Cr (VI) και την οξείδωση Cr (III) κατά τη δειγματοληψία, την αποθήκευση φίλτρου, την εξαγωγή φίλτρου και την ανάλυση (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Ο στόχος της μελέτης αυτής ήταν να σχεδιάσει, να κατασκευάσει και να δοκιμάσει ένα νέο δείγμα Cr (VI) (Clarkson sampler) και να συγκρίνει την ανάκτηση του Cr (VI) χρησιμοποιώντας το Clarkson sampler με το δείγμα NATTS. Το νέο δείγμα διατηρεί το Cr (VI) μειώνοντας την υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα κατά τη συλλογή δειγμάτων για να αποφευχθεί η υγρασία και η ψύξη ελαφρώς του αέρα περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Gardea-Torresdey, *et al.*, 2005).

Εξετάσθηκαν επίσης οι συνολικές συγκεντρώσεις Cr και Cr (VI) καθώς και οι αναλογίες Cr (VI) προς ολικό Cr που προσδιορίστηκαν σε προηγούμενες μελέτες. Το Cr (III) περιέχεται στην πλειονότητα του χρωμίου περιβάλλοντος. Οι συγκεντρώσεις Cr (VI) κυμαίνονταν από 0,001 έως 70 ng.m⁻³, και ο μέσος όρος Cr (VI) προς ολική αναλογία Cr κυμαινόταν από 1 έως 30% (Jean, *et al.*, 2008).

3. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΑΣΙΛΙΚΟ

3.1 Ταξινόμηση και Βοτανικά Χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με το Integrated Taxonomic Information System (IRIS , 2015) ο βασιλικός ανήκει στην οικογένεια των Lamiaceae (Χειλανθή) στο γένος *Ocimum* και στο είδος *basilicum*. Η Τάξη του είναι η Lamiales, η υποσυνομοταξία του Magnoliopsida , η συνομοταξία του Magnoliophyta και το Βασίλειο που ανήκει είναι το Plantae. Υπάρχουν πολλές ποικιλίες. Η ποικιλία που καλλιεργείται στην Ελλάδα είναι η *citriodora* η οποία διακρίνεται από τα μεγάλα φύλλα και το έντονο άρωμα. Για τον λόγο αυτό καλλιεργείται για παραγωγή ξηρής δρόγης αλλά και για παραγωγή αιθέριου ελαίου. Ο βασιλικός είναι μονοετές φυτό που δημιουργεί ένα πυκνό πλέγμα βλαστών και το οποίο φθάνει σε ύψος 20-80cm, ανάλογα με την ποικιλία. Υπάρχουν όμως και είδη πολυετούς βασιλικού (Georgiadou, *et al.*, 2018).

Ο βασιλικός είναι ένα αρωματικό φυτό. Το γένος *Ocimum* (Lamiaceae) αποτελείται από περίπου 50-150 είδη (Simon *et al.*, 1990) με μεγάλο αριθμό ποικιλιών που περιέχουν συστατικά τερπενίου και μη τερπενίου στα αιθέρια τους έλαια (Evans, 1995). Ο βασιλικός έχει μακρά ιστορία ως μαγειρικό βότανο, χάρη στο φύλλωμά του που προσθέτει μια ξεχωριστή γεύση σε πολλά τρόφιμα. Το αιθέριο έλαιο που εξάγεται από το *O. basilicum* L. έχει αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή δράση (Javanmardi *et al.*, 2003). Θεωρείται επίσης ως πηγή αρωματικών ενώσεων και διαθέτει μια σειρά βιολογικών δραστηριοτήτων όπως εντομοαπωθητικούς, νηματοκτόνους, αντιμυκητιακούς παράγοντες καθώς και αντιοξειδωτικές δραστηριότητες. Τα φύλλα του βασιλικού αναφέρονται ως κατάλληλα για τη θεραπεία του πόνου και του βήχα (Javanmardi *et al.*, 2003).

Ο βασιλικός καλλιεργείται σε διάφορες περιοχές που μπορεί να είναι θερμότερες ή ψυχρότερες. Το εύκρατο κλίμα, είναι το καταλληλότερο, για την καλλιέργεια του βασιλικού. Ο ήπιος και μικρής διάρκειας χειμώνας που τον ακολουθεί ένα δροσερό καλοκαίρι, αποτελεί την καλύτερη προϋπόθεση για μία επιτυχημένη παραγωγή βασιλικού. Στις περιοχές αυτές, η διάρκεια της βλαστήσεως είναι πιο μακρά, με συνέπεια να γίνονται περισσότερες συγκομιδές το έτος. Γενικά η θερμοκρασία, στην οποία αναπτύσσεται καλύτερα ο βασιλικός είναι οι 22° – 30° C

ενώ ταυτόχρονα απαιτεί 10-12 ώρες φωτισμού ημερησίως. Το κατάλληλο έδαφος για την καλλιέργεια αυτού του φυτού είναι το βαθύ, μέσης συστάσεως, πλούσιο σε οργανική ουσία, που αρδεύεται και έχει καλή στράγγιση (Salachas, *et al.*, 2015).

Στα πλαίσια της βιολογικής του καλλιέργειας, οι ποσότητες του αζώτου που απαιτούνται για την παραγωγή 500 κιλών ξηρής δρόγης το στρέμμα είναι 9,6 κιλά αζώτου 2,8 κιλά φωσφόρου , 11,6 κιλά καλίου και 1,6 κιλά μαγνησίου. Η λίπανση που πρέπει να γίνει θα πρέπει να αποδίδει στο έδαφος κατά μέσο όρο 10 κιλά αζώτου, 3 κιλά φωσφόρου, 12 κιλά καλίου και 1,5 κιλό μαγνησίου. Τα λιπάσματα που θα δίδονται στην βιολογική καλλιέργεια του βασιλικού θα είναι σύμφωνα με τον κανονισμό της βιολογικής γεωργίας που καθορίζει τα είδη των βιολογικών λιπασμάτων (Ahmad *et al.*, 2018). Σύμφωνα με την κατάσταση των βιολογικών λιπασμάτων, οι ανάγκες του βιολογικού βασιλικού καλύπτονται με τις εξής ποσότητες: με την προσθήκη κατά το φθινόπωρο 1200 κιλών καλής χωνεμένης κοπριάς αιγοπροβάτων ,3 κιλών φωσφορικού σε μορφή φυσικών φωσφορικών και 20 κιλών θεικού καλίου. Έτσι καλύπτονται οι ανάγκες σε άζωτο, φωσφόρο ,κάλιο και μαγνήσιο του βασιλικού σύμφωνα με τις αναλύσεις των εδαφών (Georgiadiou, *et al.*, 2018).

Όσον αφορά την καλλιέργεια του, σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα, που υπάρχουν, μία λίπανση με 30 κιλά φωσφορικής αμμωνίας, είναι μία λίπανση που βοηθάει ικανοποιητικά στην ανάπτυξη των φυτών. Στην Κύπρο χρησιμοποιείται η λίπανση που έχει σαν βασική λίπανση τα 50 κιλά το στρέμμα ενός λιπάσματος της μορφής (20-10-10), ενώ μετά από κάθε κοπή δίνονται 25-30 κιλά το στρέμμα θειϊκής αμμωνίας (21-0-0). (Javanmardi *et al.*, 2003)

Ο βασιλικός πολλαπλασιάζεται με φυτάρια που έχουν παραχθεί σε σπορείο, όπου σπέρνεται ο σπόρος του. Η σπορά στο σπορείο γίνεται την άνοιξη Μάρτιο-Απρίλιο, εφόσον το σπορείο διατηρείται στην ύπαιθρο ή νωρίτερα, στα τέλη του χειμώνα εφόσον ευρίσκεται σε θερμοκήπιο. Η σπορά στο σπορείο στην ύπαιθρο, έχει καλύτερα αποτελέσματα, όταν γίνεται από τις αρχές μέχρι τα μέσα Μαρτίου. Ο σπόρος του βασιλικού είναι μικρός, ένα γραμμάριο έχει περίπου 500 σπόρους και για να ετοιμάσουμε τα φυτά που έχουμε ανάγκη για να φυτέψουμε ένα στρέμμα, απαιτούνται 30-40 γραμμάρια ενώ απαιτείται ένα σπορείο 6-7 m² (Lajayer, *et al.*, 2019).

Μπορούμε να σπείρουμε απευθείας τους σπόρους του βασιλικού, στο χωράφι, σε μικρές λακούβες, χρησιμοποιώντας 6-10 σπόρους και στη συνέχεια γίνεται ένα αραίωμα αφήνοντας 1-2 φυτά σε κάθε θέση, ή γίνεται με σπαρτική μηχανή μικρών σπόρων. Η συνηθής πυκνότητα μίας συστηματικής φυτείας είναι 8500 φυτά το στρέμμα. Το φύτευμα των σπόρων γίνεται ανάλογα τις εδαφοκλιματικές συνθήκες μεταξύ 5-14 ημερών μετά την σπορά (Salachas, *et al.*, 2015).

Η φύτευση των φυταρίων μετά το σπορείο γίνεται όταν τα φυτά αποκτήσουν τουλάχιστον 4-6 φύλλα και ύψος 10cm, περίπου. Η εποχή της μεταφύτευσης στην χώρα μας είναι μεταξύ Απριλίου με μέσα Μαΐου. Δεν πρέπει η μεταφύτευση να γίνεται μετά τις 15 Μαΐου, επειδή θα έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο ύψος της παραγωγής. Τα φυτάρια φυτεύονται σε γραμμές που απέχουν 40-50cm ενώ η απόσταση φυτού από φυτό επάνω σε κάθε γραμμή φυτεύσεως πρέπει να είναι 20-30cm. Η φύτευση των φυταρίων μπορεί να γίνεται με τα χέρια (έχει μεγάλο κόστος) ή με μηχανή (όμοια με εκείνη που φυτεύουν τον καπνό) (Lajayer, *et al.*, 2019).

Ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) της οικογένειας Lamiaceae είναι φυτό μονοετές. Έχει βλαστό πολύκλαδο, τετραγωνικό, ύψους 0,2-0,8m, φύλλα αντίθετα, μικρά ή μεγάλα και άνθη μικρά σε ακραία στάχια, άσπρα ή ασπροκόκκινα. Ανθίζει την περίοδο του καλοκαιριού Ιούνιο - Αύγουστο. Η πιο εμπορική ποικιλία που καλλιεργείται στην Ελλάδα και εξάγεται ως φρέσκος είναι ο πλατύφυλλος ο γλυκός (έχει μεγάλα φύλλα και πολύ γλυκό άρωμα) (Salachas, *et al.*, 2015).

Ο βασιλικός (Ωκιμον το βασιλικόν, λατ. *Ocimum basilicum* L.) είναι γνωστός από την αρχαιότητα. Αναφέρεται για πρώτη φορά από τον Χρύσιππο (279 - 206 π.Χ.). Η προέλευση του ονόματός του ενδεχομένως είναι η ελληνική λέξη «βασιλεύς», ή βάσει μιας άλλης εκδοχής από τη λατινική λέξη basiliscus, ενός δράκου με πύρινη ανάσα. Το όνομα του γένους *Ocimum* είναι η μετάφραση από τα λατινικά του ονόματος του φυτού *Ocimum*, στο οποίο αναφέρθηκε ο Διοσκουρίδης (40-90 μ.Χ.). Ο βασιλικός κατάγεται από τις υποτροπικές ζώνες στην Αφρική και την Ασία. Πιθανός τόπος καταγωγής του είναι και η Ινδία, με εξάπλωση του μέσα από την Μικρά Ασία στην Ελλάδα και την Ρώμη, έπειτα στην βόρεια Ευρώπη και τέλος στη Βόρεια Αμερική το 1620 περίπου από τους Ευρωπαίους αποίκους. Η διάδοση του στην Ευρώπη έγινε μέσω κατακτητών και εξερευνητών, παραπάνω από 2000 χρόνια πριν. Είναι ένα από τα αυτοφυή φυτά της Αφρικής, Ασίας, Ινδίας, Μέσης Ανατολής,

Καραϊβικής και Νότιας Αμερικής (Παπαναγιώτου, Παπανικολάου & Ζαμανίδης, 2001).



Εικόνα 1. Ο Πλατύφυλλος Βασιλικός (hometownseeds.com)

Ο Βασιλικός είναι ένα παραδοσιακό και πολύ γνωστό φυτό στην Ελλάδα. Στο παρελθόν έχει ονομαστεί επίσης σταυρολούλουδο ή βασιλίτσα. Είναι καλοκαιρινό φυτό, ιθαγενές των τροπικών χωρών της Ασίας, Αφρικής, των νησιών του Ειρηνικού Ωκεανού και ειδικότερα της Μεσογείου. Τα φύλλα του φυτού είναι αρωματικά, στιλπνά, αντίθετα, έμμισχα, ωοειδή, ακέραια ή ελαφρώς οδοντωτά, χρώματος πράσινου και σε κάποιες ποικιλίες μπλε. Είναι είδος πολύμορφο όσον αφορά το μέγεθος των φύλλων (μικρόφυλλος, πλατύφυλλος, αραιόφυλλος, συμπαγής) αλλά και λόγω των εύκολων διασταυρώσεων μεταξύ των ποικιλιών. Τα άνθη του είναι μικρά, λευκού, ρόδινου ή μωβ χρώματος τα οποία εμφανίζονται κατά σπονδύλους σχηματίζοντας επάκριους στάχεις (Sattar, 2018).

Ο βασιλικός είναι ένα τρυφερό ποώδες ετήσιο φυτό, το οποίο προέρχεται από τροπικές και ζεστές περιοχές, όπως η Ινδία, η Αφρική και η νότια Ασία. Είναι φυσικοποιημένο σχεδόν σε όλες τις ωσειδές βάσεις. Ο βασιλικός αναφέρεται ότι ανέχεται πολύ μεταβλητές οικολογικές συνθήκες. Αναπτύσσεται στις δροσερές υγρές και τροπικές βροχοπτώσεις στις ετήσιες θερμοκρασίες μεταξύ 6 και 24 βαθμών κελσίου και λαμβάνει 500-8000 mm ετήσια βροχόπτωση (Nadeem *et al.*, 2020).

Αν και ο βασιλικός καλλιεργείται σε διαφορετικές κλιματικές και οικολογικές συνθήκες, οι πιο ευνοϊκές βρίσκονται σε χώρες με ζεστό κλίμα. Η ζεστασιά, και η υγρασία είναι οι βασικές οικολογικές απαιτήσεις για την καλλιέργεια βασιλικού. Είναι κοινώς γνωστό ότι ο βασιλικός είναι μάλλον ευαίσθητος στον παγετό. Υπάρχουν οφέλη αποτελέσματα επαναληπτικής παρακολούθησης από χώρες με εύκρατο κλίμα, που έμμεσα απέδειξαν τη ζεστασιά που απαιτεί χαρακτηριστικά ο βασιλικός (Lurpton *et al.*, 2016).

Ο βασιλικός αναπτύσσεται καλύτερα κάτω από μεγάλες μέρες σε ηλιόλουστες συνθήκες. Σε ένα ελεγχόμενο πείραμα, το μέσο βάρος του φυτού *Ocimum basilican var citriodora* κυμαινόταν μεταξύ 90-98 g / δοχείο σε 1,5-21 ώρες στο φως. Το στάδιο ανθοφορίας εμφανίστηκε ταχέως όταν τα φυτά εκτέθηκαν σε 18 ώρες φωτός, και η μεγαλύτερη απόδοση (102 g / δοχείο) λήφθηκε κάτω από 24 ώρες φωτός (Nadeem *et al.*, 2020).

Η βέλτιστη θερμοκρασία ημέρας / νύχτας για τη βλάστηση των σπόρων προσδιορίστηκε να είναι 24-27 / 19-22°C σε εργαστηριακές συνθήκες. Ο σπόρος βλάστησε μετά από τέσσερις ώρες (Lurpton *et al.*, 2016).

Οι περισσότερες εμπορικά διαθέσιμες ποικιλίες βασιλικού είναι του γλυκού βασιλικού. Υπάρχουν πάνω από 160 κατονομασμένες ποικιλίες, διαθέσιμες, με καινούργιες να εμφανίζονται κάθε χρόνο. Υπάρχει, επίσης, μια σειρά από είδη που πωλούνται (Lurpton *et al.*, 2016). Εδώ παρουσιάζονται μερικοί βασιλικοί, που συνήθως πωλούνται στις ΗΠΑ.

- African blue basil (*Ocimum basilicum* X *O. kilim & scharicum*)
- Anise basil ή Persian basil (Licorice basil || *O. basilicum* 'Licorice')
- Camphor basil, African basil (*O. kilim & scharicum*)
- Cinnamon basil (*Ocimum basilicum* 'Cinnamon')

- Dark opal basil (*Ocimum basilicum* 'Dark Opal')
 - Globe basil, dwarf basil, French basil (*Ocimum basilicum* 'Minimum')
 - Hoary basil (*Ocimum americanum* παλαιότερα γνωστού ως *O. canum*)
 - Holy basil (*Ocimum tenuiflorum*, παλαιότερα γνωστού ως *O. sanctum*)
 - Spice basil (μια ποικιλία *Ocimum americanum*, ο οποίος ορισμένες φορές πωλείται και ως holy basil)
 - Lemon basil (*Ocimum americanum*)
 - Lettuce leaf basil (*Ocimum basilicum* 'Crispum')
 - Purple basil (*Ocimum basilicum* 'Purpurescens')
 - Queen of Siam basil (*Ocimum basilicum citriodorum*)
 - Rubin basil (*Ocimum basilicum* 'Rubin')
- (Nadeem *et al.*, 2020).

Οι περίοδοι άνθησης είναι προγραμματισμένοι στις περισσότερες ποικιλίες Βασιλικού, για τους καλοκαιρινούς μήνες και τις ημέρες του Σεπτεμβρίου (Κανταρτζής, 2003).

3.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Γενικά η μορφολογία των φυτών ασχολείται τόσο με τη μορφή, τη κατασκευή και τα μέρη των φυτών, όσο και με τις σχέσεις αυτών μεταξύ τους. Σημαντικό αντικείμενο επίσης είναι η αναζήτηση ομοιοτήτων μεταξύ των διάφορων ομάδων. Συνεπώς πρόκειται για μία συγκριτική που διενεργείται υπό το φως της εξελικτικής μεταβολής της ανάπτυξης των φυτών. Έτσι οι μορφολογικές μελέτες ακολουθούν τρεις μεθόδους: α) τη σύγκριση των πλήρων μορφών των φυτών που υφίστανται σήμερα, β) τη σύγκριση αυτών με εκείνα που έχουν εκλείψει, (απολιθωμένα λείψανα), και γ) την παρατήρηση επί της ανάπτυξης καθενός φυτού χωριστά (οντογένεση). (Lv, *et al.*, 2017).

Η Μορφολογία των φυτών διακρίνεται στην "εξωτερική μορφολογία", που πραγματεύεται την εξωτερική μορφή των φυτών, και στην "εσωτερική μορφολογία" που εξετάζει την εσωτερική δομή των φυτών. Αυτή επιμέρους διακρίνεται στη "φυτική κυτταρολογία" που εξετάζει τη μορφή, τη σύσταση, κλπ. του κυττάρου και στην ανατομία ή "ιστολογία του φυτού" που εξετάζει τις διάφορες μορφές των φυτικών μερών, που προέρχονται από τη συναρμογή των φυτικών κυττάρων (Economou-Eliopoulos, *et al.*, 2017).

Η λαϊκή αξία του Βασιλικού οφείλεται στο άρωμα και στα φύλλα του φυτού. Ο διαχωρισμός των διαφόρων ποικιλιών έχει γίνει στο παρελθόν κυρίως με βάση τα φαινομενικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι εκτός των ποικιλιών με το χαρακτηριστικό άρωμα υπάρχουν ποικιλίες που έχουν άρωμα λεμονιού (Lemon basil), κανέλλας (Cinnamon) κ.α. (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Ο βασιλικός, πιθανώς να κατάγεται από την Ινδία ίσως και το Ιράν. Έχει καλλιεργηθεί εκεί, για περισσότερα από 5.000 χρόνια. Ήταν διεξοδικά αναφερόμενος στους Έλληνες συγγραφείς Θεόφραστο και Διοσκουρίδη. Πρόκειται για ένα μισό-σκληραγωγημένο ετήσιο φυτό πιο γνωστό ως μαγειρικό βότανο, χαρακτηριστικό κυρίως στην Ιταλική κουζίνα, το οποίο επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στις κουζίνες της Νοτιοανατολικής Ασίας της Ινδονησίας, Ταϊλάνδης, Μαλαισίας, Βιετνάμ, Καμπότζης, Λάος και της Ταϊβάν. Αναλόγως με το είδος και την ποικιλία, τα φύλλα μπορούν να έχουν γεύση παρόμοια με το γλυκάνισο, με έντονη, πικάντικη αλλά και συχνά γλυκιά μυρωδιά (Lajayer, *et al.*, 2019).

Υπάρχουν πολλές ποικιλίες των *Ocimum basilicum* καθώς και διάφορα συναφή είδη ή υβρίδια, τα οποία επίσης ονομάζονται βασιλικός. Ο τύπος ο οποίος χρησιμοποιείται στα ιταλικά φαγητά, συνήθως, ονομάζεται γλυκός βασιλικός, σε αντίθεση με τον βασιλικό της Ταϊλάνδης (*O. basilicum* ποικ. *thyrsiflora*), τον βασιλικό λεμόνι (lemon basil - *O. X citriodorum*) και τον ιερό βασιλικό (holy basil - *Ocimum tenuiflorum*), οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην Ασία. Ενώ οι πιο διαδεδομένες ποικιλίες του βασιλικού αντιμετωπίζονται ως μονοετή (annual), κάποιες, σε ζεστά τροπικά κλίματα, είναι πολυετή (perennial), συμπεριλαμβανομένου του «ιερού βασιλικού» («holy basil») και μια ποικιλία γνωστή ως «Αφρικανικός μπλε βασιλικός» («African Blue») (Georgiadou, *et al.*, 2018).

Λόγω του μεγάλου πολυμορφισμού που παρουσιάζεται στον βασιλικό, αλλά και λόγω της ευκολίας που υπάρχει στην διασταύρωση μεταξύ των διαφόρων ποικιλιών, έχουν δημιουργηθεί πολλές ποικιλίες και υβρίδια. Μορφολογικά υπάρχουν φυτά, λεπτόφυλλα, πλατύφυλλα, αραιόκλαδα, κλπ. Ο βασιλικός, έχει φύλλα αντίθετα και άνθη δίχειλα, μικρά, λευκά ή λευκορόδινα που σχηματίζουν ακραίο στάχυ. Οι σπόροι του είναι λεπτοί, μακρουλοί, και μαύροι (Malekpoor *et al.*, 2016).

Όσον αφορά τις ποικιλίες, υπάρχουν πάνω από 150 ποικιλίες βασιλικού σε ολόκληρο τον κόσμο. Μεταξύ αυτών αναφέρονται οι εξής:

- Grand Vert var. Genovese που φθάνει σε ύψος τα 30 cm. Έχει ωοειδή πράσινα φύλλα. Χρησιμοποιείται από τις μεσογειακές κουζίνες
- Fin vert. Έχει μικρά και λεπτά φύλλα, λαμπρού χρώματος με χαρακτηριστικό άρωμα.
- Thai. Έχει πράσινα φύλλα, με βλαστούς και άνθη κόκκινα. Γεύση χαρακτηριστική που μοιάζει με το εστραγκόν ή το άνηθο.
- Feuille de laitue. Έχει πολύ μεγάλα φύλλα ανοιχτού πράσινου χρώματος και χαρακτηριστικό άρωμα (Malekroog *et al.*, 2016).

3.3 Πολλαπλασιασμός-Καλλιέργεια

Ο πολλαπλασιασμός και η καλλιέργεια του φυτού πραγματοποιείται κυρίως μέσω του σπόρου που σπέρνεται σε σπορείο νωρίς την εποχή της άνοιξης. Αυτό πραγματοποιείται μετά την περίοδο των τελευταίων κρύων. Πιο χαρακτηριστικά, η ποσότητα σπόρου 30-50 γραμμαρίων μπορεί να καλύψει μια περιοχή 10 τετραγωνικά μέτρα περίπου, από την οποία λαμβάνονται φυτάρια για την κάλυψη ενός στρέμματος φυτείας Βασιλικού. Οι μεταφυτεύσεις πραγματοποιούνται τους μήνες Απρίλιο και Μαίο σε αποστάσεις 30-40 x 40-50 εκατοστών αναμεταξύ τους. Ο σπόρος σπέρνεται και απευθείας στο χωράφι ή στο φυτοδοχείο την ίδια εποχή. Δεν αυτοφύεται, μόνο καλλιεργείται και ευδοκιμεί σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, ήπιο και βραχύ χειμώνα και δροσερό καλοκαίρι, σε εδάφη πλούσια, ελαφρά, με ουδέτερο pH, θερμά ηλιαζόμενα, ποτιστικά και καλά αποστραγγιζόμενα. Έχει υψηλές απαιτήσεις σε νερό ιδιαίτερα τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού. Οι μικρόφυλλες ποικιλίες προτιμούν ηλιόλουστα εδάφη ενώ αυτές με μεγάλα φύλλα ημισκιερά. Ακόμα και οι μικρόφυλλοι βασιλικοί, τις εποχές του καλοκαιριού προτιμούν ημισκιερές θέσεις (Μήτσιος, 2004).



Εικόνα 2. Φύλλα Πλατύφυλλου Βασιλικού (Singletary, 2004)

Πρόκειται για ένα φυτό μεγάλης αναπλαστικής ικανότητας. Για αυτό πραγματοποιούνται και αρκετές σοδιές ανά τα έτη. Οι συλλογές πραγματοποιούνται όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο της πλήρους άνθησης. Δεν αντέχει την υπερβολική υγρασία. Επίσης προσβάλλεται εύκολα από αφίδες οι οποίες καταπολεμούνται με φυσικές ή χημικές μεθόδους. Είναι πολύ ευαίσθητος στις χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0°C), για τον λόγο αυτό είναι σημαντική η προστασία του από τον παγετό. Το φυτό χαρακτηρίζεται από απαιτήσεις σε νερό αλλά δεν χρειάζεται υπερβολική ποσότητα (Κανταρτζής, 2003).

Επειδή έχει μεγάλη βλαστική ανάπτυξη ο βασιλικός, χρειάζεται αρκετό νερό. Η συχνότητα του ποτίσματος εξαρτάται από το είδος του εδάφους, (αμμώδες, πηλώδες, αργιλώδες). Στα αμμώδη εδάφη η άρδευση πρέπει να γίνεται συχνότερα. Τις πολύ θερμές ημέρες το πότισμα πρέπει να γίνεται ανά δεύτερη ημέρα. Κατά μέσο όρο, οι αρδεύσεις γίνονται κάθε 5-10 ημέρες και πρέπει να σταματούν 4-5 ημέρες πριν από κάθε συλλογή των φύλλων (Economou-Eliopoulos, *et al.*, 2017). Αξίζει να αναφερθεί πώς μπορούμε να βοηθήσουμε την ανάπτυξη του ενισχύοντας το με οργανικό λίπασμα για αρωματικά φυτά μία φορά το μήνα (Lajayer, *et al.*, 2019).

