



**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΤΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ  
ΦΥΤΩΝ**

**ΠΩΣ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΥΞΗΜΕΝΗ  
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΔΜΙΟΥ ΚΑΙ ΧΡΩΜΙΟΥ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΕ  
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΡΙΓΑΝΗΣ  
(*Origanum vulgare*)**

**ΕΥΘΥΒΟΥΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΛΕΒΙΖΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ**

**Βόλος, Φεβρουάριος 2020**

**ΠΩΣ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΥΞΗΜΕΝΗ  
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΡΩΜΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΔΜΙΟΥ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΕ  
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΡΙΓΑΝΗΣ**

**ASSESSMENT OF OREGANO PHYSIOLOGICAL. RESPONSES TO  
STRESS IMPOSED BY INCREASED SOIL CHROMIUM AND  
CADMIUM CONCENTRATIONS**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή :

**Λεβίζου Ευθυμία** : Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας  
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

**Αντωνιάδης Βασίλειος**: Επίκουρος Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα  
Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας.

**Νικόλαος Δαναλάτος**: Καθηγητής Γεωργίας & Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών ,  
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας.

«Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.»

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	5
1. Εισαγωγή.....	7
1.1. Βαρέα μέταλλα.....	7
1.1.1. Τα βαρέα μέταλλα στο περιβάλλον .....	8
1.2. Κάδμιο .....	8
1.2.1. Γενικά .....	8
1.2.2. Μορφές, χρήσεις και αλληλεπίδραση καδμίου με περιβάλλον....	9
1.2.3. Το κάδμιο στα φυτά .....	10
1.3. Χρώμιο .....	11
2.3.1. Γενικά .....	11
2.3.2. Χρήσεις χρωμίου .....	12
2.3.3. Το χρώμιο σε έδαφος και φυτά .....	12
1.4. Ρίγανη .....	14
1.4.1. Χαρακτηριστικά ρίγανης .....	14
1.4.2. Η άμυνα του φυτού .....	14
1.5. Ο σκοπός της εργασίας .....	15
2. Υλικά και Μέθοδοι .....	15
2.1. Πειραματικός σχεδιασμός – Ημερολόγιο πειράματος.....	16
2.2. Μέθοδοι .....	18
2.2.1. Μέθοδος μέτρησης χλωροφυλλών .....	18
2.2.2. Μέθοδος μέτρησης φθορισμού .....	19
2.2.3. Μέθοδος μέτρησης ξηράς ουσίας .....	19
2.2.4. Μέθοδος στατιστικής ανάλυσης .....	20
3. Αποτελέσματα .....	21
4. Συζήτηση .....	30
5. Συμπεράσματα .....	34
6. Βιβλιογραφία .....	35

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν να ερευνηθούν οι αποκρίσεις φυσιολογικών και αναπτυξιακών χαρακτηριστικών φυτών ρίγανης (*Origanum vulgare*) που αναπτύσσονταν σε έδαφος με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου (Cd) και χρωμίου (Cr). Παράλληλα, χορηγήθηκε αζωτούχος λίπανση στα φυτά που λάμβαναν ή όχι τις αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων ώστε να εκτιμηθεί εάν το επιπλέον άζωτο μετριάξει τα αποτελέσματα της καταπόνησης. Επομένως, δημιουργήθηκαν έξι μεταχειρίσεις: 1) μάρτυρας I– καμία προσθήκη αζώτου και βαρέων μετάλλων, 2) καμία προσθήκη αζώτου και επιμόλυνση του εδάφους με 30ppmCd και 50ppmCr–τα ανώτερα επιτρεπτά όρια για αγροτικά εδάφη, 3) καμία προσθήκη αζώτου και επιμόλυνση του εδάφους με 90ppmCd και 150ppmCr, 4) μάρτυρας II– προσθήκη αζώτου (90 λιπαντικές μονάδες) και καμία προσθήκη βαρέων μετάλλων, 5) προσθήκη αζώτου (90 λιπαντικές μονάδες) και επιμόλυνση του εδάφους με 30ppmCd και 50ppmCr και 6) προσθήκη αζώτου (90 λιπαντικές μονάδες) και επιμόλυνση του εδάφους με 90ppmCd και 150ppmCr. Τα φυτά που δέχτηκαν τις τριπλάσιες του επιτρεπτού συγκεντρώσεις μετάλλων εμφάνισαν από τις πρώτες ημέρες υψηλή θνησιμότητα, η οποία μετά από περίπου 10 ημέρες έφτασε το 100%. Οι μετρήσεις των φυσιολογικών παραμέτρων άρχισαν ένα μήνα μετά την εφαρμογή των δύο παραπάνω παραγόντων και καταγράφηκε σε τακτική βάση μέχρι το τέλος του πειράματος ο φθορισμός της χλωροφύλλης *a* και η συγκέντρωση των ολικών χλωροφυλλών μέσω του δείκτη SPAD. Μετά από δύο μήνες πειράματος πραγματοποιήθηκε η τελική συγκομιδή των φυτών, όπου μετρήθηκαν διάφορες αναπτυξιακές παράμετροι. Η επίδραση του Cd και του Cr στην ανάπτυξη του φυτού ήταν πολύ σημαντική και οδήγησε σε μείωση όλων των αναπτυξιακών παραμέτρων που μετρήθηκαν και συγκεκριμένα της υπόγειας και υπέργειας βιομάζας καθώς και του νωπού βάρους του υπέργειου μέρους. Η παρουσία επιπλέον αζώτου φαίνεται να μετρίασε τις αρνητικές επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων, αλλά όχι σε πολύ μεγάλο βαθμό. Ο δείκτης καταπόνησης Fv/Fm που προήλθε από τις μετρήσεις του φθορισμού δεν εμφάνισε σαφή τάση, αλλά αντίθετα μεγάλη ποικιλομορφία. Οι συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών ήταν υψηλότερες στις ομάδες που λάμβαναν άζωτο, όπως ήταν αναμενόμενο, ενώ η προσθήκη αζώτου βελτίωσε το περιεχόμενο σε χλωροφύλλες παρουσία βαρέων μετάλλων. Τα αποτελέσματα του πειράματος υποδεικνύουν πως