3.4 Εδαφοκλιματικές συνθήκες

Ο Βασιλικός απαιτεί πλούσια εδάφη και απαιτείται βαθύ όργωμα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η βασική λίπανση σε συμβατικές καλλιέργειες γίνεται με προσθήκη λιπάσματος N-P-K 11-15-15 (50 kg/στρ.). Για βιολογικές καλλιέργειες χρησιμοποιείται καλά χωνεμένη κοπριά ή σκευάσματα εγκεκριμένα για βιολογική γεωργία (Benedec *et al.*, 2007). Τα νεαρά φυτά φυτεύονται σε γραμμές που απέχουν 30cm μεταξύ τους και έχουν απόσταση επί των γραμμών 25-30cm. Η καταλληλότερη εποχή είναι από τα μέσα Μαρτίου και μετά, όταν η θερμοκρασία σταθεροποιείται κοντά στους 20°C. Στις νοτιότερες περιοχές αυτό γίνεται από τις αρχές της άνοιξης, ενώ στις ορεινές περιοχές, πιο αργά. Εάν δεν υπάρχει χημική ανάλυση εδάφους, που αποτελεί τη βάση της ορθολογιστικής λίπανσης, τότε γίνεται μια βασική λίπανση αζώτου-φωσφόρου-καλίου με τύπο λιπάσματος 20-10-10 και μετά από κάθε κοπή με τον τύπο 21-0-0. Ο βασιλικός είναι επιπολαιόριζο φυτό και άρα δεν πρέπει να γίνονται πολλά σκαλίσματα διότι καταστρέφεται το ριζικό του σύστημα. Συνήθως χρησιμοποιούνται προφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα (Kohzadi, *et al.*, 2019).

Θεωρείται ποτιστική καλλιέργεια και αρδεύεται αναλόγως του εδάφους και του κλίματος κάθε 10-12 μέρες. Τα ποτίσματα πρέπει να διακόπτονται 4-5 ημέρες πριν από κάθε συγκομιδή των φυτών. Ιδιαίτερο πότισμα στον βασιλικό γίνεται κυρίως το καλοκαίρι. Ο βασιλικός είναι φυτό με μεγάλη αναβλαστική ικανότητα, γι' αυτό και γίνονται αρκετές συλλογές το χρόνο. Το φυτό όταν συλλέγεται για ξηρή δρόγη ή για απόσταξη πρέπει να βρίσκεται στην πλήρη άνθιση. Κόβοντας ολόκληρο το φυτό σε ύψος 10cm από το έδαφος με χορτοκοπτική μηχανή, το φυτό χρησιμοποιείται για ξήρανση με 3-4 συλλογές το χρόνο. Κόβοντας μόνο τις ανθοφόρες κορυφές με τα χέρια (πολλά ημερομίσθια) το φυτό χρησιμοποιείται για αιθέρια έλαια με 6-7 συλλογές το χρόνο. Όταν το φυτό συλλέγεται ως φρέσκο τότε η συλλογή γίνεται πριν αρχίσει η ανθοφορία (Lajayer, *et al.*, 2019).

Υπερδιπλάσιες οικονομικές αποδόσεις φέρνει η βιολογική καλλιέργεια βασιλικού έναντι της συμβατικής, με τα έσοδα σε ετήσια βάση να υπερβαίνουν τα 2.000€. Το ετήσιο κόστος για τον βασιλικό υπολογίζεται σε 300€ /στρέμμα δίνοντας καθαρό εισόδημα 800-1.100€ στην περίπτωση της συμβατικής καλλιέργειας (Maleki, Ghorbanpour & Kariman, 2017).

Η καλλιέργεια των φυτών έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις, τόσο όσο προς τις κλιματικές συνθήκες όσο και τις εδαφικές. Μετά από μελέτες, έχει παρατηρηθεί η ανάπτυξη του είδους αυτού σε περιοχές με συγκεκριμένα εδαφοκλιματικά χαρακτηριστικά. Ορισμένα από τα κυριότερα αυτά χαρακτηριστικά είναι η αντοχή των φυτών σε ψυχρά ή θερμά κλίματα. Σε ξηρά και θερμά κλίματα, όπως είναι το μεσογειακό κλίμα, φυτά όπως ο Βασιλικός, αναπτύσσονται με πολλές δυσκολίες, εφόσον δεν εφαρμόζονται κατάλληλες καλλιεργητικές φροντίδες στην καλλιέργεια για την ρύθμιση του μικροκλίματος και των εδαφικών συνθηκών (Al-Thani, Koc & Isaifan, 2018).

Ο Ramin (2006) επεσήμανε τους ακόλουθους μηχανισμούς στους οποίους η αλατότητα επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη και το στρες των φυτών: 1) η ανάπτυξη των φυτών μπορεί να μειωθεί λόγω της επίδρασης της αλατότητας 2) το στρες που προκαλείται από αλατότητα μπορεί να αλλάξει την ισορροπία των ορμονών ρίζας και βλαστών. 3) το στρες των φυτών λόγω αλατότητας αλλάζει επίσης τους χλωροπλάστες και τις δομές στα μιτοχόνδρια και έτσι μειώνει αισθητά την ανάπτυξη των φυτών. Τέλος, 4) η αναπνοή αυξάνεται και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα μειώνεται υπό φυσιολογικούς όρους. Ο Ramin (2006) έδειξε επίσης ότι ο γλυκός βασιλικός είναι μέτρια ανεκτικός στην αλατότητα. Κάποια είδη βασιλικού είναι ανθεκτικά στην αλατότητα, ιδίως σε φάσεις βλάστησης και ανάπτυξης, αλλά απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να αποσαφηνιστεί η ανοχή του γλυκού βασιλικού στο άλας στα άλλα στάδια ανάπτυξης (Ramin, 2006).

3.5 Χρήσεις

Ο βασιλικός είναι μέρος πολυάριθμων μύθων, και προκαταλήψεων διαφόρων πολιτισμών. Στην παράδοση της Ιταλίας ο βασιλικός ήταν σύμβολο της αγνότητας ή του έρωτα. Κατά την περίοδο του Μεσαίωνα, κλαδιά βασιλικού κρέμονταν πάνω από τις πόρτες για προφύλαξη κατά της κακής τύχης. Στην Ινδία, καλλιέργεια του βασιλικού γίνεται πλησίον ναών και σπιτιών για προστασία κατά του κακού αλλά και εξασφάλιση της σωτηρίας, εφόσον θεωρείται ιερό φυτό με πλήθος θεραπευτικών ιδιοτήτων, και συγκεκριμένα τη θεραπεία ενάντια στην ελονοσία. Παρόλα αυτά στον βασιλικό αποδίδονται και αρνητικές ιδιότητες από αρκετούς πολιτισμούς. Κατά τον Διοσκουρίδη, η κατανάλωση βασιλικού είχε ως συνέπεια μείωση της όρασης, συχνοουρία και μείωση της παραγωγής του γάλακτος των θηλαζουσών μητέρων. Οι Ρωμαίοι αλλά και οι Έλληνες της Αρχαιότητας πίστευαν πως η ανάπτυξη του βασιλικού σχετιζόταν με στοιχεία κακοποίησης, φτώχειας, μίσους και κακοτυχίας. Στην Κρήτη ο βασιλικός θεωρούνταν πως εξουσιαζόταν από τον διάβολο (Παπαναγιώτου, Παπανικολάου & Ζαμανίδης, 2001).

Ο βασιλικός έχει πολυάριθμες εφαρμογές στην ιατρική. Στην Αφρική χρήση του γίνεται για να θεραπευτεί ο βήχας και ο πυρετός, ενώ οι ρίζες του βοηθούν στην καταπράυνση του πονόκοιλου και των κρυολογημάτων. Στην Ινδία χρήση του γίνεται για να θεραπευτεί η γονόρροια, ενώ στο Σουδάν γίνεται χρήση μίας πάστας με βάση τον βασιλικό για να θεραπευτούν δερματικές παθήσεις. Ο βασιλικός θεωρείται επιπλέον σπασμολυτικός, διεγερτικός, τονωτικός, διουρητικός και ευστόμαχος. Παλαιότερα ήταν μία από τις παραδοσιακές θεραπείες ελαφριάς μορφής νευροπάθειας. Η κατανάλωση αφεψήματος από τα φύλλα του θεωρείται πως βοηθά στην ανακούφιση της ναυτίας, του στομαχόπνου και του πυρετού. Χρήση του γινόταν επίσης για να θεραπευτούν δαγκώματα από φίδια και τσιμπήματα από έντομα, καθώς και για να περιποιηθούν κρεατοελιές και αδενώδη εκφύματα (Παπαναγιώτου και Παπανικολάου, 2004).

Μεγάλος είναι και ο αριθμός των σύγχρονων χρήσεων του βασιλικού. Οι πιο κυρίες είναι καλλωπιστικές, εμπορικές, αρωματικές, φαρμακευτικές αλλά και θρησκευτικές. Χρήση των αιθέριων ελαίων του γίνεται για να παρασκευαστούν εντομοαπωθητικά, φάρμακα και αρωματικά για μαγειρικά σκευάσματα. Στο εμπόριο, ο βασιλικός είναι συστατικό σε στοματικά διαλύματα, φάρμακα, σαπούνια,

σαμπουάν, αρώματα (Brut), ποτά (λικέρ Chartreuse), ζαχαρώδη προϊόντα και προϊόντα αρτοζαχαροπλαστικής. Χρήση χλωρού ή ξηρού βασιλικού γίνεται στην μαγειρική αλλά και για να παρασκευαστούν αρωματικά ξύδια και λάδια. Είναι γνωστή η σάλτσα πέστο, ένας συνδυασμός βασιλικού, σκόρδου, ελαιόλαδο και παρμεζάνας (Παπαναγιώτου, Παπανικολάου & Ζαμανίδης, 2001).

Για την παραγωγή ξηρής ή νωπή δρόγης γίνονται τρεις συγκομιδές σε κάθε καλλιεργητική περίοδο, λίγο πριν την άνθηση των φυτών. Η απόδοση στην πρώτη συγκομιδή είναι 1000 kg ανά στρέμμα ενώ η δεύτερη και η τρίτη είναι μικρότερες. Σε καλλιέργειες που προορίζονται για παραγωγή αιθέριου ελαίου γίνεται συνήθως μια συγκομιδή κατά την άνθηση (Ιούνιος) και μια συγκομιδή για ξηρή δρόγη το Σεπτέμβριο. Σε καλλιέργειες με κανονική άρδευση και λίπανση οι αποδόσεις σε φρέσκο βασιλικό κυμαίνονται γύρω στα 800 - 1000 kg/στρ./συγκομιδή ενώ για ξηρό προϊόν οι αποδόσεις κυμαίνονται γύρω στα 110-130 κιλά/στρ./συγκομιδή. Μετά τη συγκομιδή για την παραγωγή ξηρής δρόγης ακολουθεί ξήρανση σε αυτοσχέδια ξηραντήρια στα οποία τα φυτά κρέμονται σε δεσμίδες με σύρμα από την οροφή. Ο χρόνος για την ξήρανση εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την υγρασία στο περιβάλλον και είναι από 3 μέχρι 10 μέρες. Ξήρανση μπορεί να γίνει και σε ειδικά διαμορφωμένα ξηραντήρια όπου η θερμοκρασία είναι γύρω από τους 40 °C. Σε κάθε περίπτωση, η θερμοκρασία κατά την ξήρανση δεν πρέπει να ξεπερνά τους 50°C γιατί αλλοιώνεται το χρώμα και η σύσταση του αιθέριου ελαίου που περιέχεται στους φυτικούς ιστούς (Lajayer, *et al.*, 2019).

Ορισμένες ακόμα από τις χρήσεις του Βασιλικού περιλαμβάνονται στα παρακάτω:

- Χρήση σε μπορντούρες ή σε παρτέρια όπου τοποθετείται συνήθως περιφερειακά αν χρησιμοποιηθεί με άλλα φυτά τα οποία επιλέγονται με χρώματα έντονα, συμπληρωματικά του φυλλώματος του (Μήτσιος, 2004).
- Συνδυάζεται με διάφορα λαχανικά και ιδιαίτερα με τις τομάτες και τις μελιτζάνες.
- Χρησιμοποιείται ως βασικό συστατικό στην παρασκευή διάφορων σαλτσών όπως είναι η Ιταλική συνταγή σάλτσας πέστο (Καραμπουρνιώτης, 2003).

- Συνιθίζεται να συνδυάζεται με κοτόπουλο, κρέας, ψάρι, και με διαφόρων ειδών μαγειρευτά φαγητά. Προστίθενται πάντα φρέσκα φύλλα προς το τέλος του μαγειρέματος (Μήτσιος, 2004).
- Τα αιθέρια έλαια του βασιλικού χρησιμοποιούνται στην αρωματοθεραπεία ως αρωματικά στοιχεία, στα σαπούνια, στα φάρμακα, στα γλυκά, , στα τρόφιμα και στα λικέρ (Κανταρτζής, 2003).

Τμήματα του φυτού βασιλικού, ειδικά τα φύλλα, και τα εκχυλίσματά του έδειξαν οφέλη για την υγεία σε μια ποικιλία κλινικών ρυθμίσεων. Όλα τα είδη που δοκιμάστηκαν, *O. tenuiflorum* / *O. sacum*, *O. basilicum* και *O. canum*, έδειξαν κάποιο επίπεδο οφέλους, με το μέγεθος της αλλαγής να ποικίλλει ανάλογα με το τελικό σημείο που εξετάστηκε και τις πειραματικές μεθόδους. Τα οφέλη που προσδιορίζονται περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ομοιόστασης της γλυκόζης και του προφίλ των λιπιδίων για ασθενείς με διαβήτη, την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος, την ανακούφιση του στρες και του άγχους και την ενίσχυση της μνήμης. Αναφέρθηκαν επίσης η υγεία και η επούλωση πληγών του στόματος και του δέρματος. Είναι δύσκολο να γίνουν συγκρίσεις ευεργετικών επιδράσεων μεταξύ ειδών *Ocimum* που παρουσιάζουν διαφορετικούς χημειοτύπους σε αυτό το σημείο. Ο αριθμός των κλινικών δοκιμών που αξιολογούν συγκεκριμένα ζητήματα υγείας ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των ειδών (Nadeem *et al.*, 2020).

Μόνο 2 μελέτες (Nadeem *et al.*, 2020; Mishra *et al.*, 2019) αναφέρθηκαν για το *O. canum* στο οποίο σημειώθηκαν ασυνεπείς αποκρίσεις των επιπέδων γλυκόζης μετά τη χορήγηση βασιλικού. Ομοίως, μόνο 4 αναφορές έδειξαν οφέλη του *O. basilicum* στην ψυχική υγεία, τη θεραπεία της ακμής και την υγεία των δοντιών, χωρίς να παρατηρείται καμία επίδραση για το ΔΜΣ και το ποσοστό σωματικού λίπους. Αντίθετα, έχουν πραγματοποιηθεί τουλάχιστον 34 κλινικές δοκιμές για το *Tulsi* (*O. sacum*, *O. tenuiflorum*, *O. gratissimum*) στις οποίες παρατηρήθηκαν οφέλη για τις μεταβολικές διαταραχές, την ψυχική και ανοσολογική υγεία, τη φλεγμονή των ούλων, τη φθορά των δοντιών και την υγεία του δέρματος. Έγκυρες συγκρίσεις για τα οφέλη στην υγεία μεταξύ των διαφόρων αυτών ειδών αναμένονται με περισσότερες αναφορές επιπλέον δοκιμών (Nadeem *et al.*, 2020; Mishra *et al.*, 2019).

Παρόλο που δεν ανιχνεύθηκαν ανεπιθύμητες ενέργειες στις δόσεις και τη διάρκεια του βασιλικού που αξιολογήθηκαν σε αυτές τις ανθρώπινες έρευνες, τυχόν

όμως ανεπιθύμητες ενέργειες από τη μακροχρόνια πρόσληψη βασιλικού και τα εκχυλίσματα του πρέπει να τεκμηριωθούν προσεκτικά. Παρόλο που υπάρχει ενθάρρυνση να συμπεριληφθεί ο βασιλικός στη διατροφή για τη βελτίωση της διαχείρισης του διαβήτη και του μεταβολικού συνδρόμου, πολλά ζητήματα πρέπει να αντιμετωπιστούν διεξοδικά κατά την αξιολόγηση όλων αυτών των υποτιθέμενων οφελών για την υγεία. Όπως επισήμαναν οι Jamshidi και Cohen (2017), μόνο μια μειονότητα των δημοσιευμένων μελετών μπορεί να θεωρηθεί υψηλής ποιότητας και περίπου μόνο το 13% των δοκιμών ενσωμάτωσε μια διπλή-τυφλή προσέγγιση. Οι μεθοδολογικές ανησυχίες, καθώς και η εκτεταμένη έλλειψη λεπτομερειών σχετικά με τις ποικιλίες βασιλικού, τη μορφή δοσολογίας και τη χημική σύνθεση των δοκιμαστικών δειγμάτων, υποδηλώνουν ότι εξακολουθούν να υπάρχουν ανεπαρκή δεδομένα για την υποστήριξη συγκεκριμένων συστάσεων για χρήση. Απαιτούνται επιπλέον μελέτες σε μεγαλύτερους πληθυσμούς ατόμων, μεγαλύτερες περιόδους παρέμβασης και καλύτερο χαρακτηρισμό των αποτελεσματικών μορφών και των ενεργών διαιτητικών δόσεων βασιλικού. Οι μελέτες πρέπει να αναφέρουν τη χημική σύνθεση των δειγμάτων και σε οποιοσδήποτε δοκιμές που χρησιμοποιούν βασιλικό για συμπληρωματικές θεραπείες, πρέπει να παρέχονται δεδομένα σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις με κοινά συνταγογραφούμενα φάρμακα. (Jamshidi & Cohen, 2017).

3.6 Φαρμακευτικές ιδιότητες

Ο βασιλικός έχει χρησιμοποιηθεί για να ανακουφίσει πολλές διαφορετικές ασθένειες και παθήσεις, χάρη στις διάφορες φαρμακευτικές του ιδιότητες. Μερικά από τα οφέλη του παρουσιάζονται παρακάτω (Lv, *et al.*, 2017):

Ο βασιλικός βοηθά στην αντιμετώπιση της κούρασης, των φλεγμονών από τη σωματική κόπωση και στην καταπολέμηση της κατάθλιψης. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ευρέως για την ρύθμιση του άγχους.

Επιπρόσθετα, καταπραΰνει τις κράμπες που προκαλούνται από την εμμηνορροία. Το χαλαρωτικό του άρωμα είναι παρόν σε διάφορα λάδια σώματος.

Παράλληλα, ο βασιλικός είναι ένα εξαιρετικό φυσικό αποθητικό κουνουπιών. Οι αντιβακτηριδιακές του ιδιότητες χρησιμοποιούνται για να θεραπεύσουν μολυσματικά δαγκώματα, όπως το δάγκωμα φιδιού.

Ο βασιλικός είναι επίσης γνωστός για την επιτάχυνση της επούλωσης των πληγών. Γι'αυτό είναι παρών σε φυσικές αλοιφές.

Όταν καταναλώνεται ως τσάι ή ρόφημα με τρόπο που δεν μεταβάλλει την αρχική του σύνθεση, μπορεί να προσφέρει μεγάλη βοήθεια στο ανοσοποιητικό σύστημα και στην γενικότερη άμυνα του οργανισμού (Al-Thani, Koc & Isaifan, 2018).



Εικόνα 3. Κοντινή Φωτογραφία Φύλλων του Πλατύφυλλου Βασιλικού (hometownseeds.com, 2020)

Επίσης, το φυτό χρησιμοποιείται στην ανακούφιση ήπιων νευρολογικών συμπτωμάτων, στην θεραπεία κρυολογήματος και γρίπης. Το αφέψημα του βοηθά στην ναυτία, στις ημικρανίες, στην κατάθλιψη, στην αϋπνία, στην πέψη, στη δυσκοιλιότητα και γενικά στις διαταραχές του εντέρου. Επίσης, συνιστάται στην καταπολέμηση της ακμής και στις λοιμώξεις του δέρματος. Επιπλέον, τα εκχυλίσματα του φυτού είναι βακτηριοκτόνα και έχουν εντομοαπωθητική δράση. Στην Κινέζικη ιατρική χρησιμοποιείται ο βασιλικός για παθήσεις των νεφρών και για ασθένειες των ούλων, ενώ στη Ινδία χρησιμοποιείται ως καταπραϋντικό για τον πόνο στα αυτιά, στις διαταραχές της έμμηνου ρύσεως, στην αρθρίτιδα, στον κνησμό και σε αρκετά συμπτώματα της ελονοσίας (Shahid, *et al.*, 2017).

Η θεραπεία με φαρμακευτικά φυτά είναι τόσο παλιά όσο και η ίδια η ανθρωπότητα. Η σχέση μεταξύ του ανθρώπου και της αναζήτησής του για φάρμακα

στη φύση χρονολογείται από το μακρινό παρελθόν, για το οποίο υπάρχουν πολλά στοιχεία από διάφορες πηγές όπως: γραπτά έγγραφα, διατηρημένα μνημεία, ακόμη και πρωτότυπα φυτικά φάρμακα. Η συνειδητοποίηση της χρήσης φαρμακευτικών φυτών είναι αποτέλεσμα πολλών ετών αγώνων ενάντια σε ασθένειες λόγω των οποίων ο άνθρωπος έμαθε να αναζητά φάρμακα σε φλοιούς, σπέρματα, σε φρούτα και σε άλλα μέρη των φυτών. Η σύγχρονη επιστήμη έχει αναγνωρίσει την ενεργή δράση τους και έχει συμπεριλάβει στη σύγχρονη φαρμακοθεραπεία μια σειρά φαρμάκων φυτικής προέλευσης, γνωστά από αρχαίους πολιτισμούς τα οποία χρησιμοποιούνται μέσα στις χιλιετίες. Η γνώση της ανάπτυξης ιδεών που σχετίζονται με τη χρήση φαρμακευτικών φυτών καθώς και η εξέλιξη της ευαισθητοποίησης έχει αυξήσει την ικανότητα των φαρμακοποιών και των ιατρών να ανταποκριθούν στις προκλήσεις που έχουν προκύψει με τη διάδοση επαγγελματικών υπηρεσιών στη διευκόλυνση της ανθρώπινης ζωής (Mishra *et al.*, 2020).

Από την αρχαιότητα, σε αναζήτηση λύσης για τις νόσους τους, οι άνθρωποι έψαχναν φάρμακα στη φύση. Οι αρχές της χρήσης των φαρμακευτικών φυτών ήταν ενστικτώδεις, όπως συνέβαινε και με τα ζώα. Λόγω του γεγονότος ότι εκείνη την εποχή δεν υπήρχαν επαρκείς πληροφορίες τόσο για τους λόγους των ασθενειών όσο και για το ποιο φυτό και πώς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως θεραπεία, όλα βασίστηκαν στην εμπειρία. Με τον καιρό, ανακαλύφθηκαν οι λόγοι χρήσης συγκεκριμένων φαρμακευτικών φυτών για τη θεραπεία ορισμένων ασθενειών. Έτσι, η χρήση των φαρμακευτικών φυτών εγκατέλειψε σταδιακά το εμπειρικό πλαίσιο και βασίστηκε σε διερευνητικά γεγονότα. Μέχρι την έλευση της ιατροχημείας τον 16^ο αιώνα, τα φυτά ήταν η πηγή θεραπείας και προφύλαξης. Παρ'όλα αυτά, η μείωση της αποτελεσματικότητας των συνθετικών φαρμάκων και οι αυξανόμενες αντενδείξεις της χρήσης τους κάνουν τη χρήση φυσικών φαρμάκων επίκαιρη (Lajayer, *et al.*, 2019).

Οι παλαιότερες γραπτές ενδείξεις για τη χρήση φαρμακευτικών φυτών για την παρασκευή φαρμάκων έχουν βρεθεί σε μια στήλη από πηλό της Σουμερίας στο Ναγκπούρ, περίπου 5000 ετών. Περιλάμβανε 12 συνταγές για την παρασκευή φαρμάκων που αναφέρονται σε περισσότερα από 250 διάφορα φυτά, μερικά από αυτά αλκαλοειδή όπως παπαρούνα και μαντράκι (Lajayer, *et al.*, 2019).

Το κινεζικό βιβλίο για τις ρίζες και τα χόρτα "Pen T'Sao", που γράφτηκε από τον αυτοκράτορα Shen Nung γύρω στο 2500 π.Χ., περιέχει 365 φάρμακα (από αποξηραμένα φαρμακευτικά φυτά), πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Τα ινδικά ιερά βιβλία Vedas αναφέρουν τη θεραπεία με φυτά, τα οποία είναι άφθονα σε αυτήν τη χώρα. Πολλά φυτά μπαχαρικών που χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα προέρχονται από την Ινδία: όπως μοσχοκάρυδο, πιπέρι, γαρίφαλο κ.λπ. (Nadeem *et al.*, 2020)

Ο Αιγυπτιακός Πάπυρος, που γράφτηκε γύρω στο 1550 π.Χ., αντιπροσωπεύει μια συλλογή 800 γραφών που αναφέρονται σε 700 είδη φυτών και φάρμακα που χρησιμοποιούνται για θεραπεία, όπως ρόδι, καστορέλαιο, αλόη, σέννα, σκόρδο, κρεμμύδι, σύκο, ιτιά, κορίανδρο, άρκευθο, κ.λπ. Σύμφωνα με στοιχεία της Βίβλου και του ιερού Εβραϊκού Βιβλίου Talmud, κατά τη διάρκεια διαφόρων τελετών που συνοδεύουν μια θεραπεία, χρησιμοποιήθηκαν αρωματικά φυτά όπως μυρτιά και θυμίαμα. Στα έπη του Ομήρου, την Ιλιάδα και την Οδύσσεια, αναφέρθηκαν 63 είδη φυτών από τη μινωική, μυκηναϊκή και αιγυπτιακή φαρμακοθεραπεία. Σε μερικά από αυτά δόθηκαν τα ονόματα μερικών από τους μυθολογικούς χαρακτήρες αυτών των επών. Όσον αφορά τα φυτά του γένους *Artemisia*, τα οποία πιστεύεται ότι αποκαθιστούν τη δύναμη και προστατεύουν την υγεία, το όνομά τους προήλθε από την ελληνική λέξη Άρτεμις, που σημαίνει «υγιής» (Lajayer, *et al.*, 2019).

Το μεθανολικό εκχύλισμα φύλλων *O. Basilicum* έδειξε αναλγητική δράση σε συγκέντρωση 200 mg / kg που αξιολογήθηκε σε ελβετικά ποντίκια Albino και η αναλγητική του δράση ήταν συγκρίσιμη με την ασπιρίνη . Σε μια άλλη μελέτη που αξιολόγησε τις αντιεπιληπτικές επιδράσεις του αιθέριου ελαίου του *O. basilicum* σε ποντίκια με τεστ στρες που προκλήθηκε από οξικό οξύ, παρατηρήθηκε μείωση της κοιλιακής συστολής στα 50, 100 και 200 mg / Kg σωματικού βάρους. Στη δοκιμή θερμού πιάτου, αιθέριο έλαιο σε 50 mg / σωματικό βάρος. αύξησε την καθυστέρηση του πόνου. Τα αποτελέσματα των περιφερειακών και κεντρικών αντιεπιληπτικών αποτελεσμάτων των αιθέριων ελαίων σχετίζονται με την αναστολή της βιοσύνθεσης των μεσολαβητών πόνου, όπως η αλληλεπίδραση προσταγλανδινών, προστακυκλίνων και υποδοχέων οπιοειδών (Venancio *et al.*, 2010).

Διερευνήθηκε η *in vitro* υπογλυκαιμική δραστηριότητα υδατικού εκχυλίσματος βασιλικού σε ποντίκια. Το εκχύλισμα έδειξε σημαντική δόσοεξαρτώμενη αναστολή

έναντι της εντερικής σακχαρόζης του αρουραίου, της μαλτόζης και της α-αμυλάσης του παγκρέατος χοίρου. Η αναστολή χαρακτηρίστηκε έναντι μαλτόζης σε σύγκριση με τη σακχαρόζη. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να οφείλονται στο υψηλό επίπεδο της συνολικής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες και στα περιεχόμενα φλαβονοειδών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το υδατικό εκχύλισμα βασιλικού μέσω αντιοξειδωτικών και πιθανώς ανασταλτικών δραστηριοτήτων α-γλυκοσιδάσης και α-αμυλάσης, πρόσφερε καλή ανταπόκριση στον έλεγχο του διαβήτη (El-Beshbishy & Bahashwan, 2012).

Διερευνήθηκαν τα αποτελέσματα μείωσης των λιπιδίων του υδατικού εκχυλίσματος *O.basilicum* σε επαγόμενους από Triton υπερλιπιδαιμικούς αρουραίους. Στις 24 ώρες μετά τη χορήγηση *O. basilicum*, τα επίπεδα της ολικής χοληστερόλης, της LDL-χοληστερόλης και των τριγλυκεριδίων μειώθηκαν κατά 56%, 68% και 63%, αντίστοιχα σε σύγκριση με την ομάδα που έλαβε Triton, αλλά η HDL-χοληστερόλη δεν αυξήθηκε σημαντικά. Το αντιυπερλιπιδαιμικό αποτέλεσμα που ασκήθηκε από το εκχύλισμα *O.basilicum* ήταν σημαντικά ισχυρότερο από το αποτέλεσμα που προκαλείται από τις θεραπείες Fenofibrate. Επιπλέον, το υδατικό εκχύλισμα *O.basilicum* έδειξε επίσης μια πολύ υψηλή αντιοξειδωτική ιδιότητα (Amrani *et al.*, 2006).

Εξετάστηκαν οι επιδράσεις του αιθανολικού εκχυλίσματος των εναέριων μερών του βασιλικού στις καρδιακές λειτουργίες και οι ιστοπαθολογικές μεταβολές που παράγονται στο έμφραγμα του μυοκαρδίου που προκαλείται από ισοπροτερενόλη (MI). Όλες οι δόσεις του εκχυλίσματος μείωσαν σημαντικά την αύξηση του ST segment που προκαλείται από την ισοπροτερενόλη. Το εκχύλισμα βασιλικού βελτίωσε σημαντικά την ίνωση και τη νέκρωση του μυοκαρδίου, κατέστειλε τη συσταλτικότητα της αριστερής κοιλίας και αύξησε σημαντικά την τελική-διαστολική πίεση της αριστερής κοιλίας. Εκτός από την *in vitro* αντιοξειδωτική δράση, το εκχύλισμα μείωσε σημαντικά την αύξηση των επιπέδων της μηλονοδιαλδεΰδης τόσο στο μυοκάρδιο όσο και στον ορό. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι ο βασιλικός προστάτευε έντονα το μυοκάρδιο από το έμφραγμα που προκαλείται από ισοπροτερενόλη και εξηγεί ότι οι καρδιοπροστατευτικές επιδράσεις θα μπορούσαν να σχετίζονται με αντιοξειδωτικές δραστηριότητες (Fathiazad *et al.*, 2012).

Το αιθέριο έλαιο του εναέριου μέρους του *O.basilicum* εξετάστηκε για την ηρεμιστική, υπνωτική, αντισπασμωδική και τοπική αναισθητική του δράση σε ποντίκια. Η κινητική βλάβη δημιουργήθηκε σε υψηλότερες δόσεις. Οι σπασμοί και το ποσοστό των επιληπτικών κρίσεων αυξήθηκαν με δοσοεξαρτώμενο τρόπο ελαίου *O.basilicum*. Όλες οι δόσεις αιθέριου ελαίου υψηλότερες από 0,2 ml / Kg αύξησαν τον χρόνο ύπνου της πεντοβαρβιτάλης σε ποντίκια (Sarahroodi *et al.*, 2012).

3.7 Ο Πλατύφυλλος Βασιλικός (Sweet Basil)

Έχει την μεγαλύτερη περιεκτικότητα αιθέριου ελαίου, την περισσότερη εμπορική διαθεσιμότητα και οικονομική σημασία, γι' αυτό και καλλιεργείται παντού. Οφείλει το όνομα του στο μέγεθος των φύλλων του και στο γλυκό του άρωμα, ενώ τα άνθη του είναι μικρά και συνήθως λευκά. Είναι αυτός που χρησιμοποιούν οι Ιταλοί για το πέστο της Γένοβας (pesto genovese) και έχει όπως το λέει και το όνομά του γλυκό, ζεστό και πιπεράτο άρωμα, που θυμίζει ελαφρά γαρυφαλόκαρφο, μέντα και γλυκάνισο. Τα ίδια ανακαλύπτονται και για την πορφυρόχρου εκδοχή του (Var. *Purpurascens*), με τα βαθυκόκκινα ή άλλοτε σχεδόν ροζ φύλλα του, τον οποίο οι σεφ λατρεύουν για τις σαλάτες και τα ριζότο τους. Ο «βασιλικός-κανέλλα» από το Μεξικό, όντως δίνει μια αίσθηση κανέλας. Ο «μπλε αφρικανικός» που τα πράσινα φύλλα του, με τα πορφυρά νεύρα τους μοιάζουν με της μέντας έχει ένα χαρακτηριστικό πιπεράτο άρωμα, με νότες μέντας και καμφοράς σε δεύτερη ανάγνωση. Ο πλατύφυλλος βασιλικός με τα τεράστια, σαν μαρουλόφυλλα φύλλα του (*O. Basilicum* Var. *Crispum*) είναι ο βασιλικός που λατρεύουν οι Ιταλοί για την ντομάτα-μοτσαρέλα τους και ξεχωρίζει για το πιπεράτο άρωμα του (Lajayer, *et al.*, 2019).

Στην Ελλάδα, γίνεται καλλιέργεια της περισσότερο εμπορικής ποικιλίας, ο ευρωπαϊκός χημειότυπος (πλατύφυλλος ή γλυκός βασιλικός, Sweet basil, Genovese), του οποίου χαρακτηριστικό είναι η περιεκτικότητα σε λιναλοόλη και μεθυλική καβικόλη σε αναλογία 2:1 έως 3:1. Η ευγενόλη μαζί με αυτές τις δύο ουσίες χαρακτηρίζουν τους βασιλικούς σε αυτό το χημειότυπο και μέσω του προσδιορισμού στις αναλογίες των αιθέριων ελαίων τους αναγνωρίζονται οι ποικιλίες του συγκεκριμένου χημειότυπου. Το όνομα του πλατύφυλλου ή γλυκού βασιλικού προέρχεται από τα πλατιά του φύλλα και στο γλυκό του άρωμα. Είναι ετήσιο ποώδες φυτό, με ύψος 40 με 70 cm, πολύκλαδο, με πασσαλώδεις και διακλαδούμενες ρίζες. Τα φύλλα φύονται αντίθετα, είναι ωοειδή, μυτερά, ακέραια ή οδοντωτά, με μήκος 7

έως 8 εκατοστά, ανοιχτό πράσινο χρώμα, με ομαλά περιθώρια και με διογκωμένο παρέγχυμα ανάμεσα στα νεύρα (Lajayer, *et al.*, 2019).

Ο βασιλικός (*Ocimum basilicum*) της οικογένειας Lamiaceae είναι φυτό μονοετές. Έχει βλαστό πολύκλαδο, τετραγωνικό, ύψους 0,2-0,8m, φύλλα αντίθετα, μικρά ή μεγάλα άνθη σε ακραία στάχνα, άσπρα ή ασπροκόκκινα. Ανθίζει την περίοδο του καλοκαιριού Ιούνιο - Αύγουστο. Η πιο εμπορική ποικιλία που καλλιεργείται στην Ελλάδα και εξάγεται ως φρέσκος είναι ο πλατύφυλλος γλυκός βασιλικός(έχει μεγάλα φύλλα και πολύ γλυκό άρωμα) (Lajayer, *et al.*, 2019).



Εικόνα 4. Πλατύφυλλος Βασιλικός σε Ανάπτυξη (*hometownseeds.com*, 2020)

Το μέγεθος των ανθών είναι μικρό, το χρώμα τους συνήθως λευκό ή λευκορόδινο αναλόγως της ποικιλίας. Διαχωρισμός του αρώματος των διαφόρων ποικιλιών γίνεται ανάλογα της ομοιότητας με γνωστά μυρωδικά όπως του λεμονιού, της κανέλας, της καμφοράς, του γλυκάνισου, της γλυκίριζας, του γαρυφάλλου, της μέντας και του τριαντάφυλλου (Παπαναγιώτου & Παπανικολάου, 2004).

4.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Επιλογή πειραματόφυτου-Περιγραφή πειράματος

Για το σκοπό της μελέτης ακολουθήθηκε διπαραγοντικό πείραμα με παράγοντες το τρισθενές χρώμιο (Cr^{III}) και το εξασθενές χρώμιο (Cr^{VI}). Για κάθε παράγοντα έγιναν 5 μεταχειρίσεις 0 mg kg^{-1} ή ppm, 5 mg kg^{-1} ή ppm, 10 mg kg^{-1} ή ppm, 20 mg kg^{-1} ή ppm και 40 mg kg^{-1} ή ppm. Στην πειραματική διαδικασία εφαρμόσαμε το συστημα των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (5 μεταχειρίσεις όπου το κάθε block μεταχείρισης περιείχε συνολικά 5 φυτά και έγιναν 3 επαναλήψεις). Συνεπώς το πείραμα αποτελείται από 150 φυτά Πλατύφυλλου Βασιλικού (*Ocimum Basilicum*, L.).

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν σπορόφυτα πλατύφυλλου βασιλικού (*Ocimum basilicum*, L.) που προμηθεύτηκαν από το φυτώριο Μιγάλας ΑΓ.ΟΕ στην περιοχή Φραγκαβίλα Αμαλιάδας. Συνολικά προμηθεύτηκαν 150 σπορόφυτα με 4 πραγματικά φύλλα το καθένα, τα οποία μεταφυτεύτηκαν σε δοχεία χωρητικότητας 0, 5 L και διαμέτρου 8 cm στις 9 Απριλίου το 2018. Τα δοχεία ήταν ατομικά και συνεπώς κάθε δοχείο περιείχε ένα σπορόφυτο. Μετά από συνολικά 7 εβδομάδες, τα φυτάρια μεταφυτεύτηκαν σε μεγαλύτερες γλάστρες διαμέτρου 15 cm και χωρητικότητας 3 L..

Η δεύτερη μεταφύτευση έγινε σε σύντομο χρονικό διάστημα, μόλις 7 εβδομάδων λόγω των ιδανικών συνθηκών που επικρατούσαν στο θερμοκήπιο ανάπτυξης των σπορόφυτων. Η ανάπτυξη των φυτών έγινε εντός τοξωτού γυάλινου low vent (40 %) θερμοκηπίου.



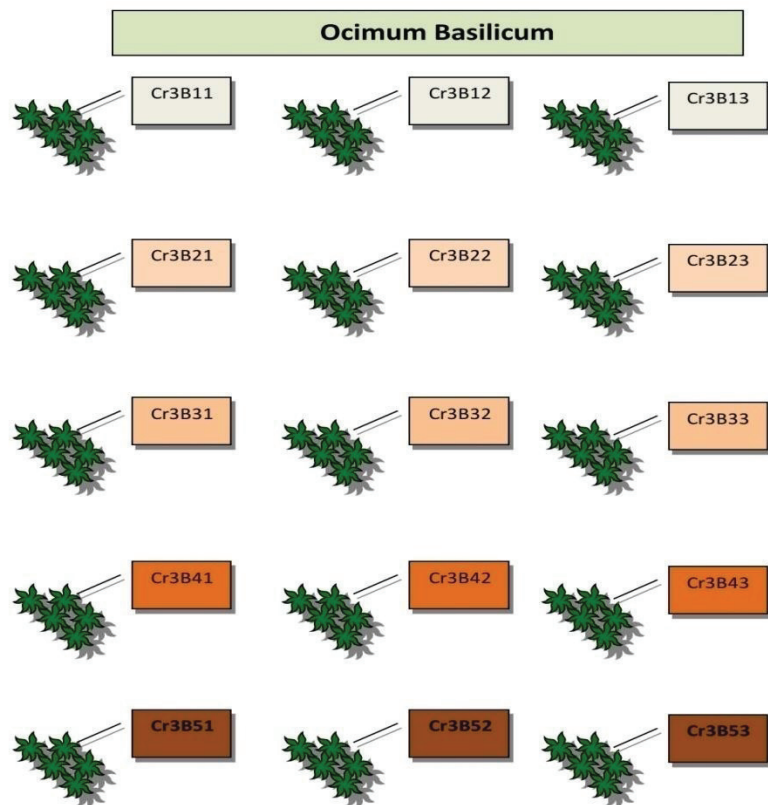
Εικόνα 5. Μεταφύτευση φυτών *Sweet Basil L.* στις 23/05/18

Πειραματικό σχέδιο:

Το στήσιμο του πειραματικού σχεδίου στο θερμοκήπιο έγινε ως εξής : για τις εφαρμογές του τρισθενούς χρώμιου τοποθετήθηκαν συνολικά 75 φυτά Πλατύφυλλου Βασιλικού (*Sweet Basil L.*) , 15 φυτά ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου (συγκεντρώσεις 0 , 5 , 10, 20 και 40 ppm). Συνεπώς αναλογούν 5 φυτά για κάθε ένα block από τις 3 επαναλήψεις ,όπως περιγράφεται στο Διάγραμμα 1. Οι εφαρμογές του τρισθενούς χρωμίου (Cr^{III} με τη μορφή $CrCl_3 \cdot 6H_2O$) γίνονται με ριζοποτίσματα. Ημερομηνία έναρξης των εφαρμογών ήταν από 2/06/2018 , όταν το ύψος των φυτών ήταν 19 cm .Σε κάθε γλάστρα (pot) ο όγκος διαλύματος με το τρισθενές χρώμιο ήταν ήταν συνολικά 50 ml .Οι εφαρμογές γίνονται μία φορά την εβδομάδα για συνολικά 8 εβδομάδες ,ενώ ενδιάμεσα γίνονται κανονικά ποτίσματα με ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθούν τυχόν απορροές. Συνολικά λοιπόν για το πέρας του πειράματος σε κάθε γλάστρα εφαρμόστηκαν 400 ml και ανά μεταχείριση για τα 15 φυτά 6000 ml τρισθενούς χρωμίου Στον Πίνακα 1,βλέπουμε αναλυτικά τις ποσότητες τρισθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν ανά pot και ανά block για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά και για τις τρεις επαναλήψεις.

Trivalent Chromium (Cr³⁺)

TREATMENT	ppm
TREATMENT	mg/kg
1 1	0 0
2 2	5 5
3 3	10 10
4 4	20 20
5 5	40 40



Διάγραμμα 1. Τρισθενές Χρόμιο (Cr³⁺)

Trivalent Chromium

Πίνακας 1. Ποσότητες τρισθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν ανα pot και ανά block για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά και στις 3 επαναλήψεις

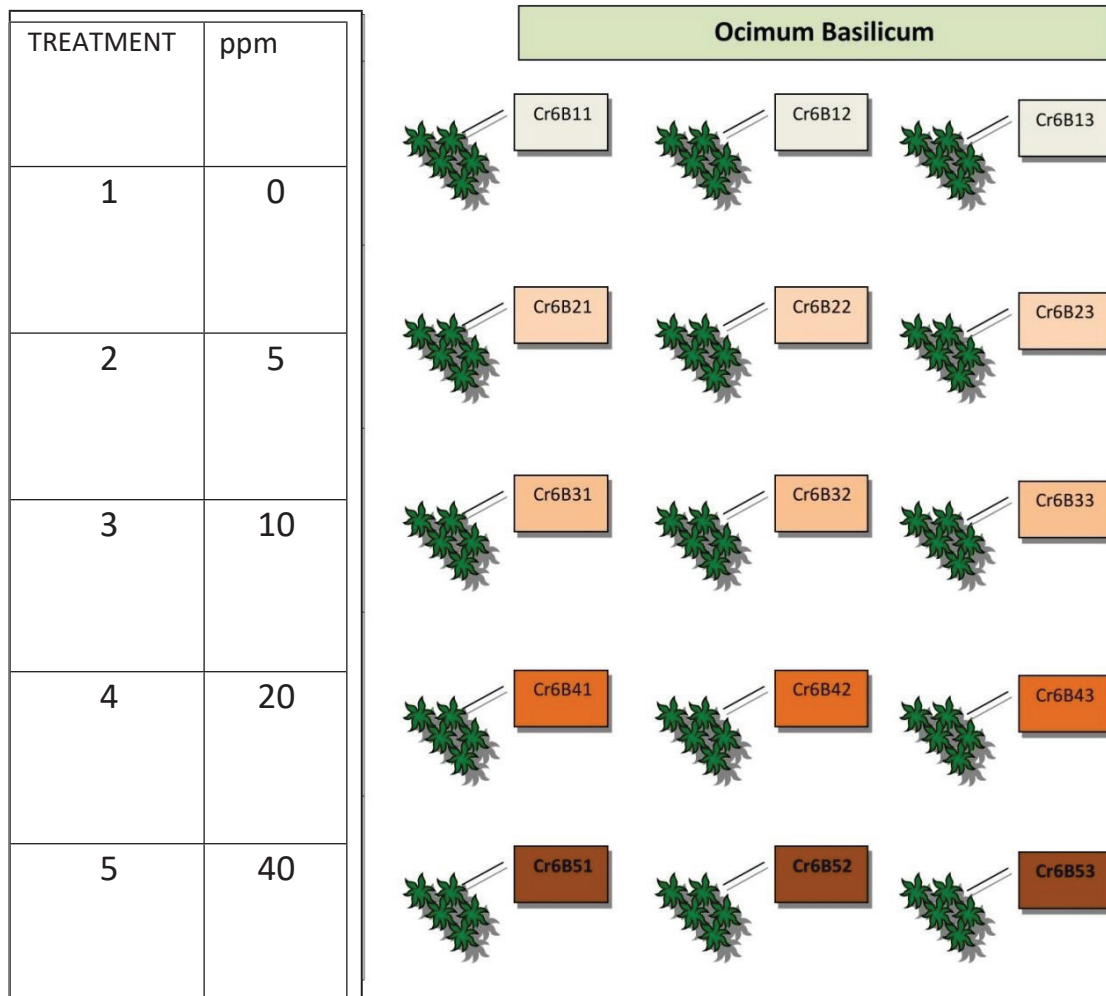
ml/pot	Weeks	total ml/pot	total ml
50	8	400	6000

Cr	Cr	CrCl3.6 H2O	CrCl3.6 H2O	CrCl3.6 H2O				
mg/Kg soil	mg/ pot	mgr/p ot	mgr/bl ock	gr/blo ck	ml/pot	Weeks	total ml/pot	total ml
0	0	0	0	0	50	8	400	6000
5	15	76,88	1153,19	1,15	50	8	400	6000
10	30	153,76	2306,39	2,31	50	8	400	6000
20	60	307,52	4612,78	4,61	50	8	400	6000
40	120	615,04	9225,56	9,23	50	8	400	6000
				17,3				

Για τις εφαρμογές του εξασθενούς χρωμίου τοποθετήθηκαν συνολικά 75 φυτά Πλατύφυλλου Βασιλικού (Sweet Basil L.) ,15 φυτά ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου (0 mg kg^{-1} ή ppm , 5 mg kg^{-1} ή ppm , 10 mg kg^{-1} ή ppm , 20 mg kg^{-1} ή ppm και 40 mg kg^{-1} ή ppm. Συνεπώς αναλογούν 5 φυτά για κάθε ένα block από τις 3 επαναλήψεις ,όπως περιγράφεται στο Διάγραμμα 2. Οι εφαρμογές του εξασθενούς χρωμίου (Cr^{VI} με τη μορφή $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) γίνονταν και αυτές ταυτόχρονα ανά μια εβδομάδα με ριζοποτίσματα. Ημερομηνία έναρξης των εφαρμογών ήταν από 2/06/2018 , όταν το ύψος των φυτών ήταν 19 cm .Σε κάθε γλάστρα (pot) ο όγκος διαλύματος με του εξασθενούς χρωμίου ήταν ήταν συνολικά 50 ml .Οι εφαρμογές γίνονταν μία φορά την εβδομάδα για συνολικά 8 εβδομάδες ,ενώ ενδιάμεσα γίνονταν

κανονικά ποτίσματα με ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθούν τυχόν απορροές. Συνολικά λοιπόν για το πέρας του πειράματος σε κάθε γλάστρα εφαρμόστηκαν 400 ml και ανά μεταχείριση για τα 15 φυτά 6000 ml εξασθενούς χρωμίου. Στον Πίνακα 2, βλέπουμε αναλυτικά τις ποσότητες εξασθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν ανά pot και ανά block για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά και στις τρεις επαναλήψεις.

Hexavalent Chromium (Cr⁺⁶)



Διάγραμμα 2. Εξασθενές Χρώμιο (Cr⁶⁺)

Hexavalent Chromium

Πίνακας 2. Ποσότητες εξασθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν ανά και ανά για κάθε μεταχείριση ξηχωριστά και στις 3 επαναλήψεις

ml/pot	Weeks	total ml/pot	total ml
50	8	400	6000

Cr	Cr	K2Cr2 O7	K2Cr2 O7	K2Cr2 O7	ml/pot	Weeks	total ml/pot	total ml
mg/Kg soil	mg/ pot	mgr/p ot	mgr/b lock	gr/blo ck	ml/pot	Weeks	total ml/pot	total ml
0	0	0	0	0	50	8	400	6000
5	15	42,43	636,51	0,637	50	8	400	6000
10	30	84,87	1273,01	1,273	50	8	400	6000
20	60	169,73	2546,02	2,546	50	8	400	6000
40	120	339,47	5092,05	5,092	50	8	400	6000
				9,55				

Έγινε και εφαρμογή υδατοδιαλυτού κρυσταλλικού λιπάσματος 10 μέρες μετά την φύτευση NUTRI LEAF 60 (20-20-20) , το οποίο περιέχει Ολικό N 20 % (Νιτρικό άζωτο 6% , Αμμωνιακό άζωτο 5,2% και 8,8 % Ουρία) , διαθέσιμο Φώσφορο P 20 % (P₂O₅) και διαλυτό Κάλιο 20 % (K₂O) .

Ιδίτερα σημαντικό είναι ότι τα ιχνοστοιχεία(Mg , B , Cu , Fe , Mn , Mo) που περιέχει είναι σε χηλική μορφή EDTA , πλήρως αφομιώσιμα στην καλλιέργεια. Κατά την διάρκεια της καλλιέργειας έγιναν δύο φορές εφαρμογές με χηλικό σίδηρο . Έγιναν επίσης και τρεις διασυστηματικοί ψεκασμοί συνολικά με Fungistorp MZ (Δραστικές : Cytochanil 4% β/β και Mancozeb 40 % β/β) σε δοσολογία 4 gr στο 1,5 L νερό για την καταπολέμηση του περονόσπορου που εμφανίστηκε.



Εικόνα 6. Πρώτη εβδομάδα εφαρμογής βαρέων μετάλλων στις 02/06/18



Εικόνα 7. Τέταρτη εβδομάδα εφαρμογής βαρέων μετάλλων στις 23/06/18.
Προσθήκη CaCO_3 .



Εικόνα 8. Τελευταία εβδομάδα (8^η) εφαρμογής βορέων μετάλλων στις 21/07/18



Εικόνα 9. Διαδικασία εφαρμογής ριζοποτισμάτων στα φυτά Πλατύφυλλου Βασιλικού



Εικόνα 10. Τα φυτά Sweet Basil L. μια εβδομάδα (έως 30/07) χωρίς εφαρμογή βαρέων μετάλλων

Η λήξη των εφαρμογών των ριζοποτισμάτων ήταν στις 21/07/2018 και για το εξασθενές αλλά και για το τρισθενές χρώμιο ,μιας και οι εφαρμογές γίνονταν ακριβώς στο ίδιο χρονικό διάστημα .Από τις 21/07/2018 έως 29/07/2018 τα φυτά παρέμειναν στο θερμοκήπιο χωρίς καμία προσθήκη βαρέων μετάλλων .Στις 30/07/2018 συλλέχτηκαν για περαιτέρω επεξεργασία στο Εργαστήριο Φυσιολογίας και Θρέψης Φυτών στο παράρτημα Πανεπιστημίου Πατρών , στην Αμαλιάδα.

4.2 Υπόστρωμα καλλιέργειας

Ως υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε μείγμα τύρφης και περλίτη σε αναλογία 1: 1 (v/v).

Η τύρφη είναι ένα φυσικής προέλευσης προϊόν με προέλευση από την αποσύνθεση και χουμοποίηση της βλάστησης από ελώδεις περιοχές και υγρότοπους της Βορριανατολικής Ευρώπης, με εξέχουσες εδαφοβελτιωτικές ικανότητες. Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη τύρφης, η ξανθιά και η μαύρη τύρφη με διαφορετικές ιδιότητες κατά την χρήση στο έδαφος. Στο πείραμα επιλέχτηκε η ξανθιά τύρφη διότι είναι πιο συνεκτική από τη μαύρη τύρφη και περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό ινών διότι προέρχεται από συντομότερης διάρκειας αποσύνθεση. Έχει χαμηλό σχετικό ΡΗ και έτσι πραγματοποιείται εξουδετέρωση από ανθρακικό ασβέστιο. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της ξανθιάς τύρφης όμως είναι η μεγάλη ικανότητα συγκράτησης αέρα και νερού, ιδιότητα που την καθιστά να υπερτερεί έναντι της μαύρης τύρφης. Ξανθιά τύρφη με ΡΗ 5-6, περιεκτικότητα σε υγρασία 50- 60 % του βάρους της και οργανική ουσία 85 % του βάρους της επιλέχτηκε για την εκπόνηση του πειράματος.

Ο διογκωμένος περλίτης είναι από την άλλη ένα ορυκτό φυσικής προέλευσης κυρίως από ηφαιστειογενείς περιοχές και χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στη γεωργία. Διαθέτει αργιλλοπυριτική σύσταση με 3-4% κρυσταλλικό νερό. Έχει την ικανότητα να συγκρατήσει 3-4 φορές το βάρος του σε νερό ενώ παράλληλα περιέχει και μεγάλο ποσοστό αέρα. Τα κύρια χαρακτηριστικά του περλίτη είναι πως είναι χημικά αδρανής, έχει ουδέτερο ΡΗ και μεγάλη διάρκεια ζωής. Προσφέρει καλό αερισμό των ριζών καθιστώντας τις παράλληλα και πυκνότερες και ομοιόμορφα κατανεμημένες στο υπόστρωμα σε συνδυασμό με καλή αποστράγγιση και σημαντική ελάττωση του βάρους των γλαστρών. Επιπρόσθετα έχει την ικανότητα συγκράτησης μεγαλύτερου ποσοστού υγρασίας, ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών. Στα φυτώρια, όπως και στην προκειμένη περίπτωση του συγκεκριμένου πειράματος χρησιμοποιείται για την βελτίωση μειγμάτων και αναμειγνύεται κυρίως με τύρφη, κομπόστ και κοπριά. Η ανάμειξη του με την τύρφη συμβάλλει στην δημιουργία ιδανικού υποστρώματος για την ανάπτυξη φυλλώδων και καλλωπιστικών φυτών σε γλάστρες. Έτσι το υλικό που δημιουργείται από την ανάμειξη περλίτη –τύρφης είναι ελαφρύ, κοκκώδες και έχει μεγάλο πορώδες. Την ημέρα φύτευσης στις γλάστρες με υπόστρωμα τύρφη –περλίτη σε αναλογία 1: 1 έγινε βασική λίπανση με N:P: K 12:12:17 Fertilizer.

4.3 Προετοιμασία διαλυμάτων

Τα διαλύματα με τα οποία έγιναν τα ριζοποτίσματα στις γλάστρες με τα φυτά καθόλη την διάρκεια εκπόνησης του πειράματος, παρασκευάστηκαν στο Εργαστήριο Φυσιολογίας και Θρέψης Φυτών στο παράρτημα Πανεπιστημίου Πατρών, στην Αμαλιάδα. Για τα διαλύματα τρισθενούς χρωμίου (Cr^{III}) χρησιμοποιήθηκε το $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ και παρασκευάστηκαν πέντε διαλύματα των 0 mg kg^{-1} ή ppm, 5 mg kg^{-1} ή ppm, 10 mg kg^{-1} ή ppm, 20 mg kg^{-1} ή ppm και 40 mg kg^{-1} ή ppm. Για την παρασκευή διαλυμάτων εξασθενούς χρωμίου (Cr^{VI}) χρησιμοποιήθηκε $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και παρασκευάστηκαν πέντε διαλύματα των 0 mg kg^{-1} ή ppm, 5 mg kg^{-1} ή ppm, 10 mg kg^{-1} ή ppm, 20 mg kg^{-1} ή ppm και 40 mg kg^{-1} ή ppm.

Για την παρασκευή των διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν πλαστικές φιάλες του 1 L, απιονισμένο νερό, ζυγαριά ακριβείας, ογκομετρική φιάλη του 1 L και πιπέτες των 5 ml, των 10 ml και των 20 ml. Ο τελικός όγκος των αρχικών διαλυμάτων τρισθενούς (Cr^{III}) και εξασθενούς χρωμίου (Cr^{VI}) που παρασκευάστηκαν ήταν 1000 mg L^{-1} το καθένα από αυτά και 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 kg^{-1} ή ppm, 5 mg kg^{-1} ή ppm, 10 mg kg^{-1} ή ppm, 20 mg kg^{-1} ή ppm και 40 mg kg^{-1} ή ppm τρισθενούς (Cr^{III}) και εξασθενούς χρωμίου (Cr^{VI}) αντίστοιχα.

4.4 Επεξεργασία και ανάλυση φυτικού υλικού

Η πρώτη εμφάνιση ταξιανθιών ξεκίνησε περίπου 45 ημέρες μετά την πρώτη μεταφύτευση. Μετά από το πέρας οκτώ εβδομάδων και την ολοκλήρωση των ριζοποτισμάτων του πειράματος, τα φυτά μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Φυσιολογίας και Θρέψης Φυτών στις 30/07/2018. Στη συνέχεια 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.



Εικόνα 11. Μέτρηση ύψους των φυτών Πλατύφυλλου Βασιλικού στις 30/07/18

Έπειτα τα φυτά ταξινομήθηκαν σύμφωνα με την πειραματική διάταξη και μεταφέρθηκαν σε ειδικές χάρτινες σακούλες. Αμέσως μετά, στις 31/07/2020 μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο στους 40 °C για μια εβδομάδα προς ξήρανση έως ότου αποκτήσουν σταθερό βάρος και μετέπειτα μετρήθηκε το ξηρό βάρος κάθε δείγματος ξεχωριστά.

Τα φυτά βγήκαν από το ξηραντήριο μετά από μια βδομάδα και ξεκίνησε άμεσα η κονιορτοποίηση των φυτικών μερών και αμέσως πέρασαν από κόσκινο 500 μm, ώστε να διασφαλιστεί η ομοιομορφία των δειγμάτων και αποθηκεύτηκαν σε μικρά χάρτινα σακουλάκια που έκλειναν αεροστεγώς.



Εικόνα 12. Διαδικασία κονιορτοποίησης των φυτικών υλικών στις 10/08/18



Εικόνα 13. Διαδικασία κονιορτοποίησης των φυτικών υλικών στις 10/08/18

Ακολουθήθηκε η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων τόσο του υπέργειου όσο και του υπόγειου τμήματος των φυτών για την ξηρή κάυση. Συγκεκριμένα 1 γραμμάριο λειοτριβμένων 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 ακριβώς στους 550°C . Μετά την έξοδο των δειγμάτων από το φούρνο υψηλής καύσης σε κάθε κάψα προστίθεται για την διαλυτοποίηση 2 ml πυκνού υδροχλωρικού οξέος (Hydrochloric acid, 36,5-38 %). Μετά το πέρας της διαδικασίας, προσθέτουμε περίπου 10 ml απιονισμένο νερό και

κάθε δείγμα με τη σειρά του διηθείται μέσα από σκληρό φίλτρο και φέρεται σε τελικό όγκο 50 ml μέσα σε ογκομετρικές φιάλες. Στην συνέχεια για κάθε δείγμα φυτικού υλικού ετοιμάσαμε 2 δείγματα των 10 ml το καθένα από κάθε ογκομετρική φιάλη ώστε να υπάρχει για ασφάλεια των αποτελεσμάτων και μια δεύτερη επανάληψη.



Εικόνα 14. Προσθήκη 2 ml πυκνού υδροχλωρικού οξέος σε κάθε κάψα. στις 12/09/2018



Εικόνα 15. Ογκομετρικές φιάλες στον τελικό τους όγκο στις 12/09/2018



Εικόνα 16. Δείγματα για καθένα από τα φυτικά υλικά μέσα σε δοκιμαστικούς σωλήνες και τοποθέτηση τους σε στατώ στις 12/09/18

Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων ολικού χρωμίου έγινε με φασματοφωτόμετρο επαγωγικού πλάσματος (ICP –OES), και υπολογίστηκαν οι συγκεντρώσεις των φύλλων και των ριζών στις διάφορες μεταχειρίσεις .

Στα διάφορα φυτικά μέρη (φύλλωμα και ρίζες) ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων του ολικού χρωμίου υπολογίστηκε ως εξής: τιμή τρισθενούς (Cr^{III}) ή εξαθενούς χρωμίου (Cr^{VI}) 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 αρχικά ένα μπλέντερ και ένας μύλος για την κονιορτοποίηση των φυτικών υλικών. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ένα κόσκινο 500 μm, μια ζυγαρία ακριβείας (0,0001, OHAUS), χάρτινα σακουλάκια, κάψες και ρυθμιζόμενος φούρνος στους 550 ° C για 5 ώρες ακριβώς. Βασικά υλικά αποτέλεσαν και και το διάλυμο πυκνού υδροχλωρικού οξέος (Hdrochloric acid, 36,5-38 %), το διηθητικό χαρτί, το απιονισμένο νερό, οι πιπέτες των 10 ml καθώς και οι ογκομετρικές φιάλες των 50 ml και οι δοκιμαστικοί σωλήνες των 10 ml.

4.5 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό πρόγραμμα KNIME . Το KNIME είναι μια δωρεάν πλατφόρμα ανάλυσης δεδομένων , αναφορών και ενοποίησης δεδομένων ανοιχτού κώδικα.Επιτρέπει την σύνδεση κόμβων που συνδυάζουν διαφορετικές πηγές δεδομένων με ταυτόχρονη προεπεξεργασία για μοντελοποίηση , ανάλυση δεδομένων και οπτικοποίηση χωρίς ή και με ελάχιστο μόνο προγραμματισμό. Μέσα από το λογισμικό αυτό πρόγραμμα υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι , οι τυπικές αποκλίσεις , τα μέγιστα και τα ελάχιστα για όλες τις παραμέτρους που μελετήθηκαν στην πειραματική αυτή μελέτη (μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά ,νωπό και ξηρό βάρος υπέργειου και υπόγειου μέρους των φυτών , συγκέντρωση χρωμίου στα φύλλα και τις ρίζες) . Παράλληλα για όλα αυτά τα χαρακτηριστικά έγινε και Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) , η οποία είναι μια μέθοδος πειραματικού σχεδιασμού με σκοπό να πραγματοποιηθεί έλεγχος υποθέσεων έτσι ώστε να ερευνηθούν αν υπάρχουν διαφορές στις μέσες τιμές πάνω από δύο πληθυσμών. Η μέθοδος ANOVA είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται στην στατιστική ανάλυση των περισσότερων πειραματικών μελετών , διότι είναι η συντομότερη διαδικασία ανάλυσης ενώ ταυτόχρονα την διακατέχει και ακρίβεια διάγνωσης .

4.6 Σκοπός της εργασίας

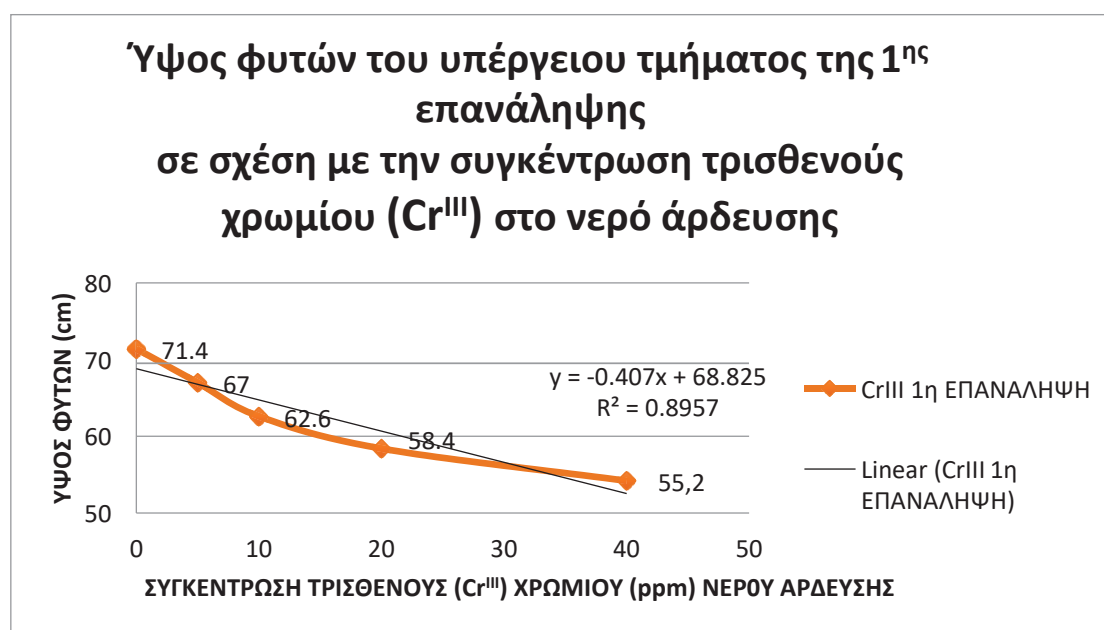
Τα βαρέα μέταλλα είναι σταθεροί περιβαλλοντικοί ρυπαντες καθώς δύσκολα αποκοδομούνται ή καταστρέφονται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει βιοσυσσώρευση τους σε εδάφη , σε θαλάσσια ύδατα , σε ιζήματα και στα γλυκά ύδατα, καταλήγοντας στην τροφική αλυσίδα και φτάνοντας ως τον άνθρωπο , στον οποίο προκαλούν οξείες ή χρόνιες βλάβες.

Το Cr συναντάται σε τρία σθένη (μορφές): το δισθενές Cr (II), το τρισθενές Cr (III) και το εξασθενές Cr (VI). Το δισθενές είναι πολύ ασταθές και η πλέον σπάνια μορφή του. Σχεδόν όλο το χρώμιο που υπάρχει στη φύση βρίσκεται υπό την μορφή του τρισθενούς χρωμίου , το οποίο σε χαμηλές τουλάχιστον συγκεντρώσεις δεν είναι τοξικό και αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό . Είναι ένα βασικό διατροφικό ιχνοστοιχείο που ενεργοποιεί την ινσουλίνη και βοηθά στο μεταβολισμό της γλυκόζης, των πρωτεϊνών και των λιπών. Το εξασθενές χρώμιο που συναντάται στο περιβάλλον, προέρχεται αποκλειστικά σχεδόν από δραστηριότητες του ανθρώπου. Σε αντίθεση με το τρισθενές, το εξασθενές χρώμιο είναι τοξικό και καρκινογόνο και συνδέεται άμεσα με μηχανισμούς καρκινογένεσης, δερματολογικές παθήσεις, νεφρική ανεπάρκεια, ηπατικά προβλήματα, βλάβες του DNA . Το εξασθενές χρώμιο με το πότισμα φτάνει κυρίως μέχρι το ριζικό σύστημα των φυτών και όταν αυτά ποτίζονται με τεχνητή βροχή, μένει στην φυλλική τους επιφάνειά. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις Cr στο έδαφος δείχνουν να μειώνουν αισθητά την αύξηση των βλαστών και των ριζών στα φυτά και τελικά την παραγωγή βιομάζας .

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθούν η επίδραση, αυξανόμενων συγκεντρώσεων (από 0 έως 40 ppm) τρισθενούς Cr^{3+} και εξασθενούς Cr^{6+} που προστέθηκαν στο νερό άρδευσης, στα φυσιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του πλατύφυλλου βασιλικού Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) καθώς και να διερευνηθούν τα επίπεδα βιοσυσσώρευσης τους στο φύλλωμα και στις ρίζες των φυτών.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

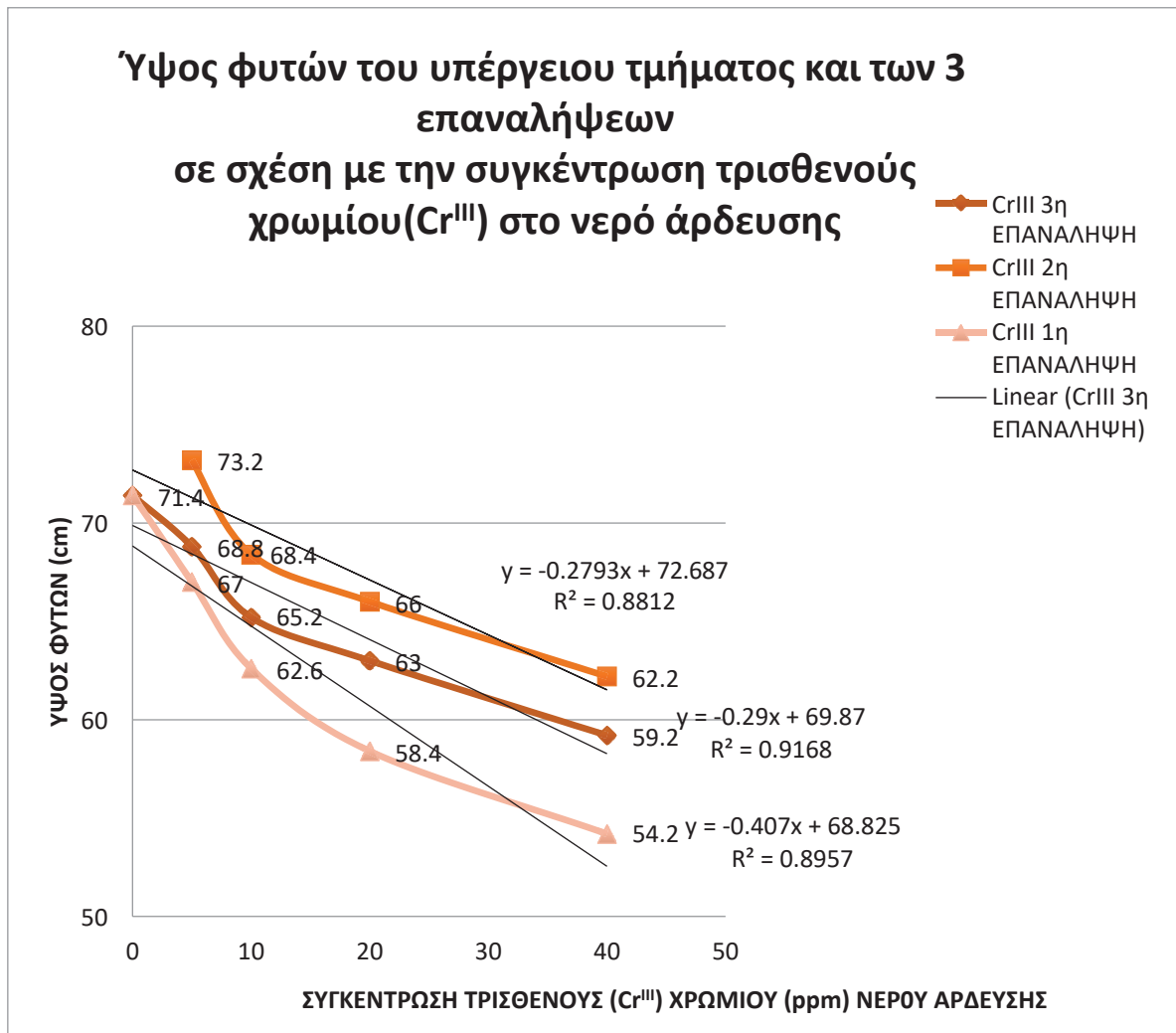
5.1 Επίδραση της συγκέντρωσης χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά



Διάγραμμα 3. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος της 1ης επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

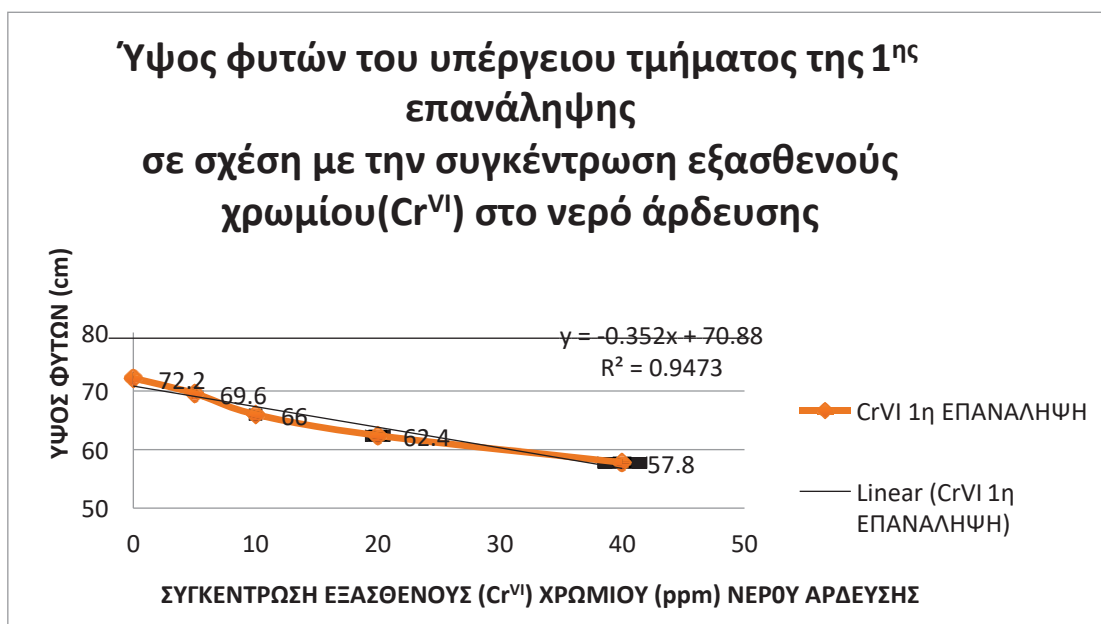
Το Διάγραμμα 3 απεικονίζει το ύψος των φυτών του υπέργειου τμήματος της 1ης επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρείται πως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου, τόσο μειώνεται το ύψος των φυτών. Η καμπύλη του διαγράμματος παρουσιάζει πτωτική πορεία. Το R^2 , είναι πολύ κοντά στη μονάδα, συνεπώς το μοντέλο (γραμμική τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 10,5 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο.

F =95,625 p-value < 0.05



Διάγραμμα 4. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

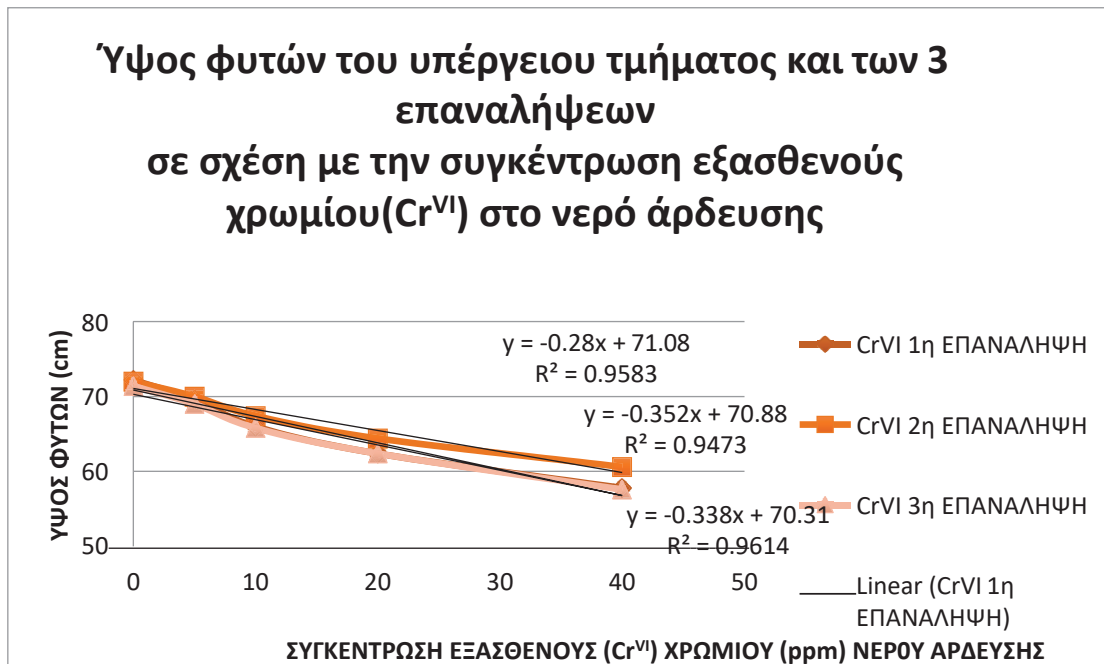
Το Διάγραμμα 4 απεικονίζει το ύψος των φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων συγκεντρωτικά, σε σχέση με τη συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρείται πως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου, τόσο μειώνεται το ύψος των φυτών. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων παρουσιάζουν πτωτική πορεία και στις τρεις επαναλήψεις. Επίσης και στις 3 επαναλήψεις δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διαφορά στα ύψη των φυτών ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως το $p < 0,05$, όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA άρα οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.



Διάγραμμα 5. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος της 1ης επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 5 απεικονίζει το ύψος των φυτών του υπέργειου τμήματος της 1ης επανάληψης, σε σχέση με τη συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρείται πως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου, τόσο μειώνεται το ύψος των φυτών. Η καμπύλη του διαγράμματος παρουσιάζει πτωτική πορεία. Το R², είναι πολύ κοντά στη μονάδα, συνεπώς το μοντέλο (γραμμική τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 5,3% της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο.

F = 148,54 p-value < 0.05



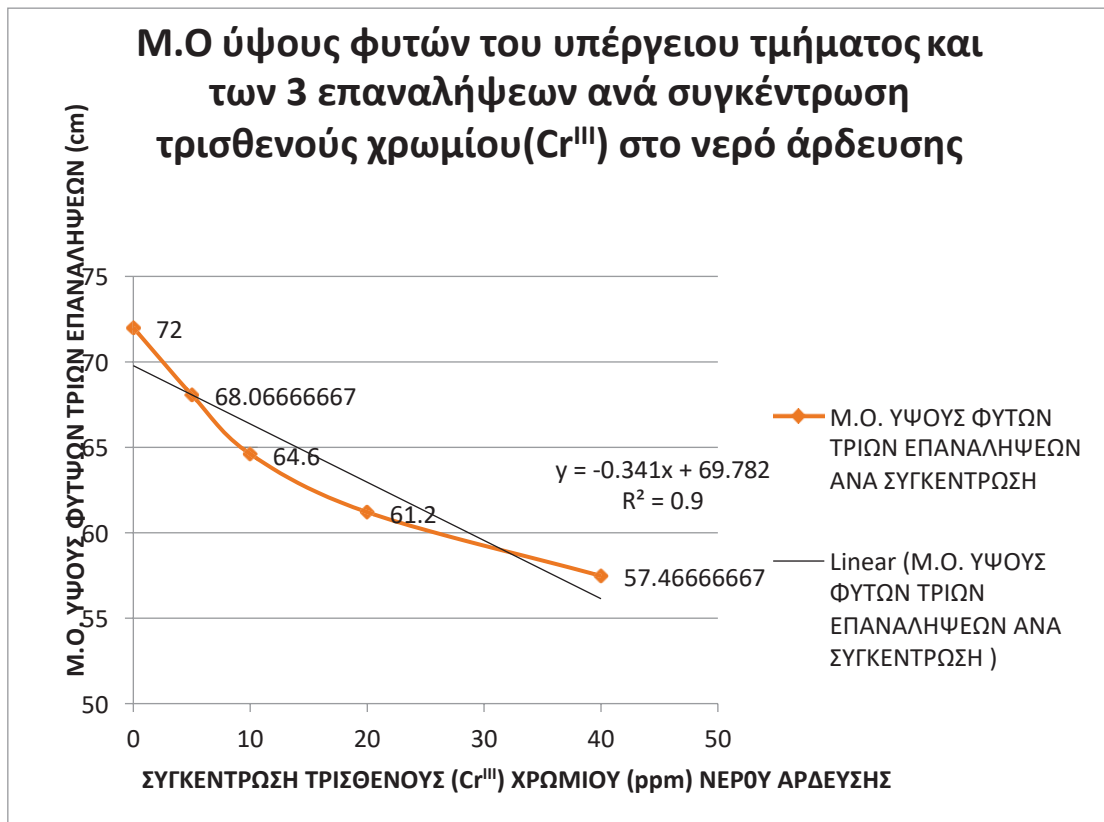
Διάγραμμα 6. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων σε σχέση με την συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 6 απεικονίζει το ύψος των φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων συγκεντρωτικά, σε σχέση με τη συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρείται πως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου, τόσο μειώνεται το ύψος των φυτών. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων παρουσιάζουν πτωτική πορεία και στις τρεις επαναλήψεις. Επίσης και στις 3 επαναλήψεις δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διαφορά στα ύψη των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως το $p < 0,05$, όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA, άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Πίνακας 3. Μ.Ο , Τυπική απόκλιση , Min ,Max του ύψους του υπέργειου τμήματος των φυτών σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου νερού άρδευσης

PPM τρισθενούς (Cr ^{III})χρωμίου νερού άρδευσης	0	5	10	20	40
Μέσος όρος ύψους υπέργειου τμήματος φυτών (cm)	72	68.1	64.6	61.2	57.5
Τυπική απόκλιση	1.8	1.7	2.1	2.5	2.9
MIN	70	65	61	57	50
MAX	76	71	70	65	60

Ο Πίνακας 3 απεικονίζει τον μέσο όρο, την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του υπέργειου τμήματος ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων ύψους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 50 cm, η οποία παρατηρείται στα 40 ppm τρισθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων ύψους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 76 cm, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm τρισθενούς χρωμίου.



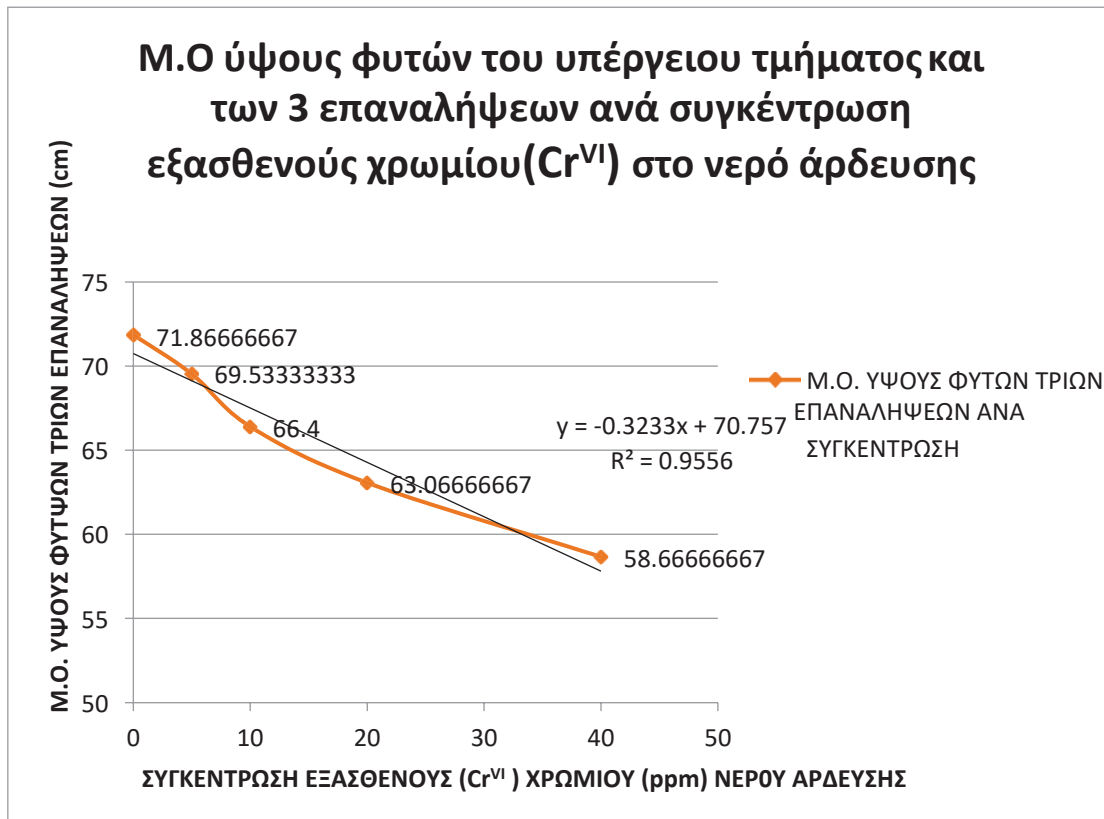
Διάγραμμα 7. Μ.Ο ύψους φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 7 απεικονίζει το μέσο όρο των μετρήσεων του ύψους των φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρείται πως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου, τόσο μειώνεται ο μέσος όρος του ύψους των φυτών. Η καμπύλη του διαγράμματος παρουσιάζει πτωτική πορεία. Το R^2 , είναι πολύ κοντά στη μονάδα, συνεπώς το μοντέλο (γραμμή τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 10 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο.

Πίνακας 4. Μ.Ο , Τυπική απόκλιση , Min , Max ύψους του υπέργειου τμήματος σε σχέση με την συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου νερού άρδευσης

PPM εξασθενούς (Cr ^{VI})χρωμίου νερού άρδευσης	0	5	10	20	40
Μέσος όρος ύψους υπέργειου τμήματος φυτών (cm)	71.9	69.5	66.4	63.1	58.7
Τυπική απόκλιση	1.5	1.2	1.5	2	2.1
MIN	70	67	64	59	55
MAX	74	72	69	66	63

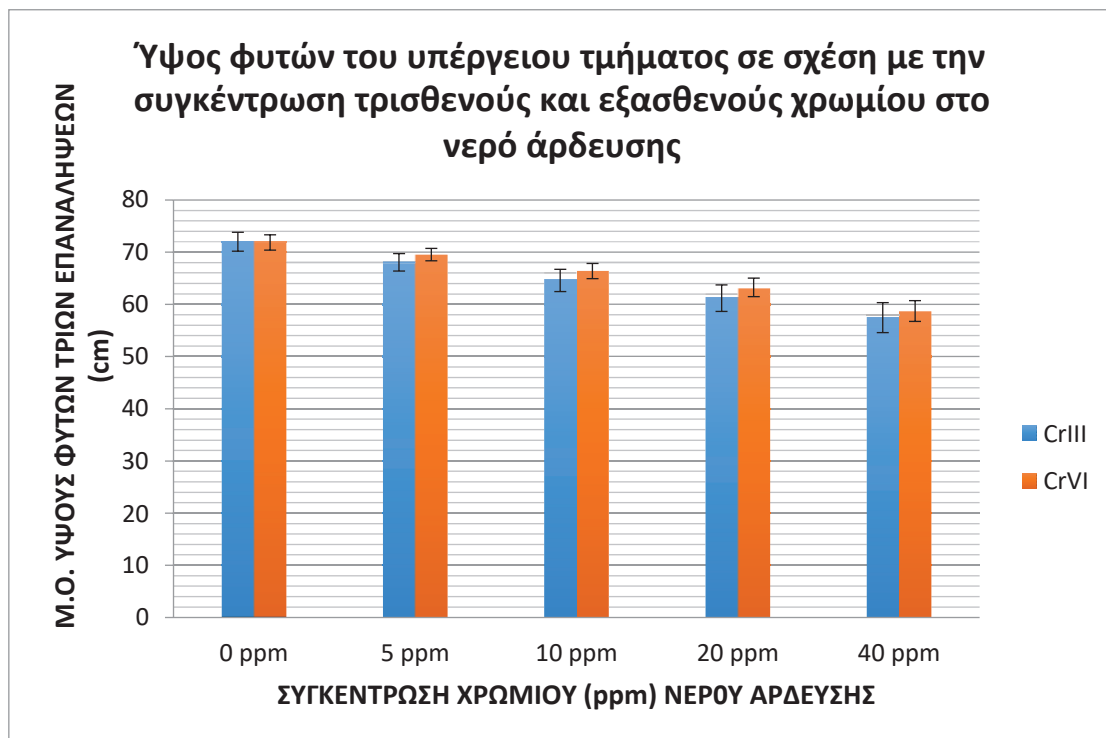
Ο Πίνακας 4 απεικονίζει τον μέσο όρο, την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του υπέργειου τμήματος ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων ύψους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 55 cm, η οποία παρατηρείται στα 40 ppm εξασθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων ύψους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 74 cm, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm εξασθενούς χρωμίου.



Διάγραμμα 8. Μ.Ο ύψους φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{VI}) στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 8 απεικονίζει το μέσο όρο των μετρήσεων του ύψους των φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Παρατηρείται πως, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου , τόσο μειώνεται ο μέσος όρος του ύψους των φυτών. Η καμπύλη του διαγράμματος παρουσιάζει πτωτική πορεία. Το R^2 , είναι πολύ κοντά στη μονάδα , συνεπώς το μοντέλο (γραμμική τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 5 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο.

$F = 95,625$ $p\text{-value} < 0.05$, $F = 148,54$ $p\text{-value} < 0.05$



Διάγραμμα 9. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Στο Διάγραμμα 9 απεικονίζεται το ύψος των φυτών του υπέργειου τμήματος σε σχέση με τη συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως τα ύψη των φυτών υπό την επίδραση του τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης είναι λίγο χαμηλότερα σε σχέση με τα ύψη των φυτών υπό την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Βέβαια οι διαφορές αυτές που παρατηρούνται στα ύψη είναι μικρές . Το κοινό σημείο είναι πως καθώς αυξάνουμε την συγκέντρωση τόσο του τρισθενούς όσο και του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , παρατηρείται μια φθίνουσα πορεία στα ύψη των φυτών. Παρατηρούμε πως το $p < 0,05$ και για το τρισθενές αλλά και για το εξασθενές χρώμιο , όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Πίνακας 5. Επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας

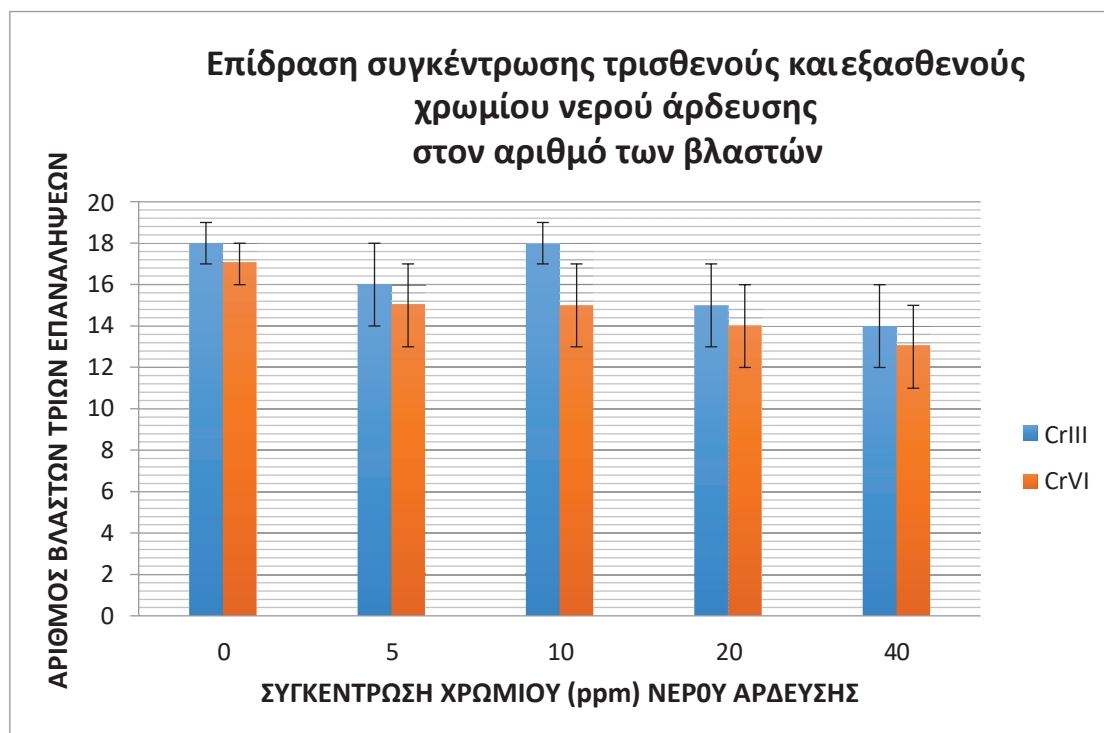
ΠΙΝΑΚΑΣ					
Επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας					
Cr ⁺³ ppm	Ύψος φυτών	Αριθμός βλαστών	Αριθμός φύλλων ανά φυτό	Φυλλική επιφάνεια ανά φυτό (cm)	
0	72±1,8	18±1	132±8	550	±34
5	68,1±1,7	16±2	127±10	532	± 26
10	64,6±2,1	18±1	126±7	535	± 28
20	61,2±2.5	15±2	112±18	510	± 25
40	57,5± 2,9	14±2	98±21	473	±22

Ο Πίνακας 5 απεικονίζει την επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, προκύπτει πώς τόσο το ύψος των φυτών όσο και ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό μειώνονται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Ο αριθμός των βλαστών και η φυλλική επιφάνεια παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές πτωτική πορεία αυξανόμενης της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν μέσα από αυτό πως το Cr³⁺, ως βαρύ μέταλλο σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, επιδρά αντιστρόφως ανάλογα στην ανάπτυξη των φυτών.

Πίνακας 6. Επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας

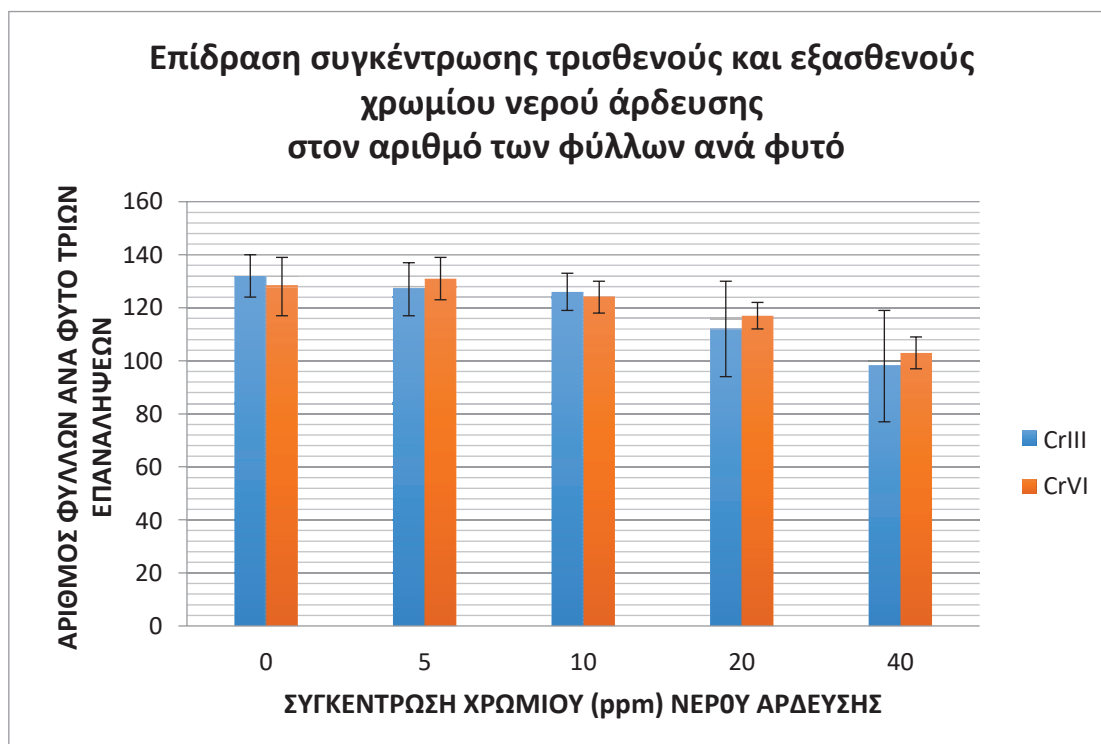
ΠΙΝΑΚΑΣ					
Επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας					
Cr ⁺⁶ ppm	Ύψος φυτών	Αριθμός βλαστών	Αριθμός φύλλων ανά φυτό	Φυλλική επιφάνεια ανά φυτό (cm)	
0	71,9±1,5	17±1	128±11	530	±22
5	69,5± 1,2	15±2	131±8	511	± 29
10	66,4±1,5	15±2	124±6	475	± 25
20	63,1±2,0	14±2	117±5	420	±23
40	58,7±2,1	13±2	103±6	414	±20

Ο Πίνακας 6 απεικονίζει την επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, προκύπτει πώς τόσο το ύψος των φυτών όσο και ο φυλλική επιφάνεια ανά φυτό μειώνονται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξαθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Ο αριθμός των βλαστών και ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές πτωτική πορεία αυξανόμενης της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν μέσα από αυτό πως το Cr⁶⁺, ως βαρύ μέταλλο σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, επιδρά αντιστρόφως ανάλογα στην ανάπτυξη των φυτών. Συγκρίνοντας τον Πίνακα 5 και τον Πίνακα 6 παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η συγκέντρωση εξαθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης τα φυτά πλατύφυλλου βασιλικού παρουσίασαν συγκριτικά μικρότερη ανάπτυξη στα τρία μορφολογικά χαρακτηριστικά (αριθμός βλαστών, αριθμός φύλλων ανά φυτό και φυλλική επιφάνεια ανά φυτό) σε σχέση με την την ανάπτυξη που παρουσίασαν τα φυτά του πλατύφυλλου βασιλικού αυξανόμενης της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου.



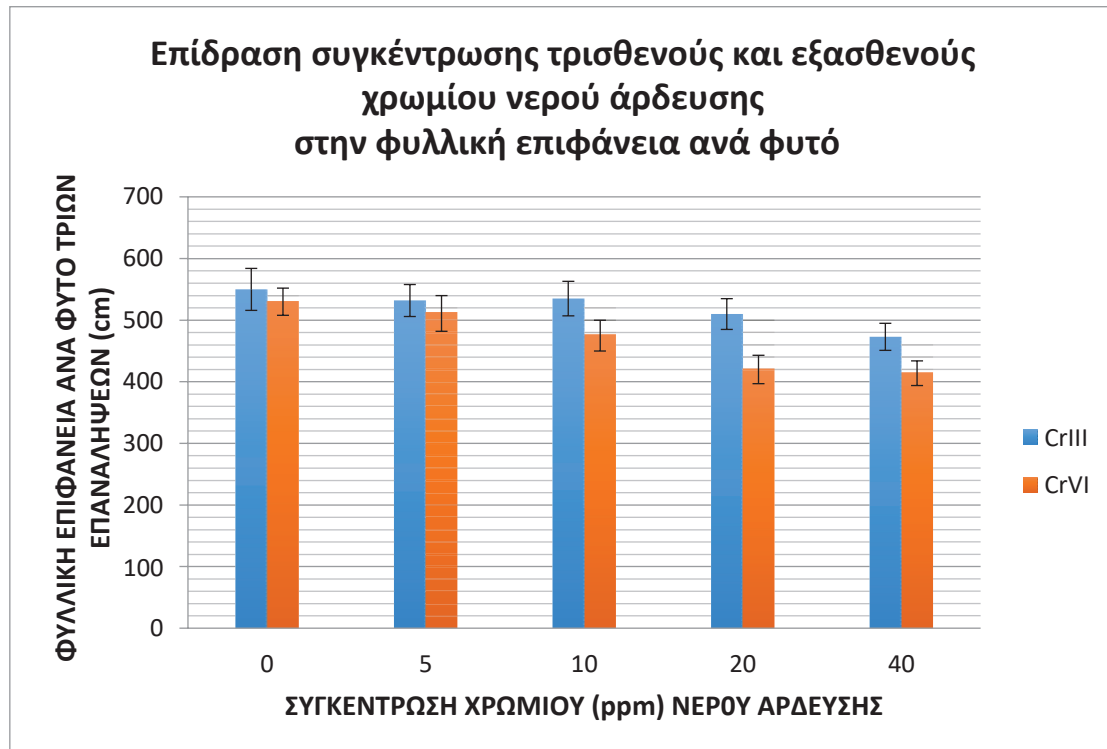
Διάγραμμα 10. Επίδραση συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου νερού άρδευσης στον αριθμό των βλαστών

Στο Διάγραμμα 10 απεικονίζεται η επίδραση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στον αριθμό των βλαστών. Παρατηρούμε πως ο αριθμός των βλαστών υπό την επίδραση του τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης είναι λίγο μεγαλύτερος σε κάθε συγκέντρωση του σε σχέση με τον αριθμό των βλαστών υπό την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Το κοινό σημείο είναι πως καθώς αυξάνουμε την συγκέντρωση τόσο του τρισθενούς όσο και του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, παρατηρείται μια φθίνουσα πορεία στον αριθμό των βλαστών με εξαίρεση τα 10 ppm τρισθενούς χρωμίου όπου παρουσιάζεται μια μικρή αύξηση.



Διάγραμμα 11. Επίδραση συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου νερού άρδευσης στον αριθμό φύλλων ανά φυτό

Στο Διάγραμμα 11 απεικονίζεται η επίδραση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στον αριθμό των φύλλων ανά φυτό. Παρατηρούμε πως ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό υπό την επίδραση του τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης είναι λίγο μικρότερος στις περισσότερες συγκεντρώσεις του σε σχέση με τον αριθμό των φύλλων ανά φυτό υπό την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Εξάιρεση αποτελεί ο μάρτυρας και τα 10 ppm τρισθενούς χρωμίου όπου ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο αριθμό φύλλων υπό την επίδραση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.



Διάγραμμα 12. Επίδραση συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου νερού άρδευσης στην φυλλική επιφάνεια ανά φυτό

Στο Διάγραμμα 12 απεικονίζεται η επίδραση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στην φυλλική επιφάνεια ανά φυτό. Παρατηρούμε πως η φυλλική επιφάνεια ανά φυτό υπό την επίδραση του τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την φυλλική επιφάνεια ανά φυτό υπό την επίδραση του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, τόσο μειώνεται και η φυλλική επιφάνεια ανά φυτό, με εξαίρεση τα 10 ppm τρισθενούς χρωμίου όπου έχουμε μια μικρή άυξηση. Στο εξασθενές χρώμιο επίσης καθώς αυξάνουμε την συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, μειώνεται και η φυλλική επιφάνεια ανά φυτό. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τόσο του τρισθενούς όσο και του εξασθενούς χρωμίου, μειώνεται και η φυλλική επιφάνεια ανά φυτό.

5.2 Επίδραση της συγκέντρωσης του χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά

Πίνακας 7. Επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας

ΠΙΝΑΚΑΣ						
Επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας						
Cr ⁺³ ppm	Ταχύτητα φωτοσύνθεσης (μmol.CO ₂ /(m ² s))		Ταχύτητα Διαπνοής (mmol/(m ² sec))		Στοματική αγωγιμότητα του CO ₂ , mol/(m ² sec)	
0	12,4	± 1,2	2,1	±0,08	0,27	±0,04
5	12,6	± 1,2	2,2	± 0,10	0,28	± 0,06
10	12,7	± 1,4	2,05	± 0,15	0,38	± 0,07
20	10,8	± 1,1	2,95	±0,28	0,36	± 0,08
40	9,5	± 1,3	2,89	±0,34	0,34	± 0,08

Ο Πίνακας 7 απεικονίζει την επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, προκύπτει πώς η ταχύτητα φωτοσύνθεσης μειώνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Όμως η ταχύτητα διαπνοής και η αγωγιμότητα του CO₂ παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές αυξητική πορεία αυξανόμενης της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.

Πίνακας 8. Επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας

ΠΙΝΑΚΑΣ						
Επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας						
Cr ⁺⁶ ppm	Ταχύτητα φωτοσύνθεσης (μmol.CO ₂ /(m ² s))		Ταχύτητα Διαπνοής (mmol/(m ² sec))		Στοματική αγωγιμότητα του CO ₂ , mol/(m ² sec)	
0	12,4	±1,2	2,14	± 0,08	0,31	±0,04
5	10,6	± 1,3	2,22	± 0,09	0,29	± 0,05
10	9,3	± 1,1	2,66	± 0,12	0,29	± 0,05
20	8,8	± 1,4	3,11	± 0,21	0,37	± 0,07
40	7,8	±1,3	2,78	± 0,34	0,36	± 0,09

Ο Πίνακας 8 απεικονίζει την επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, προκύπτει πώς η ταχύτητα φωτοσύνθεσης μειώνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξαθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Όμως η ταχύτητα διαπνοής και η αγωγιμότητα του CO₂ παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές αυξητική πορεία αυξανόμενης της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Συγκρίνοντας τον Πίνακα 7 και τον Πίνακα 8, παρατηρούμε πως αυξάνοντας την συγκέντρωση εξαθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης η ταχύτητα φωτοσύνθεσης είναι αισθητά μικρότερη σε σχέση με την ταχύτητα φωτοσύνθεσης αυξανόμενης της συγκέντρωσης τριθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Αξίζει να σημειωθεί πως η ταχύτητα διαπνοής και η αγωγιμότητα του CO₂ παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές και διακυμάνσεις με ελάχιστες διαφορές τόσο στο τριθενές όσο και στο εξαθενές χρώμιο στο νερό άρδευσης.

5.3 Επίδραση της συγκέντρωσης του χρωμίου στο νωπό και ξηρό βάρος φυτών

5.3.1 Νωπό και Ξηρό Βάρος φυλλωμάτων ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr³⁺)

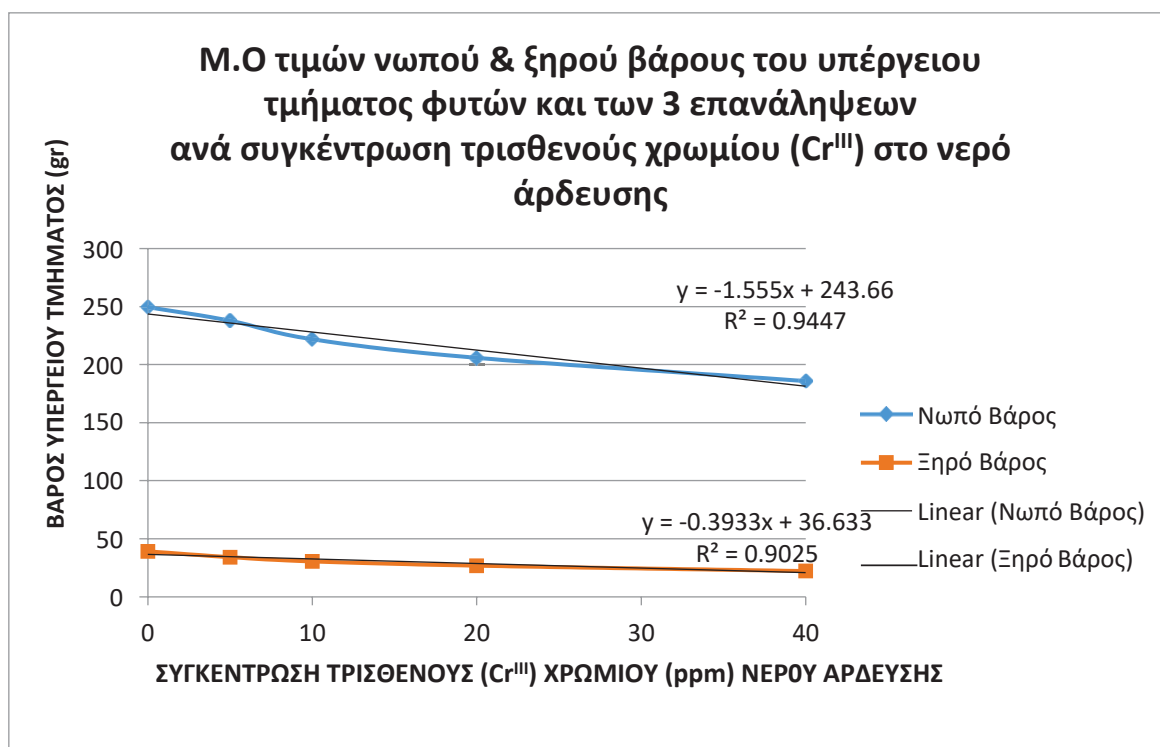
Πίνακας 9. Μ.Ο , Τυπική Απόκλιση , Min , Max Νωπού και Ξηρού Βάρους φυλλωμάτων ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr³⁺)

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΡΙΣΘΕΝΟΥΣ (Cr ^{III})ΧΡΩΜΙΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0		5		10		20		40	
	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ
Μ.Ο ΒΑΡΟΥΣ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ ΦΥΤΩΝ(gr)	249.7	39.3	238	34.3	222	30.7	206	27	186	22.3
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	6.1	1.2	2	0.6	7.9	1.5	3	1	3.6	0.6
Minimum	243	38	236	34	213	29	203	26	182	22
Maximum	255	40	240	35	228	32	209	28	189	23

Ο Πίνακας 9 απεικονίζει τον μέσο όρο, την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του νωπού και του ξηρού βάρους φυλλώματος ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 182 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm τρισθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 255 gr, η οποία

παρατηρείται στα 0 ppm τρισθενούς χρωμίου. Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 22 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm τρισθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 40 gr, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm τρισθενούς χρωμίου. Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου, μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του φυλλώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του φυλλώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή η απώλεια του βάρους.

F = 75,9763 p-value < 0,05 , F =120,5313 p-value < 0.05



Διάγραμμα 13. Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 13 , απεικονίζει τον μέσο όρο τιμών νωπού και ξηρού βάρους φυλλώματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου , μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του φυλλώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του φυλλώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή και λογική η απώλεια του βάρους. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων παρουσιάζουν πτωτική πορεία. Το R^2 , είναι πολύ κοντά στη μονάδα , συνεπώς το μοντέλο (γραμμική τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 9,8 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το ξηρό βάρος και μόνο το 5,6 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το νωπό βάρος. Και στο νωπό και στο ξηρό βάρος το $p < 0,05$ όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

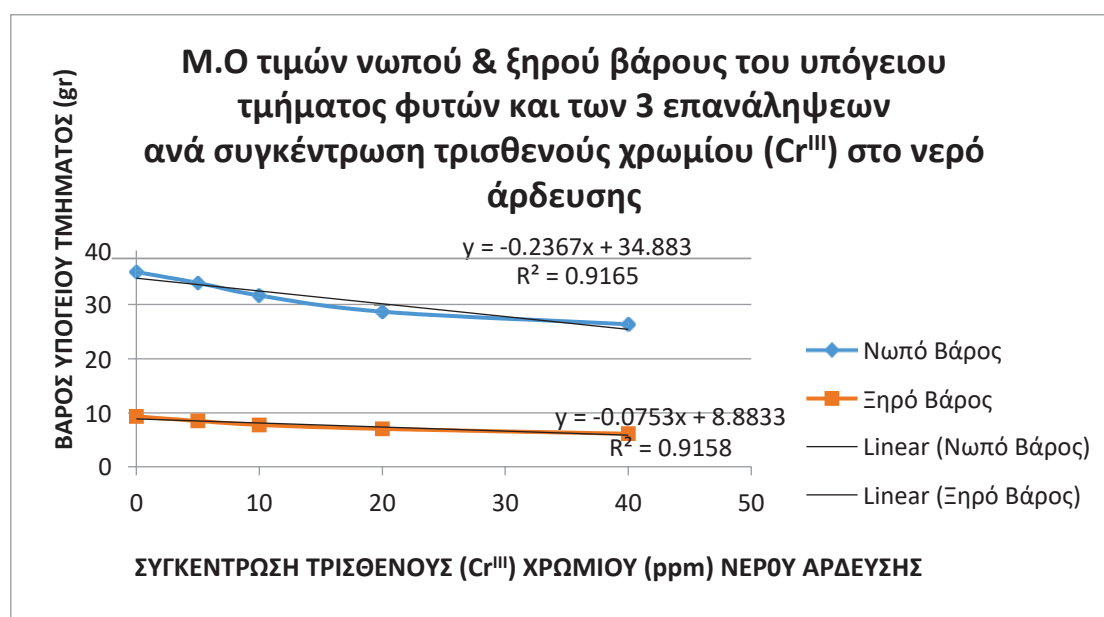
5.3.2 Νωπό και Ξηρό Βάρος ριζών ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr^{3+})

Πίνακας 10. Μ.Ο ,Τυπική Απόκλιση , Min, Max Νωπού και Ξηρού Βάρους ριζών ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr^{3+})

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΡΙΣΘΕΝΟΥΣ (Cr^{III})ΧΡΩΜΙΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0		5		10		20		40	
	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ
Μ.Ο ΒΑΡΟΥΣ ΡΙΖΩΜΑΤΟΣ(gr)	36.0	9.3	34	8.5	31.7	7.8	28.7	7.0	26.3	6.1
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	2	0.58	1	0.5	1.5	0.4	1.53	0.06	1.15	0.23
Minimum	34	9	33	8	30	7.3	27	7	25	6
Maximum	38	10	35	9	33	8	30	7.1	27	6.4

Ο Πίνακας 10 απεικονίζει τον μέσο όρο, την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του νωπού και του ξηρού βάρους ριζώματος ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους ριζώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 25 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm τρισθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 38 gr, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm τρισθενούς χρωμίου. Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους ριζώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 6 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm τρισθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 10 gr, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm τρισθενούς χρωμίου. Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου , μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του ριζώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του ριζώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή η απώλεια του βάρους.

$$F = 20,8333 \quad p\text{-value} < 0,05 , \quad F = 28,9274 \quad p\text{-value} < 0.05$$



Διάγραμμα 14. Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπόγειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 14 , απεικονίζει τον μέσο όρο τιμών νωπού και ξηρού βάρους ριζώματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου , μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του ριζώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του ριζώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή και λογική η απώλεια του βάρους. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων παρουσιάζουν πτωτική πορεία. Το R² , είναι πολύ κοντά στη μονάδα , συνεπώς το μοντέλο (γραμμή τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 8,5 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το ξηρό βάρος και μόνο το 8,4 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το νωπό βάρος. Και στο νωπό και στο ξηρό βάρος ριζώματος το p< 0,05 όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

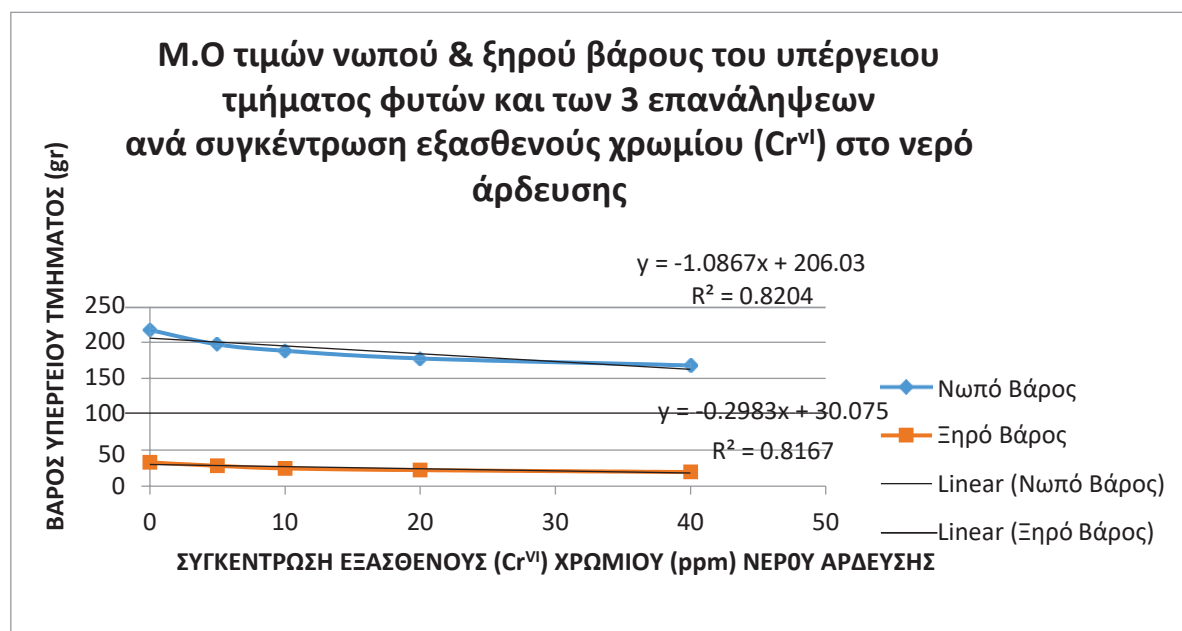
5.3.3. Νωπό και Ξηρό Βάρος φυλλωμάτων ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr⁶⁺)

Πίνακας 11. Μ.Ο , Τυπική Απόκλιση , Min ,Max Νωπού και Ξηρού Βάρους φυλλωμάτων ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr⁶⁺)

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΥΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (Cr ^{vi})ΧΡΩΜΙΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0	5	10	20	40					
	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ
Μ.Ο ΒΑΡΟΥΣ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ ΦΥΤΩΝ(gr)	217.3	33	197.3	28.3	188.3	24.7	177.7	22.3	168	19.7
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	7	1	4	0.6	2.1	0.6	2.5	0.6	1	0.6
Minimum	210	32	193	28	186	24	175	22	167	19
Maximum	224	34	201	29	190	25	180	23	169	20

Ο Πίνακας 11 απεικονίζει τον μέσο όρο, την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του νωπού και του ξηρού βάρους φυλλώματος ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 167 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm εξασθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 224 gr, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm εξασθενούς χρωμίου. Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους φυλλώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 19 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm εξασθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 34 gr, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm εξασθενούς χρωμίου. Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου , μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του φυλλώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του φυλλώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή η απώλεια του βάρους.

F = 69,7996 p-value < 0,05 F = 175,1429 p-value < 0.05



Διάγραμμα 15 Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 15 , απεικονίζει τον μέσο όρο τιμών νωπού και ξηρού βάρους φυλλώματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου , μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του φυλλώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του φυλλώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή και λογική η απώλεια του βάρους. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων παρουσιάζουν πτωτική πορεία. Το R^2 , είναι πολύ κοντά στη μονάδα , συνεπώς το μοντέλο (γραμμική τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 18,4 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το ξηρό βάρος και μόνο το 18% της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το νωπό βάρος. Και στο νωπό και στο ξηρό βάρος το $p < 0,05$ όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

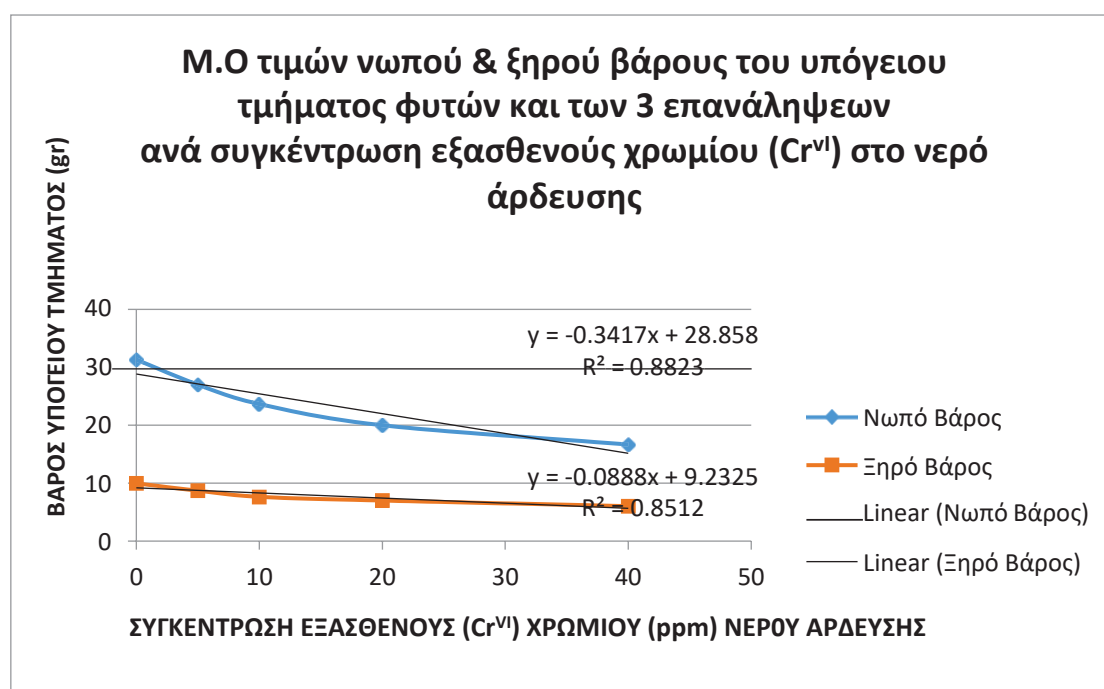
5.3.4 Νωπό και Ξηρό Βάρος ριζών ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{6+})

Πίνακας 12. Μ.Ο , Τυπική Απόκλιση , Min ,Max Νωπού και Ξηρού Βάρους ριζών ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{6+})

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩ ΣΗ ΕΞΑΣΘΕΝΟ ΥΣ (Cr^{vi})ΧΡΩΜΙ ΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0		5		10		20		40	
	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ	ΝΩΠΟ	ΞΗΡΟ
Μ.Ο ΒΑΡΟΥΣ ΡΙΖΩΜΑΤΟΣ (gr)	31.3	10	27	8.7	23.7	7.7	20	7.0	16.7	6.1
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1.5	1	1	0.5	0.6	0.6	1	0.3	1.5	0.1
Minimum	30	9	26	8.2	23	7	19	6.8	15	6
Maximum	33	11	28	9	24	8	21	7.3	18	6.2

Ο Πίνακας 12 απεικονίζει τον μέσο όρο, την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του νωπού και του ξηρού βάρους ριζώματος ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους ριζώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 15 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm εξασθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων νωπού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 33 gr, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm εξασθενούς χρωμίου. Η ελάχιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους ριζώματος και από τις 3 επαναλήψεις είναι 6 gr η οποία παρατηρείται στα 40 ppm εξασθενούς χρωμίου και η μέγιστη τιμή όλων των μετρήσεων ξηρού βάρους και από τις 3 επαναλήψεις είναι 11 gr, η οποία παρατηρείται στα 0 ppm εξασθενούς χρωμίου. Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου , μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του ριζώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του ριζώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή η απώλεια του βάρους.

F = 70,881 p-value < 0,05 F = 21,4168 p-value < 0.05



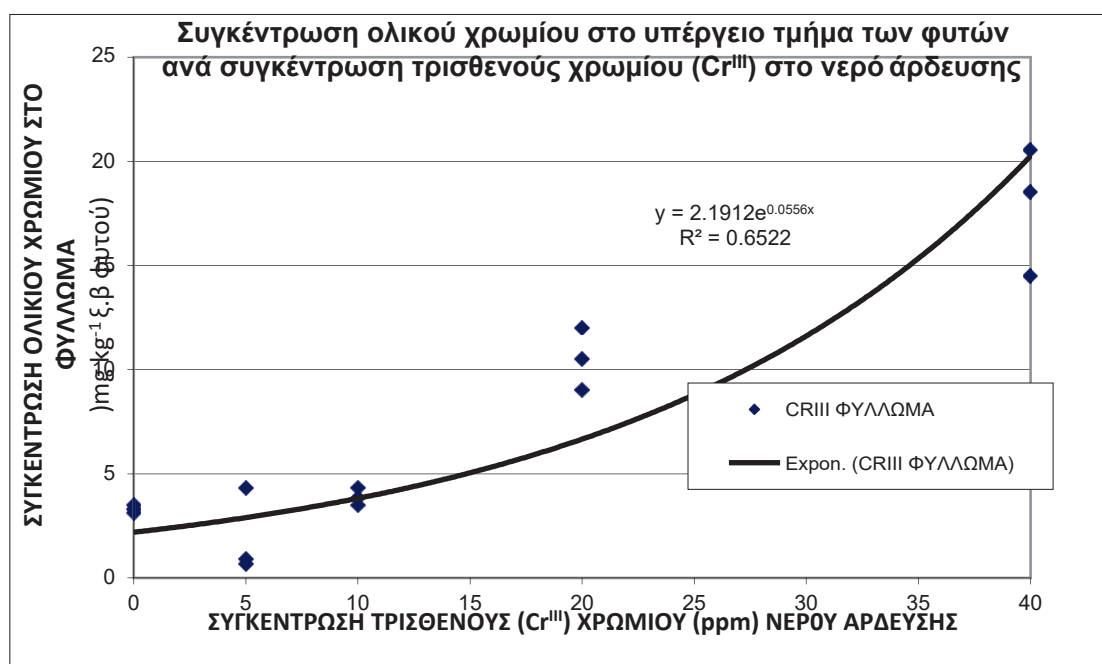
Διάγραμμα 16. Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπόγειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 16 , απεικονίζει τον μέσο όρο τιμών νωπού και ξηρού βάρους ριζώματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου , μειώνεται τόσο το ξηρό όσο και το νωπό βάρος του ριζώματος. Με την αφαίρεση της υγρασίας του ριζώματος είναι ιδιαίτερα αισθητή και λογική η απώλεια του βάρους. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων παρουσιάζουν πτωτική πορεία. Το R^2 , είναι πολύ κοντά στη μονάδα , συνεπώς το μοντέλο (γραμμή τάσης) περιγράφει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών. Άρα στο συγκεκριμένο διάγραμμα μόνο το 14,9 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το ξηρό βάρος και μόνο το 11,8 % της μεταβλητότητας δεν περιγράφεται από το μοντέλο για το νωπό βάρος. Και στο νωπό και στο ξηρό βάρος ριζώματος το $p < 0,05$ όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές. Συγκρίνοντας τον Πίνακα 9 και τον Πίνακα 11 παρατηρούμε πως το νωπό βάρος φυλλώματος για την συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με το νωπό βάρος φυλλώματος για την συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Το ίδιο παρατηρούμε και για το ρίζωμα , συγκρίνοντας τους Πίνακες 10 και 12 αλλά με λιγότερες διακυμάνσεις. Άρα παρατηρούμε πως το εξασθενές χρώμιο συνέβαλε αισθητά σε μεγαλύτερη μείωση τόσο του νωπού όσο και του ξηρού βάρους.

5.4. Βιοσυσσωρευση ιόντων Cr στο υπέργειο και υπόγειο τμήμα των φυτών .

5.4.1. Συγκέντρωση χρωμίου στα φύλλα

F = 41,2835 p-value < 0,05

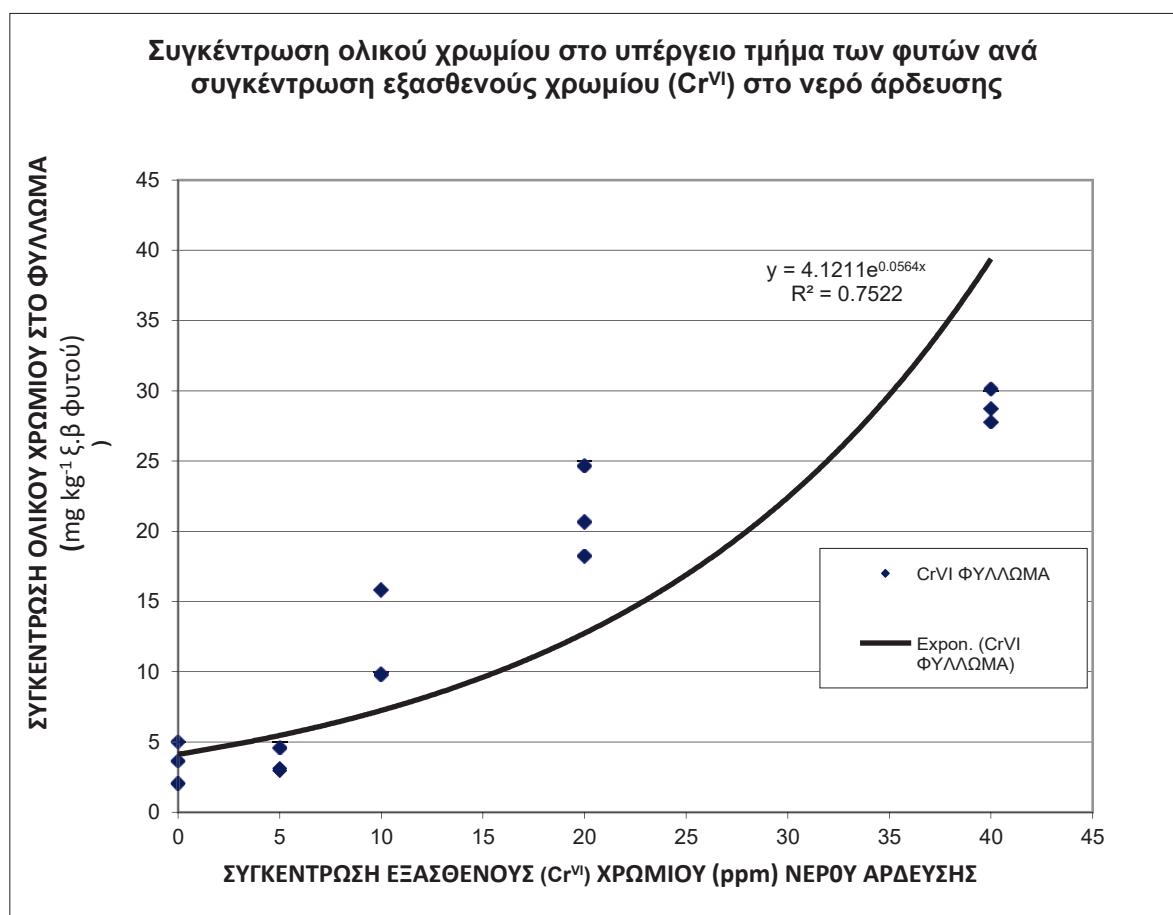


Διάγραμμα 17. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου (Cr^{III}) στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 17 απεικονίζει την συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης ,όπως βρέθηκε στην ICP. Όπως προκύπτει, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου από το υπέργειο μέρος των φυτών. Άρα η καμπύλη παρουσιάζει εκθετική μορφή. Το μοντέλο (γραμμή τάσης) περιγράφει σε σχετικά ικανοποιητικό βαθμό την

μεταβλητότητα των τιμών . Το $p < 0,05$ όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

$$F = 69,0366 \quad p\text{-value} < 0,05$$



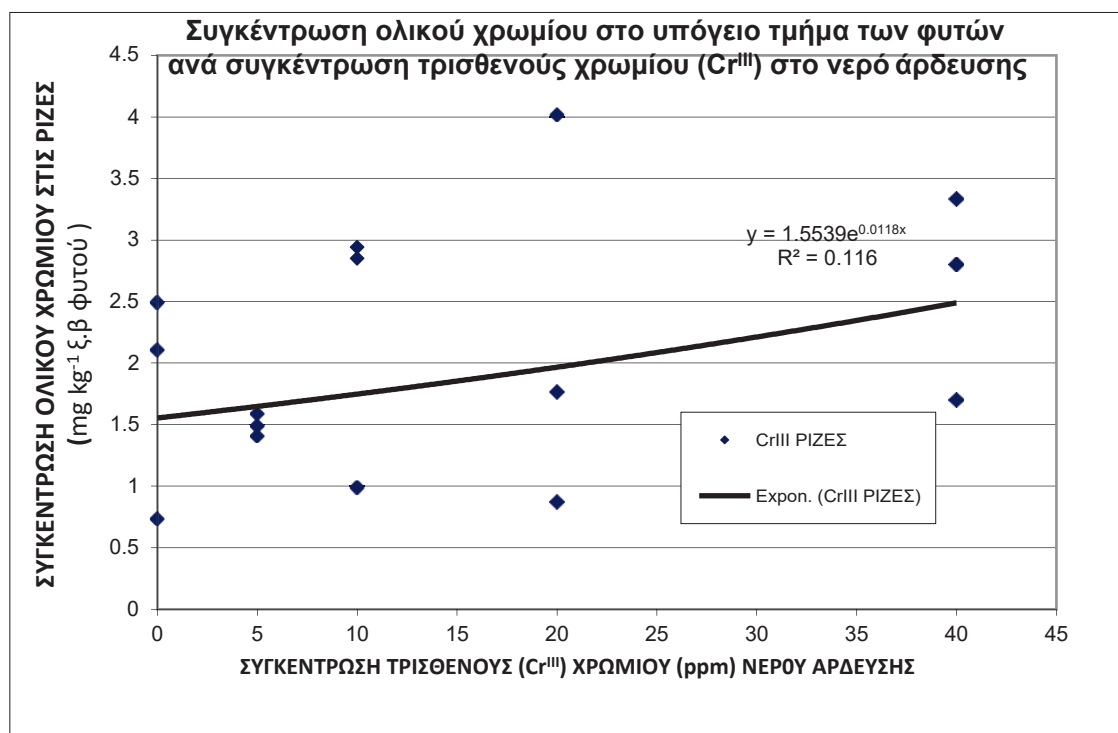
Διάγραμμα 18. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου (Cr^{VI}) στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 18 απεικονίζει την συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης ,όπως βρέθηκε στην ICP. Όπως προκύπτει, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου από το υπέργειο μέρος των φυτών. Άρα η καμπύλη παρουσιάζει εκθετική μορφή. Το μοντέλο (γραμμή τάσης) περιγράφει σε σχετικά ικανοποιητικό βαθμό την

μεταβλητότητα των τιμών . Το $p < 0,05$ όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

5.4.2. Συγκέντρωση χρωμίου στις ρίζες

$F = 0,5329$ $p\text{-value} > 0,05$



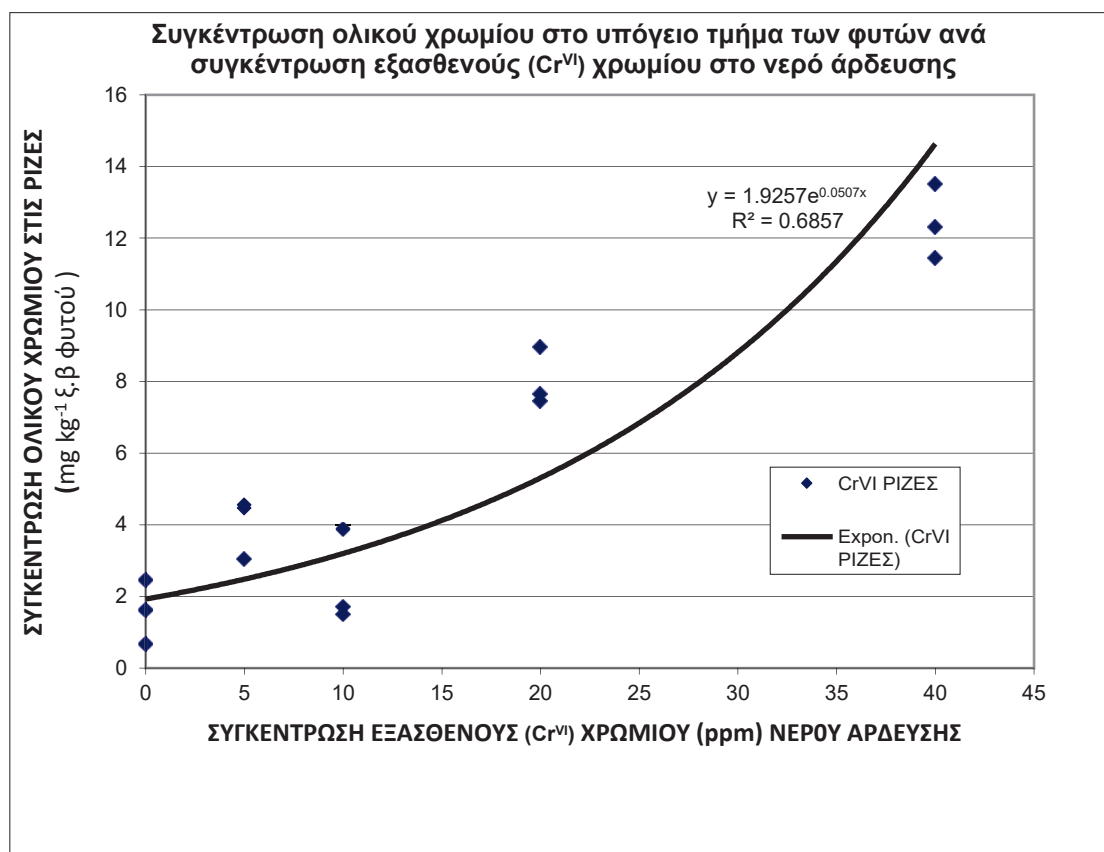
Διάγραμμα 19. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου (Cr^{III}) στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 19 απεικονίζει την συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης ,όπως βρέθηκε στην ICP. Όπως προκύπτει, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο μέρος των φυτών. Άρα η καμπύλη παρουσιάζει εκθετική μορφή.Το μοντέλο (γραμμική τάσης) δεν περιγράφει σε ικανοποιητικό βαθμό την

μεταβλητότητα των τιμών .Κατα τη δική μου εκτίμηση , λόγω ύπαρξης σημαντικής ποσότητας χρώματος στο ρίζωμα κατά την διαδικασία επεξεργασίας του φυτικού υλικού , το οποίο δεν κατέστη δυνατό να καθαριστεί , οι μετρήσεις συγκέντρωσης ολικού χρωμίου στο ρίζωμα δεν είχαν ικανοποιητική ακρίβεια. Το $p > 0,05$ όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις δεν είναι και τόσο στατιστικά σημαντικές.

Διάγραμμα 20. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς (CrVI) χρωμίου στο νερό άρδευσης

$$F = 61,4904 \quad p\text{-value} < 0,05$$



Διάγραμμα 20. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς (CrVI) χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 20 απεικονίζει την συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης ,όπως βρέθηκε στην ICP. Όπως προκύπτει, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς

χρωμίου στο νερό άρδευσης , τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου από το υπόγειο μέρος των φυτών. Άρα η καμπύλη παρουσιάζει εκθετική μορφή. Το μοντέλο (γραμμή τάσης) περιγράφει σε ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών . Το $p < 0,05$ όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , άρα συμπεραίνουμε πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

5.5. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων απορρόφησης χρωμίου στο φύλλωμα

Πίνακας 13. Τυπική απόκλιση , min ,max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορρόφησης ολικού χρωμίου στο φύλλωμα και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΡΙΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0	5	10	20	40
Μ.Ο ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΛΙΚΟΥ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΟ ΦΥΛΛΩΜΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ(mg/kg)	3.31061	1.96217	3.89567	10.5211	17.8578
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0.17697	2.03857	0.40339	1.49161	3.09184
Minimum	3.13698	0.67862	3.51407	9.03831	14.4865
Maximum	3.49074	4.31278	4.31779	12.0214	20.561

Ο Πίνακας 13 απεικονίζει την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη τιμή ,την μέγιστη τιμή ,και το μέσο όρο συγκέντρωσης απορρόφησης ολικού χρωμίου στο φύλλωμα για τις 3 επαναλήψεις, σε σχέση με τη συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως ο ελάχιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στο φύλλωμα είναι 1,96217 mg kg⁻¹ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα με 5 ppm τρισθενούς χρωμίου . Αναμέναμε ο μικρότερος μέσος όρος

συγκέντρωσης ολικού χρωμίου ή ίσως και μηδαμινός να βρεθεί στο μάρτυρα, όμως ο μάρτυρας εμφάνισε μέσο όρο συγκέντρωσης ολικού χρωμίου 3,31061 mg kg⁻¹. Παρατηρούμε πως ο μέγιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στο φύλλωμα είναι 17,8578 mg kg⁻¹ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα με 40 ppm τρισθενούς χρωμίου. Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, αυξάνεται και συγκέντρωση ολικού χρωμίου από το φύλλωμα.

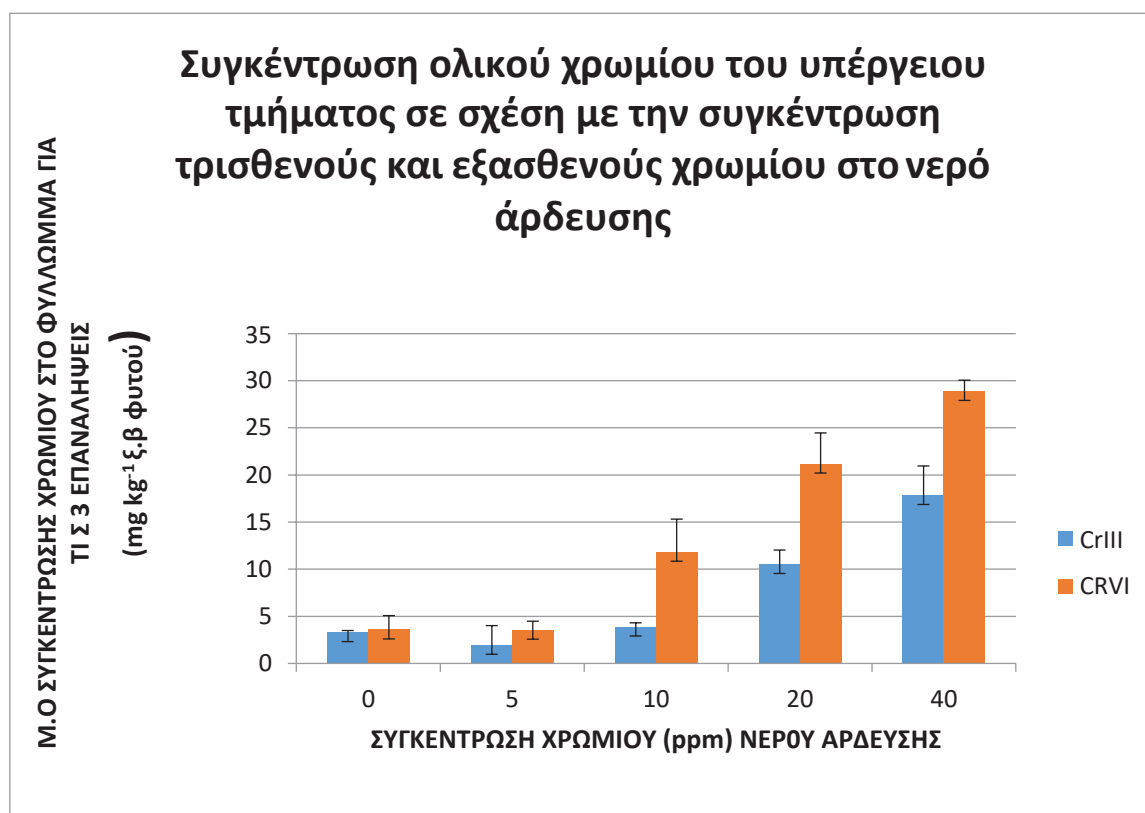
Πίνακας 14. Τυπική απόκλιση, min, max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορρόφησης ολικού χρωμίου στο φύλλωμα και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0	5	10	20	40
Μ.Ο ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΛΙΚΟΥ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΟ ΦΥΛΛΩΜΑ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ(mg/kg)	3.57691	3.56188	11.8327	21.188	28.8998
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1.47796	0.9093	3.46029	3.25665	1.1576
Minimum	2.04562	2.96279	9.8043	18.2275	27.8316
Maximum	4.99503	4.60819	15.8282	24.6763	30.1298

Ο Πίνακας 14 απεικονίζει την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη τιμή, την μέγιστη τιμή, και το μέσο όρο συγκέντρωσης απορρόφησης ολικού χρωμίου στο φύλλωμα για τις 3 επαναλήψεις, σε σχέση με τη συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως ο ελάχιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στο φύλλωμα είναι 3,56188 mg kg⁻¹ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα με 5 ppm εξασθενούς χρωμίου. Αναμέναμε ο μικρότερος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου ή ίσως και μηδαμινός να βρεθεί στο μάρτυρα, όμως ο μάρτυρας εμφάνισε μέσο όρο συγκέντρωσης ολικού χρωμίου 3,57691 mg kg⁻¹.

Παρατηρούμε πως ο μέγιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στο φύλλωμα είναι $28,8998 \text{ mg kg}^{-1}$ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα με 40 ppm εξασθενούς χρωμίου. Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου από το φύλλωμα.

$F = 41,2835$ $p\text{-value} < 0,05$ $F = 69,0366$ $p\text{-value} < 0,05$



Διάγραμμα 21. . Συγκέντρωση ολικού χρωμίου του υπέργειου τμήματος και για τις 3 επαναλήψεις σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 21 απεικονίζει την συγκέντρωση ολικού χρωμίου του υπέργειου τμήματος σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως αυξανόμενης της συγκέντρωσης τόσο του τρισθενούς όσο και του εξασθενούς χρωμίου, αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου από το φύλλωμα. Συγκρίνοντας τώρα την συγκέντρωση ολικού χρωμίου από το φύλλωμα για τις 2 περιπτώσεις τρισθενούς και

εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , συμπεραίνουμε πως οι συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου που βρέθηκαν στο φύλλωμα ήταν μεγαλύτερες στην περίπτωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης . Το $p < 0,05$, όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA , τόσο για την συγκέντρωση τρισθενούς αλλά και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης ,συμπεραίνοντας πως οι μετρήσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

5.6. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων απορροφησης χρωμίου στις ρίζες

Πίνακας 15. Τυπική απόκλιση , min ,max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορόφησης ολικού χρωμίου στις ρίζες και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΡΙΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0	5	10	20	40
Μ.Ο ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΛΙΚΟΥ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΙΣ ΡΙΖΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ(mg/kg)	1.7798	1.49472	2.26003	2.21881	2.6114
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0.92264	0.08651	1.10277	1.62127	0.83068
Minimum	0.73784	1.41131	0.98772	0.87373	1.70215
Maximum	2.49314	1.58403	2.94126	4.01901	3.33056

Ο Πίνακας 15 απεικονίζει την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη τιμή ,την μέγιστη τιμή ,και το μέσο όρο συγκέντρωσης απορρόφησης ολικού χρωμίου στις ρίζες για τις 3 επαναλήψεις, σε σχέση με τη συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως ο ελάχιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στις ρίζες είναι $1,49472 \text{ mg kg}^{-1}$ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα

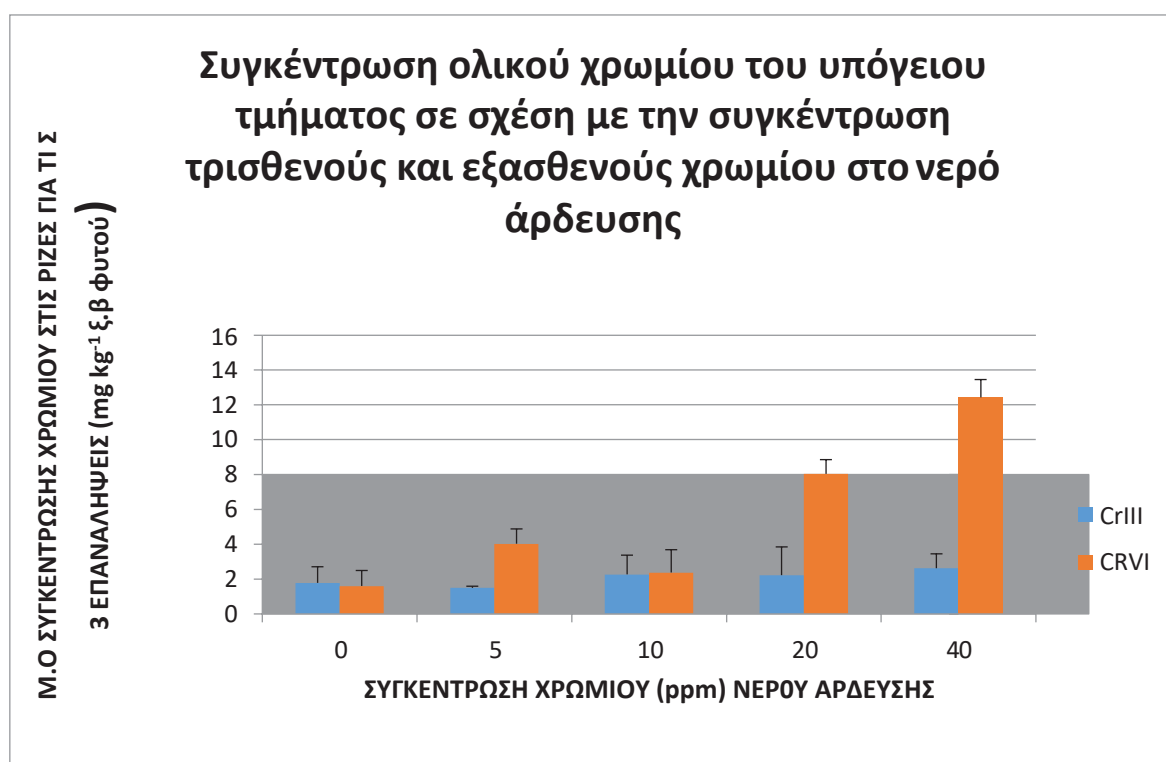
με 5 ppm τρισθενούς χρωμίου . Αναμέναμε ο μικρότερος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου ή ίσως και μηδαμινός να βρεθεί στο μάρτυρα, όμως ο μάρτυρας εμφάνισε μέσο όρο συγκέντρωσης ολικού χρωμίου 1,7798 mg kg⁻¹ . Παρατηρούμε πως ο μέγιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στις ρίζες είναι 2,6114 mg kg⁻¹ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα με 40 ppm τρισθενούς χρωμίου Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου από τις ρίζες. Παρόλα αυτά,δεν είναι ξεκάθαρο γιατί οι μετρήσεις στις συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου άνα συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης είναι πολύ κοντά Όπως είπαμε και παραπάνω το μοντέλο (γραμμή τάσης) δεν περιγράφει σε ικανοποιητικό βαθμό την μεταβλητότητα των τιμών .Κατα τη δική μου εκτίμηση, λόγω ύπαρξης υπολειμμάτων χόματος στο ρίζωμα κατά την διαδικασία επεξεργασίας του φυτικού υλικού, οι μετρήσεις προσδιορισμού της συγκέντρωσης ολικού χρωμίου στο ρίζωμα δεν είχαν ικανοποιητική ακρίβεια.

Πίνακας 16. Τυπική απόκλιση , min ,max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορόφησης ολικού χρωμίου στις ρίζες και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ (ppm) ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	0	5	10	20	40
Μ.Ο ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΛΙΚΟΥ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΙΣ ΡΙΖΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ 3 ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ(mg/kg)	1.59292	4.02304	2.36916	8.03046	12.4257
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0.89423	0.85206	1.30488	0.82385	1.02935
Minimum	0.67831	3.0405	1.51259	7.4697	11.4621
Maximum	2.46527	4.5586	3.87096	8.97634	13.5101

Ο Πίνακας 16 απεικονίζει την τυπική απόκλιση, την ελάχιστη τιμή ,την μέγιστη τιμή ,και το μέσο όρο συγκέντρωσης απορρόφησης ολικού χρωμίου στις ρίζες για τις 3 επαναλήψεις, σε σχέση με τη συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως ο ελάχιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στις ρίζες είναι $1,59292 \text{ mg kg}^{-1}$ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα με 0 ppm εξασθενούς χρωμίου δηλαδή ο μάρτυρας. Παρατηρούμε πως ο μέγιστος μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε στις ρίζες είναι $12,4257 \text{ mg kg}^{-1}$ εφαρμόζοντας ριζοποτίσμα με 40 ppm εξασθενούς χρωμίου Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , αυξάνεται και η συγκέντρωση ολικού χρωμίου από τις ρίζες με εξαίρεση τα 10 ppm συγκέντρωσης εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης , όπου παρουσιάζει πτωτική πορεία .

$F = 0,5329$ $p\text{-value} > 0,05$ $F = 61,4904$ $p\text{-value} < 0,05$



Διάγραμμα 22. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου του υπόγειου τμήματος και στις 3 επαναλήψεις σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης

Το Διάγραμμα 22 απεικονίζει την συγκέντρωση ολικού χρωμίου του υπόγειου τμήματος σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης. Παρατηρούμε πως αυξανόμενης της συγκέντρωσης του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, αυξάνεται και η απορρόφηση ολικού χρωμίου από τις ρίζες με εξαίρεση τα 10 ppm συγκέντρωσης εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, όπου παρουσιάζει πτωτική πορεία. Στην αντίστοιχη περίπτωση σταδιακής αύξησης του τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, παρατηρούμε μια πολύ μικρή σχετικά αύξηση της συγκέντρωσης ολικού χρωμίου στις ρίζες. Το $p > 0,05$, όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA για το τρισθενές χρωμίο στο νερό άρδευσης, δείχνει μια μάλλον οριακή αύξηση στις συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου που μετρήθηκαν στις ρίζες. Αντίθετα, το $p < 0,05$, όπως προκύπτει από το στατιστικό μοντέλο ANOVA για το εξασθενές χρωμίο στο νερό άρδευσης, δείχνει ότι οι μετρήσεις εδώ είναι στατιστικά σημαντικές.

5.7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το χρώμιο είναι ευρέως διαδεδομένο στο φλοιό της γής 100 ppm. Στον αέρα συνήθως βρίσκεται σε συγκεντρώσεις μικρότερες του $0,1 \mu\text{g} / \text{m}^3$. Τα φυσιολογικά επίπεδα του σε μη μολυσμένα ύδατα έχουν εύρος μεταξύ 1-10 $\mu\text{g}/\text{L}$ ενώ στο πόσιμο νερό σε αρκετές περιοχές οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,4-8 $\mu\text{g}/\text{L}$. Όσον αφορά τα πετρώματα, στην πλειοψηφία των πετρωμάτων παρουσιάζει το χρώμιο κυμαίνεται από 5 έως 1800 mg/kg . Στα εδάφη, που μας αφορά και άμεσα στην μελέτη αυτή, το χρώμιο υπάρχει σε χαμηλές περιεκτικότητες της τάξεως 2-60 mg/kg και μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο στα φυτά (μέχρι 0,19 mg/kg) και δεν έχει μελετηθεί πλήρως το κατά πόσο το χρώμιο αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο για τους φυτικούς οργανισμούς. Αξίζει να σημειωθεί πως το χρώμιο στη φύση βρίσκεται κυρίως στην τρισθενή του μορφή ενώ το εξασθενές χρώμιο στην πλειοψηφία του προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Το Cr(VI) παρουσιάζει σταθερότητα στον αέρα και στο καθαρό νερό όμως οδηγείται σε γρήγορη αναγωγή όταν έρθει σε επαφή με οργανική ύλη στο νερό, στο έδαφος και

στους ζώντες οργανισμούς. Με την Οδηγία 98/83/EC έχει θεσπιστεί επίσημα πως το ανώτατο όριο που επιτρέπεται στο πόσιμο νερό είναι 50 µg/L. Ωστόσο δεν υπάρχει ειδικό θεσμοθετημένο όριο ειδικά για το εξασθενές χρώμιο.

Στις ΗΠΑ , έχει επίσημα θεσπιστεί ως ανώτατο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου στο πόσιμο νερό τα 100 µg/L , κάτι το οποίο η USA EPA προσδιορίζει ως ασφαλές για την ανθρώπινη υγεία. Στην Ελλάδα με την ΚΥΑ 4859/7267 έχουν ρυθμιστεί οι εκπομπές ολικού χρωμίου σε υδάτινους αποδέκτες προερχόμενες από απόβλητα βιομηχανιών να κυμαίνονται μεταξύ 0,6 έως 3 mg/L και αυτό εξαρτάται από τον αποδέκτη που μπορεί να είναι λίμνη ,ποτάμι ή παράκτια ύδατα .Όσον αφορά τους ρύπους των βιομηχανιών μπορούν να οριστούν από τις Νομαρχιακές αυτοδιοικήσεις και κυμαίνονται για το εξασθενές χρώμιο μεταξύ 0,3 -1 mg/L στα υγρά απόβλητα . Όριο για το έδαφος δεν έχει θεσπιστεί ακόμα.

Από τα αποτελέσματά μας, συγκρίνοντας την απορρόφηση ολικού χρωμίου από τις ρίζες για τις περιπτώσεις παρουσίας τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, συμπεραίνουμε πως οι συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου που μετρήθηκαν στις ρίζες βρέθηκαν υψηλότερες στην περίπτωση παρουσίας του εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.

Το χρώμιο στα εδάφη υπάρχει σε χαμηλές περιεκτικότητες της τάξεως 2-60 mg/kg καπό το οποίο μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο στα φυτά (μέχρι 0,19 mg/kg). Οι συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου που μετρήσαμε στο Ξ.Β. των φύλλων των φυτών στο πείραμα δεν ξεπέρασαν τα 30 mg/kg και σε μερικές περιπτώσεις ήταν χαμηλότερες από τα 2 mg/kg ξηρού βάρους δείγματος. Η ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε ήταν 0,6783 mg/kg ξηρού βάρους δείγματος και βρέθηκε στον μάρτυρα των ριζών που είχε γίνει ριζοπότισμα με εξασθενές χρώμιο. Η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης ολικού χρωμίου που βρέθηκε ήταν 30,13 mg/kg ξηρού βάρους δείγματος και βρέθηκε στο φύλλωμα που είχε γίνει ριζοπότισμα με εξασθενές χρώμιο 40 ppm.

Προηγούμενες έρευνες του Εργαστηρίου Εδαφολογίας(Barouchas *et al.*, 2014), που αφορούσαν στην επίδραση του τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου σε τρία αρωματικά φυτά(*Mentha spicata* L, *Mentha piperita* L., *Lippia citriodora* L.) που καλλιεργήθηκαν σε δοχεία, έδειξαν ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου που προστίθενται στο έδαφος προκαλεί

αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού χρωμίου στα φυτά, η οποία βρέθηκε σημαντικά χαμηλότερη στην περίπτωση του τρισθενούς χρωμίου σε σχέση με το εξαθενές. Οι τοξικές επιδράσεις του Cr εξαρτώνται κυρίως από την κατάσταση οξειδωσης, η οποία καθορίζει την πρόσληψη, τη μετατόπιση, την αντιδραστικότητα και τη συσσώρευσή του

Από την μελέτη των Sukhmal Chand¹, Shweta Singh¹, Vinay Kumar Singh¹ και του Patra¹ (2015) προέκυψε ότι το Sweet Basil L., φαίνεται ότι δεν συσσωρεύει υψηλότερη ποσότητα βαρέων μετάλλων, ιδίως Cr στους βλαστούς, αλλά οι ρίζες του φυτού διατηρούν τα περισσότερα από τα βαρέα μέταλλα. Ωστόσο, το φυτό είχε ανοχή σε υψηλή περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων και μπορεί να καλλιεργηθεί σε μολυσμένα εδάφη. Οι Macnical και Beckett (1985) ανέφεραν ότι η συγκράτηση του Cr στο υπόγειο μέρος των φυτών, μπορεί να αποδοθεί στην ικανότητα των φυτικών ριζών να λειτουργούν ως αποτοξινωτικός παράγοντας. Ο Golovaty¹ (1999) έχει δείξει ότι η κατανομή Cr σε καλλιέργειες είχε σταθερό χαρακτήρα που δεν εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους και τη συγκέντρωση αυτού του στοιχείου. Η μέγιστη ποσότητα του στοιχείου διατηρήθηκε πάντα στις ρίζες. Το χρώμιο ακινητοποιείται στα κενά των ριζικών κυττάρων, καθιστώντας το λιγότερο τοξικό.

Με βάση τους E. Garcia, C. Cabrera^U, M.L. Lorenzo, M.C. Lopez, (1999), στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις του Cr στα φύλλα αρωματικών φυτών ήταν πολύ χαμηλή και κυμαίνονταν από 0.2 έως 1.11 µg/g ξηρού βάρους.

Table 4
Levels of chromium (dry wt.) in spices and aromatic herbs

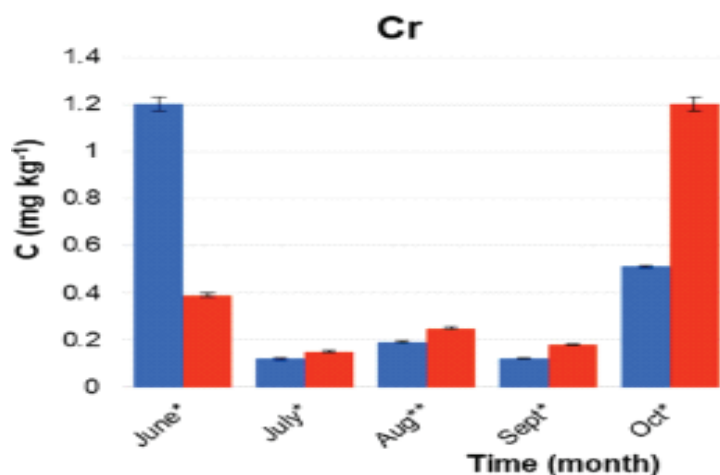
Sample	Scientific name	n	Chromium ($\mu\text{g/g}$)	
			Mean	Range
Aniseed	<i>Pimpinella anisum</i>	3	0.01	0.02–0.03
Basil	<i>Calamintha acinos</i>	3	0.54	0.54–0.61
Cinnamon	<i>Cinnamomum casia</i>	6	0.36	n.d. ^a –0.76
Garlic	<i>Allium sativum</i>	4	0.99	0.80–1.42
Laurel	<i>Laurus nobilis</i>	5	0.60	0.41–0.68
Mint	<i>Menta piperita</i>	4	1.11	1.06–1.14
Mustard	<i>Brassica juncea</i>	4	0.30	0.29–0.31
Nutmeg	<i>Myristica fragans</i>	4	0.57	0.57–0.60
Onion	<i>Allium cepa</i>	3	0.85	0.80–0.91
Oregano	<i>Origanum vulgare</i>	3	0.52	0.41–0.63
Parsley	<i>Petroselinum sativum</i>	3	0.02	0.01–0.02
Paprika	<i>Capsicum annum</i>	6	0.33	0.19–0.65
Pepper (black)	<i>Piper nigrum</i>	5	0.21	n.d. ^a –0.73
Pepper (white)	<i>Piper nigrum</i>	3	0.11	n.d. ^a –0.31
Saffron	<i>Crocus sativus</i>	4	0.12	0.11–0.14
Thyme	<i>Thymus vulgaris</i>	3	0.83	0.83–0.91
Vanilla	<i>Vanilla planifolia</i>	3	0.35	0.32–0.37
Mixture (for salad)	–	3	0.22	0.22–0.23
Mixture (for meat)	–	3	0.41	0.41–0.41

^aNot detectable.

Εικόνα 17. Ποσότητες χρωμίου σε διάφορα φυτικά είδη και αρωματικά φυτά (E.Garcia et., 1999)

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε από τους Cristina Dinu¹, Gabriela-Geanina Vasile¹, Mihaela Buleandra, Dana Elena Popa, Stefania Gheorghe¹, Eleonora-Mihaela Ungureanu (2020), όταν τα φυτά βασιλικού καλλιεργούνται σε έδαφος μολυσμένο από ορυχεία, περιορίζουν την πρόσληψη / απορρόφηση μετάλλων στους ιστούς ρίζας. Παρατηρήθηκε πως το χρώμιο ακινητοποιείται στα κενά των ριζικών κυττάρων και γίνεται έτσι λιγότερο τοξικό, το οποίο μπορεί να είναι μια φυσική ικανότητα των φυτών.

- polluted
- Control



Εικόνα 18. Περιεκτικότητα χρωμίου σε φύλλα βασιλικού που συλλέγονται από τον Ιούνιο έως τον Οκτώβριο

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες των Mohammad Kazem Souril, Mansoureh Hatamian, και Tsehay Tesfamariam (2019), το στάδιο ανάπτυξης των φυτών επηρεάζει τη βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων σε φυλλώδη αρωματικά κάρδαμου και γλυκού βασιλικού, και στην περίπτωση αυτή δεν συνιστάται η καλλιέργεια φυλλωδών σε μια τέτοιες περιοχές με σοβαρή ρύπανση του εδάφους, των υδάτων και του αέρα.

Σε σχέση με αυτούς τους ερευνητές, στην δική μας πειραματική μελέτη, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου βρέθηκαν στο φύλλωμα κάτι το οποίο συμφωνεί με την πρόσφατη μελέτη των Mohammad Kazem Souril, Mansoureh Hatamian, και Tsehay Tesfamariam (2019).

Ωστόσο, τα φυτά μας κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, έδειξαν σχετική ανοχή στην βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων, συγκεκριμένα τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου και πιθανώς να μπορούν να καλλιεργηθούν σε μολυσμένα εδάφη, σύμφωνα και με την μελέτη των Sukhmal Chandl, Shweta Singhl, Vinay Kumar Singhl και του Patral (2015).

Τα αποτελέσματά μας έδειξαν ότι το ύψος των φυτών, ο αριθμός των βλαστών, ο αριθμός φύλλων ανά φυτό και η φυλλική επιφάνεια παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές σχετική μείωση, αυξανόμενης της συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.

Όσον αφορά τις φυσιολογικές παραμέτρους, η ταχύτητα φωτοσύνθεσης μειώνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης και η μείωση αυτή είναι πιο έντονη στην περίπτωση του εξασθενούς χρωμίου. Η ταχύτητα διαπνοής και η αγωγιμότητα του CO₂ παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές αυξητικές τιμές, αυξανόμενης της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.

Όσον αφορά το βάρος των φυτών, η αύξηση της συγκέντρωσης του τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης, προκαλεί σταδιακή μείωση τόσο του βάρους του υπέργειου τμήματος, όσο και του ριζώματος.

Τελικά, η επίδραση αυξανόμενων συγκεντρώσεων Cr³⁺ και Cr⁶⁺ (από 0 έως 40 ppm) του θρεπτικού διαλύματος, έδειξε ισχυρότερη βιοσυσσώρευση στο φύλλωμα από ότι στις ρίζες. Οι συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου που βρέθηκαν στις ρίζες ήταν μεγαλύτερες στην περίπτωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.

Δεν παρατηρήθηκε κανένα μορφολογικό σύμπτωμα τοξικότητας ή τροφοπενιών στα φυτά πλατύφυλλου βασιλικού (*Sweet Basil L.*) κατά τη διάρκεια εκπόνησης του πειράματος .

5.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πολλά από τα βαρέα μέταλλα έχουν αποδειχτεί σημαντικά ιχνοστοιχεία σε μικρές ποσότητες για τους ζώντες οργανισμούς. Εντούτοις ορισμένες μορφές αυτών των μετάλλων είναι τοξικές.

Μιά τέτοια περίπτωση είναι και το χρώμιο του οποίου στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η επίδραση στα φυσιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά και η βιοσυσσώρευση του στον πλατύφυλλο Βασιλικό(*Ossimum basilicum*, L.), που είναι ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα ως φρέσκα ή αποξηραμένα αρωματικά-φαρμακευτικά φυτά.

Διαπιστώθηκε ότι :

- η σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του τρισθενούς και του εξασθενούς χρωμίου που προστίθενται με ριζοπότισμα, προκάλεσε σταδιακή μείωση του ύψους των φυτών, του αριθμού των φύλλων, του αριθμού των βλαστών ,της φυλλικής επιφάνειας και του νωπού-ξηρού βάρους των φυτών.
- η σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του τρισθενούς και του εξασθενούς χρωμίου που χορηγήθηκαν στα φυτά με ριζοπότισμα, προκάλεσε σταδιακή μείωση της ταχύτητας φωτοσύνθεσης
- η ταχύτητα διαπνοής και η αγωγιμότητα του CO₂ παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές αυξητικές τιμές, αυξανόμενης της συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου που χορηγήθηκαν στα φυτά με ριζοπότισμα.
- η αύξηση της συγκέντρωσης του τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου που χορηγήθηκαν στα φυτά με ριζοπότισμα, προκάλεσε σταδιακή μείωση τόσο του βάρους του υπέργειου τμήματος, όσο και του ριζώματος.
- Η χορήγηση στα φυτά αυξανόμενων συγκεντρώσεων Cr³⁺ και Cr⁶⁺ (από 0 έως 40 ppm) του θρεπτικού διαλύματος, έδειξε ισχυρότερη βιοσυσσώρευση στο φύλλωμα από ότι στις ρίζες.
- Οι επιδράσεις στις περισσότερες περιπτώσεις, φαίνεται να είναι πιο έντονες στην περίπτωση του εξασθενούς χρωμίου.
- Δεν παρατηρήθηκε κανένα μορφολογικό σύμπτωμα τοξικότητας ή τροφοπενιών στα φυτά πλατύφυλλου βασιλικού (*Sweet Basil* L.) κατά τη διάρκεια εκπόνησης του πειράματος .

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Achmad, R. T., & Auerkari, E. I. (2017). Effects of chromium on human body. *Annual Research & Review in Biology*, 1-8.
- Ahmad, M. S. A., & Ashraf, M. (2012). Essential roles and hazardous effects of nickel in plants. In *Reviews of environmental contamination and toxicology* (pp. 125-167). Springer, New York, NY.
- Ahmad, M., Usman, A. R., Al-Faraj, A. S., Ahmad, M., Sallam, A., & Al-Wabel, M. I. (2018). Phosphorus-loaded biochar changes soil heavy metals availability and uptake potential of maize (*Zea mays* L.) plants. *Chemosphere*, 194, 327-339.
- Ai, S., Liu, B., Yang, Y., Ding, J., Yang, W., Bai, X.,... & Zhang, Y. (2018). Temporal variations and spatial distributions of heavy metals in a wastewater-irrigated soil-eggplant system and associated influencing factors. *Ecotoxicology and environmental safety*, 153, 204-214.
- Al-Thani, H., Koç, M., & Isaifan, R. J. (2018). A review on the direct effect of particulate atmospheric pollution on materials and its mitigation for sustainable cities and societies. *Environmental science and pollution research*, 25 (28), 27839-27857.
- Amrani, S., Harnafi, H., Bouanani, N. E. H., Aziz, M., Caid, H. S., Manfredini, S.,... & Bravo, E. (2006). Hypolipidaemic activity of aqueous ocimum basilicum extract in acute hyperlipidaemia induced by triton WR-1339 in rats and its antioxidant property. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 20 (12), 1040-1045.
- Banks, M. K., Schwab, A. P., & Henderson, C. (2006). Leaching and reduction of chromium in soil as affected by soil organic content and plants. *Chemosphere*, 62 (2), 255-264.
- Μπαλωμένου Γεωργία, Διδακτορική διατριβή, 2009. Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων στα νερά, στο έδαφος και στα λαχανικά στις αγροτικές περιοχές του

Νομού Αιτωλοακαρνανίας και χρήση ειδικών αδρανοποιητών στα υποστρώματα καλλιέργειας για ελαχιστοποιημένη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα.

- Balomenou, G., Deligiannakis Y., Salahas G., 2008. Influence of Humic acid on Cd-Bioaccumulation and toxicity on Spinach. XVI Congress of the federation of European Societies of Plant Biology (FESPB), 20-23 August 2008, Finland.
- Barouchas, P., Moustakas, N., Liopa-Tsakalidi, A., & Akoumianaki-Ioannidou, A. (2014). Effect of trivalent and hexavalent Chromium (Cr) on the total Cr concentration in the vegetative plant parts of spearmint ('*Mentha spicata*'L.), lemon verbena ('*Lippia citriodora*'L.) and peppermint ('*Mentha piperita*'L.). *Australian Journal of Crop Science*, 8 (3), 363.
- Benedec, D., Pârvu, A. E., Oniga, I., Toiu, A., & Tipericiuc, B. (2007). Effects of *Ocimum basilicum* L. extract on experimental acute inflammation. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*, 111 (4), 1065-9.
- Betsou, C., Frontasyeva, M., Tsakiri, E., Hansman, J., Kazakis, N., Vasilev, A., ... & Ioannidou, A. (2019). Heavy metals and radionuclides concentrations in mosses from the region of Northern Greece. *HNPS Proceedings*, 26, 62-66.
- Cristina Dinu^{1,2} & Gabriela-Geanina Vasile¹ & Mihaela Buleandra³ & Dana Elena Popa³ & Stefania Gheorghe¹ & Eleonora-Mihaela Ungureanu², (2020) Translocation and accumulation of heavy metals in *Ocimum basilicum* L. plants grown in a mining-contaminated soil Received: 17 August 2019 /Accepted: 18 December 2019 /Published online: 2 January 2020# Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020
- Csuros, M., & Csuros, C. (2016). *Environmental sampling and analysis for metals*. CRC Press.
- Dokou, Z., Karagiorgi, V., Karatzas, G. P., Nikolaidis, N. P., & Kalogerakis, N. (2016). Large scale groundwater flow and hexavalent chromium transport modeling under current and future climatic conditions: the case of Asopos River Basin. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(6), 5307-5321.

- Garcia, Cabrera U, M.L. Lorenzo, M.C. Lopez, (1999) Chromium levels in spices and aromatic herbs Department of Nutrition and Bromatology, School of Pharmacy, University of Granada, Campus de Cartuja, E-18071 Granada, Spain Received 31 July 1999; accepted 17 November 1999
- Economou-Eliopoulos M, Antivachi D, Vasilatos C, Megremi I (2012) Evaluation of the Cr(VI) and other toxic element contamination and their potential sources: the case of the Thiva basin (Greece). *Geosci Frontiers* 3(4):523–539
- Economou-Eliopoulos M, Megremi I, Vasilatos C (2011) Factors controlling the heterogeneous distribution of Cr(VI) in soil, plants and groundwater: evidence from the Assopos basin, Greece. *Chem Erde-Geochem* 71:39–52
- Economou-Eliopoulos, M., Megremi, I., Vasilatos, C., Frei, R., & Mpourodimos, I. (2017). Geochemical constraints on the sources of Cr (VI) contamination in waters of Messapia (Central Evia) Basin. *Applied Geochemistry*, 84, 13-25.
- El-Beshbishy, H. A., & Bahashwan, S. A. (2012). Hypoglycemic effect of basil (*Ocimum basilicum*) aqueous extract is mediated through inhibition of α -glucosidase and α -amylase activities: an in vitro study. *Toxicology and Industrial Health*, 28 (1), 42-50.
- Farouk, S., & Al-Amri, S. M. (2019). Ameliorative roles of melatonin and/or zeolite on chromium-induced leaf senescence in marjoram plants by activating antioxidant defense, osmolyte accumulation, and ultrastructural modification. *Industrial Crops and Products*, 142, 111823.
- Fathiazad, F., Matlobi, A., Khorrami, A., Hamedeyazdan, S., Soraya, H., Hammami, M.,... & Garjani, A. (2012). Phytochemical screening and evaluation of cardioprotective activity of ethanolic extract of *Ocimum basilicum* L. (basil) against isoproterenol induced myocardial infarction in rats. *DARU Journal of pharmaceutical sciences*, 20 (1), 87.
- Gardea-Torresdey JL, de La Rossa G, Peralta-Videa JR, Montes M, Cruz-Himenez G, Cano-Aquilera I (2005) Differential uptake and transport of trivalent and hexavalent Chromium by tumbleweed (*Salsola Kali*). *Env Cont Toxic*. 48:225-232

- Georgiadou, E. C., Kowalska, E., Patla, K., Kulbat, K., Smolińska, B., Leszczyńska, J., & Fotopoulos, V. (2018). Influence of heavy metals (Ni, Cu, and Zn) on nitro-oxidative stress responses, proteome regulation and allergen production in basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. *Frontiers in plant science*, 9, 862.
- Hena, S. (2010). Removal of chromium hexavalent ion from aqueous solutions using biopolymer chitosan coated with poly 3-methyl thiophene polymer. *Journal of hazardous Materials*, 181 (1-3), 474-479.
- Herawati, N., Suzuki, S., Hayashi, K., Rivai, I. F., & Koyama, H. (2000). Cadmium, copper, and zinc levels in rice and soil of Japan, Indonesia, and China by soil type. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 64(1), 33-39.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60-72.
- Jamshidi, N. and Cohen, M.M., 2017. The clinical efficacy and safety of Tulsi in humans: a systematic review of the literature. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017.
- Jean, L., Bordas, F., Gautier-Moussard, C., Vernay, P., Hitmi, A., & Bollinger, J. C. (2008). Effect of citric acid and EDTA on chromium and nickel uptake and translocation by *Datura innoxia*. *Environmental Pollution*, 153 (3), 555-563.
- Jumina, J., & Harizal, H. (2019). Dermatologic Toxicities and Biological Activities of Chromium. In *Chromium Toxicity*. IntechOpen.
- Kaprara E, Kazakis N, Simeonidis K, Coles S, Zouboulis AI, Samaras P, Mitrakas M (2015) Occurrence of Cr(VI) in drinking water of Greece and relation to the geological background. *J Hazard Mater* 281:2–11
- Kohzadi, S., Shahmoradi, B., Ghaderi, E., Loqmani, H., & Maleki, A. (2019). Concentration, source, and potential human health risk of heavy metals in the commonly consumed medicinal plants. *Biological trace element research*, 187 (1), 41-50.

- Kosma, C., Balomenou, G., Salahas, G., & Deligiannakis, Y. (2009). Electrolyte ion effects on Cd²⁺ binding at Al₂O₃ surface: Specific synergism versus bulk effects. *Journal of Colloid and Interface Science*, 331 (2), 263-274.
- Lagiopoulos, I., Binteris, A., Mpouras, T., Panagiotakis, I., Chrysochoou, M., & Dermatas, D. (2017). Potential biosorbents for treatment of chromium (VI)-contaminated water discharged into Asopos River. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(7), 1481-1488.
- Lajayer, B. A., Ghorbanpour, M., & Nikabadi, S. (2017). Heavy metals in contaminated environment: destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 377-390.
- Lajayer, B. A., Najafi, N., Moghiseh, E., Mosaferi, M., & Hadian, J. (2019). Micronutrient and heavy metal concentrations in basil plant cultivated on irradiated and non-irradiated sewage sludge-treated soil and evaluation of human health risk. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 104, 141-150.
- Lee, G., Bigham, J. M., & Faure, G. (2002). Removal of trace metals by coprecipitation with Fe, Al and Mn from natural waters contaminated with acid mine drainage in the Ducktown Mining District, Tennessee. *Applied Geochemistry*, 17(5), 569-581.
- Levankumar Lakshmanraj *, Ayyanar Gurusamy, M.B. Gobinath, R. Chandramohan, (2009) Studies on the biosorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by using boiled mucilaginous seeds of *Ocimum americanum* Department of Biotechnology, PSG College of Technology, Peelamedu, Coimbatore 641004, India
- Lilli, M. A., Moraetis, D., Nikolaidis, N. P., Karatzas, G. P., & Kalogerakis, N. (2015). Characterization and mobility of geogenic chromium in soils and river bed sediments of Asopos basin. *Journal of hazardous materials*, 281, 12-19.
- Lv, J. F., Zhang, H. P., Tong, X., Fan, C. L., Yang, W. T., & Zheng, Y. X. (2017). Innovative methodology for recovering titanium and chromium from a raw ilmenite concentrate by magnetic separation after modifying magnetic properties. *Journal of hazardous materials*, 325, 251-260.

- Maleki, M., Ghorbanpour, M., & Kariman, K. (2017). Physiological and antioxidative responses of medicinal plants exposed to heavy metals stress. *Plant Gene*, 11, 247-254.
- Malekpoor, F., Pirbalouti, A. G., & Salimi, A. (2016). Effect of foliar application of chitosan on morphological and physiological characteristics of basil under reduced irrigation. *Research on Crops*, 17(2), 354-359.
- Mohammad Kazem Souril*, Mansoure Hatamian² and Tsehaye Tesfamariam³ (2019) Plant growth stage influences heavy metal accumulation in leafy vegetables of garden cress and sweet basil Souri et al. *Chem. Biol. Technol. Agric.* (2019) 6:25 <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0170>
- Moraetis, D., Nikolaidis, N. P., Karatzas, G. P., Dokou, Z., Kalogerakis, N., Winkel, L. H. E., & Palaioianni-Bellou, A. (2012). Origin and mobility of hexavalent chromium in North-Eastern Attica, Greece. *Applied Geochemistry*, 27(6), 1170-1178.
- Musilova, J., Arvay, J., Vollmannova, A., Toth, T., & Tomas, J. (2016). Environmental contamination by heavy metals in region with previous mining activity. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 97(4), 569-575.
- Panagiotakis I, Dermatas D, Vatseris C, Chrysochoou M, Papassiopi N, Xenidis A, Vaxevanidou K (2015) Forensic investigation of a chromium(VI) groundwater plume in Thiva, Greece. *J Hazard Mater* 281:27–34
- Pavesi, T., & Moreira, J. C. (2020). Mechanisms and individuality in chromium toxicity in humans. *Journal of Applied Toxicology*.
- Prasad, A., Kumar, S., Khaliq, A., & Pandey, A. (2011). Heavy metals and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi can alter the yield and chemical composition of volatile oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 47 (8), 853.
- Rezania, S., Taib, S. M., Din, M. F. M., Dahalan, F. A., & Kamyab, H. (2016). Comprehensive review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse

- aquatic plants species from wastewater. *Journal of hazardous materials*, 318, 587-599.
- Salachas, G., Savvas, D., Argyropoulou, K., Tarantillis, P. A., & Kapotis, G. (2015). Yield and nutritional quality of aeroponically cultivated basil as affected by the available root-zone volume. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 911-918.
- Sarahroodi, S., Esmaeili, S., Mikaili, P., Hemmati, Z., & Saberi, Y. (2012). The effects of green *Ocimum basilicum* hydroalcoholic extract on retention and retrieval of memory in mice. *Ancient science of life*, 31 (4), 185.
- Sattar, M. (2018). Removal Efficiency of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) and Basil (*Ocimum basilicum*) for Heavy Metals from Polluted Soil by Phytoremediation. *International Journal of Alternative Fuels and Energy*, 2 (2), 21-33.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of hazardous materials*, 325, 36-58.
- Sharma, S., Nagpal, A. K., & Kaur, I. (2018). Heavy metal contamination in soil, food crops and associated health risks for residents of Ropar wetland, Punjab, India and its environs. *Food chemistry*, 255, 15-22.
- Sinha, V. (2016). *Chromium removal by tradescantia pallida (Rose) DR Hunt: Batch and continuous studies* (Doctoral dissertation).
- Soleimani, M., Amini, N., Sadeghian, B., Wang, D., & Fang, L. (2018). Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM_{2.5}) in Isfahan City, Iran. *Journal of environmental sciences*, 72, 166-175.
- Sukhmal Chandl & Shweta Singhl & Vinay Kumar Singhl & D. D. Patral (2015) Utilization of heavy metal-rich tannery sludge for sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivation
- Tratnik, F. R., & Bocca, B. (2017). SCOPING DOCUMENT.

- Tziritis E, Kelepertzis E, Korres G, Perivolaris D, Repani S (2012) Hexavalent chromium contamination in groundwaters of Thiva basin, central Greece. *Bull Environ Contam Toxicol* 89:1073–1077
- Vasilatos, C., Megremi, I., Economou-Eliopoulos, M., & Mitsis, I. (2008). Hexavalent chromium and other toxic elements in natural waters in the Thiva- Tanagra- Malakasa Basin, Greece. *Hellenic Journal of Geosciences*, 43, 57-66.
- Venancio, A. M., Onofre, A. S. C., Lira, A. F., Alves, P. B., Blank, A. F., Antonioli, A. R.,... & de Araujo, B. S. (2011). Chemical composition, acute toxicity, and antinociceptive activity of the essential oil of a plant breeding cultivar of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Planta medica*, 77 (08), 825-829.
- Ventura, L. M. B., Mateus, V. L., de Almeida, A. C. S. L., Wanderley, K. B., Taira, F. T., Saint’Pierre, T. D., & Gioda, A. (2017). Chemical composition of fine particles (PM 2.5): water-soluble organic fraction and trace metals. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(7), 845-852.
- Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Isrn Ecology*, 2011.
- Zhou, W., Thompson, J. R., Leznoff, C. C., & Leznoff, D. B. (2017). The Redox-Active Chromium Phthalocyanine System: Isolation of Five Oxidation States from $Pc^{4-}Cr^I$ to $Pc^{2-}Cr^{III}$. *Chemistry–A European Journal*, 23 (10), 2323-2331.
- Κανταρτζής Νικόλαος Α., (2003). Αρωματικά και Φαρμακευτικά Φυτά για την Αρχιτεκτονική και Αρχιτεκτονική του Τοπίου, Εκδόσεις Κανταρτζής Νικόλαος, σελ.46.
- Καραμπουρνιώτης, Α. Γ., (2003). Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών, 1η Έκδοση, Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.
- Μήτσιος Ιωάννης Κ., (2004). Γονιμότητα εδαφών, θρεπτικά στοιχεία φυτών, (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και βαρέα μέταλλα, μέθοδοι και εφαρμογές, Εκδόσεις Zymel.

Παπαναγιώτου Ε., ΠαπανικολάουΚ., ΖαμανίδηςΣ. (2001). Η καλλιέργεια των αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών στην Ελλάδα. Γεωργία και Κτηνοτροφία1, 36-42.

Παπαναγιώτου Ε., και Παπανικολάου Κ. 2004. Αρωματικά φυτά: Προοπτικές καλλιέργειας στην περιοχή. Ημερίδα του Εμπορικού και Βιομηχανικού Επιμελητηρίου Κοζάνης, Αιανή 26-6-2004.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ο Πλατύφυλλος Βασιλικός (hometownseeds.com)	41
Εικόνα 2. Φύλλα Πλατύφυλλου Βασιλικού (Singletary , 2004).....	46
Εικόνα 3. Κοντινή Φωτογραφία Φύλλων του Πλατύφυλλου Βασιλικού (hometownseeds.com, 2020).....	53
Εικόνα 4. Πλατύφυλλος Βασιλικός σε Ανάπτυξη (hometownseeds.com, 2020)	58
Εικόνα 5. Μεταφύτευση φυτών Sweet Basil L. στις 23/05/18	60
Εικόνα 6. Πρώτη εβδομάδα εφαρμογής βαρέων μετάλλων στις 02/06/18	65
Εικόνα 7. Τέταρτη εβδομάδα εφαρμογής βαρέων μετάλλων στις 23/06/18. Προσθήκη CaCO ₃	65
Εικόνα 8. Τελευταία εβδομάδα (8 ^η) εφαρμογής βαρέων μετάλλων στις 21/07/18	66
Εικόνα 9. Διαδικασία εφαρμογής ριζοποτισμάτων στα φυτά Πλατύφυλλου Βασιλικού	66
Εικόνα 10. Τα φυτά Sweet Basil L. μια εβδομάδα (έως 30/07) χωρίς εφαρμογή βαρέων μετάλλων	67
Εικόνα 11. Μέτρηση ύψους των φυτών Πλατύφυλλου Βασιλικού στις 30/07/18	70
Εικόνα 12. Διαδικασία κονιορτοποίησης των φυτικών υλικών στις 10/08/18	71

Εικόνα 13. Διαδικασία κονιορτοποίησης των φυτικών υλικών στις 10/08/18	72
Εικόνα 14. Προσθήκη 2 ml πυκνού υδροχλωρικού οξέος σε κάθε κάψα. στις 12/09/2018.....	73
Εικόνα 15. Ογκομετρικές φιάλες στον τελικό τους όγκο στις 12/09/2018	74
Εικόνα 16. Δείγματα για καθένα από τα φυτικά υλικά μέσα σε δοκιμαστικούς σωλήνες και τοποθέτηση τους σε στατώ στις 12/09/18	74
Εικόνα 17. Ποσότητες χρωμίου σε διάφορα φυτικά είδη και αρωματικά φυτά (E.Garcia et., 1999)	116
Εικόνα 18. Περιεκτικότητα χρωμίου σε φύλλα βασιλικού που συλλέγονται από τον Ιούνιο έως τον Οκτώβριο	117

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Τρισθενές Χρώμιο (Cr^{3+})	61
Διάγραμμα 2. Εξασθενές Χρώμιο (Cr^{6+})	63
Διάγραμμα 3. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος της 1ης επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	78
Διάγραμμα 4. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	79
Διάγραμμα 5. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος της 1ης επανάληψης σε σχέση με την συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	80
Διάγραμμα 6. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων σε σχέση με την συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης	81
Διάγραμμα 7. Μ.Ο ύψους φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	83
Διάγραμμα 8. Μ.Ο ύψους φυτών του υπέργειου τμήματος και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{VI}) στο νερό άρδευσης.....	85

Διάγραμμα 9. Ύψος φυτών του υπέργειου τμήματος σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	86
Διάγραμμα 10. Επίδραση συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου νερού άρδευσης στον αριθμό των βλαστών.....	89
Διάγραμμα 11. Επίδραση συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου νερού άρδευσης στον αριθμό φύλλων ανά φυτό.....	90
Διάγραμμα 12. Επίδραση συγκέντρωσης τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου νερού άρδευσης στην φυλλική επίφάνεια ανά φυτό	91
Διάγραμμα 13. Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης	95
Διάγραμμα 14. Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπόγειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης	97
Διάγραμμα 15 Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης	99
Διάγραμμα 16. Μ.Ο τιμών νωπού & ξηρού βάρους του υπόγειου τμήματος φυτών και των 3 επαναλήψεων ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης	101
Διάγραμμα 17. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου (CrIII) στο νερό άρδευσης	103
Διάγραμμα 18. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπέργειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου (CrVI) στο νερό άρδευσης.....	104
Διάγραμμα 19. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου (CrIII) στο νερό άρδευσης	105
Διάγραμμα 20. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου στο υπόγειο τμήμα των φυτών ανά συγκέντρωση εξασθενούς (CrVI) χρωμίου στο νερό άρδευσης	106
Διάγραμμα 21. . Συγκέντρωση ολικού χρωμίου του υπέργειου τμήματος και για τις 3 επαναλήψεις σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευς	109

Διάγραμμα 22. Συγκέντρωση ολικού χρωμίου του υπόγειου τμήματος και στις 3 επαναλήψεις σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς και εξαθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης	112
--	-----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ποσότητες τρισθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν ανα pot και ανά block για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά και στις 3 επαναλήψεις.....	62
Πίνακας 2. Ποσότητες εξαθενούς χρωμίου που εφαρμόστηκαν ανά και ανά για κάθε μεταχείριση ξεχωριστά και στις 3 επαναλήψεις	64
Πίνακας 3. Μ.Ο , Τυπική απόκλιση , Min ,Max του ύψους του υπέργειου τμήματος των φυτών σε σχέση με την συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου νερού άρδευσης	82
Πίνακας 4. Μ.Ο , Τυπική απόκλιση , Min , Max ύψους του υπέργειου τμήματος σε σχέση με την συγκέντρωση εξαθενούς χρωμίου νερού άρδευσης	84
Πίνακας 5. Επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας.....	87
Πίνακας 6. Επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα μορφολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας	88
Πίνακας 7. Επίδραση της συγκέντρωσης τρισθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας.....	92
Πίνακας 8. Επίδραση της συγκέντρωσης εξαθενούς χρωμίου στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών πλατύφυλλου βασιλικού μετά από 56 ημέρες καλλιέργειας	93
Πίνακας 9. Μ.Ο , Τυπική Απόκλιση , Min , Max Νωπού και Ξηρού Βάρους φυλλωμάτων ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr ³⁺)	94
Πίνακας 10. Μ.Ο ,Τυπική Απόκλιση , Min, Max Νωπού και Ξηρού Βάρους ριζών ανά μεταχείριση τρισθενούς χρωμίου(Cr ³⁺)	96

Πίνακας 11. Μ.Ο , Τυπική Απόκλιση , Min ,Max Νωπού και Ξηρού Βάρους φυλλωμάτων ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{6+})	98
Πίνακας 12. Μ.Ο , Τυπική Απόκλιση , Min ,Max Νωπού και Ξηρού Βάρους ριζών ανά μεταχείριση εξασθενούς χρωμίου(Cr^{6+})	100
Πίνακας 13. Τυπική απόκλιση , min ,max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορόφησης ολικού χρωμίου στο φύλλωμα και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	107
Πίνακας 14. Τυπική απόκλιση , min ,max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορόφησης ολικού χρωμίου στο φύλλωμα και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	108
Πίνακας 15. Τυπική απόκλιση , min ,max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορόφησης ολικού χρωμίου στις ρίζες και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση τρισθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	110
Πίνακας 16. Τυπική απόκλιση , min ,max και μέσος όρος συγκέντρωσης απορόφησης ολικού χρωμίου στις ρίζες και για τις 3 επαναλήψεις ανά συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου στο νερό άρδευσης.....	111