υπάρχει ένα κρίσιμο σημείο στην συγκέντρωση των συγκεκριμένων μετάλλων που μπορούν να διαχειριστούν τα φυτά ρίγανης και αυτή η συγκέντρωση είναι κοντά στα 30 ppm Cdσε συνδυασμό με 50 ppm Cr. Τέτοιου μεγέθους συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε φυσιολογικές και αναπτυξιακές παραμέτρους των φυτών, αλλά είναι βιώσιμη. Τέλος, η αζωτούχος λίπανση των φυτών μετρίασε τα αποτελέσματα της καταπόνησης από την αυξημένη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Βαρέα Μέταλλα

Με τον όρο βαρέα μέταλλα αναφερόμαστε σε οποιοδήποτε μεταλλικό στοιχείο του περιοδικού πίνακα, το οποίο έχει σχετικά υψηλή πυκνότητα και είναι τοξικό ή δηλητηριώδες ακόμα και σε σχετικά χαμηλή συγκέντρωση (Shahid et.al. 2017). Υπάρχουν κάποια κοινά κριτήρια τα οποία οριοθετούν την έννοια των βαρέων μετάλλων, τα οποία αφορούν την πυκνότητα αυτών των στοιχείων, το ατομικό βάρος, τον ατομικό αριθμό και την θέση τους στον περιοδικό πίνακα. Στην ομάδα των βαρέων μετάλλων περιλαμβάνονται στοιχεία όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), το νικέλιο (Ni), το κοβάλτιο (Co), το σίδηρο (Fe), ο ψευδάργυρος (Zn), το χρώμιο (Cr), το αρσενικό (As) κ.α. Τα βαρέα μέταλλα είναι πιο διαθέσιμα στις μορφές τους στο έδαφος και στο υδάτινο περιβάλλον, ενώ λιγότερο διαθέσιμα είναι στην ατμόσφαιρα ως σωματίδια ή ατμούς. Τα εν λόγω μέταλλα, είναι γενικά από λίγο έως καθόλου αποικοδομήσιμα. Έτσι η συσσώρευσή τους συνήθως προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον και κατ' επέκταση έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ζωντανών οργανισμών (ιδιαίτερα φυτών, ζώων και ανθρώπων).

Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων στα φυτά ποικίλει ανάλογα με το φυτικό είδος, το είδος και τη συγκέντρωση των μετάλλων, τη χημική τους μορφή, τη σύνθεση του εδάφους και το pH του. Μερικά στοιχεία από αυτή τη κατηγορία θεωρούνται απαραίτητα θρεπτικά ιχνοστοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών όπως ο ψευδάργυρος (Zn) και ο χαλκός (Cu), καθώς εμπλέκονται σε βιοχημικές και φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών. Μερικές από τις κυριότερες είναι η ενεργοποίηση σημαντικών ενζύμων, η συμμετοχή στη φωτοσύνθεση και στον μεταβολισμό των υδατανθράκων. Αντιθέτως, μερικά βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg) και το αρσενικό (As) είναι έντονα τοξικά για τα φυτά με αποτέλεσμα την αναστολή της ανάπτυξης ή ακόμα και τον θάνατο του φυτού. Παρ' όλα αυτά κανένα είδος οργανικής ζωής δεν μπορεί να αναπτυχθεί και να επιβιώσει χωρίς τη συμμετοχή μεταλλικών ιόντων. Ορισμένα από τα βαρέα μέταλλα είναι βιοσυσσωρεύσιμα και δεν αποδομούνται από το περιβάλλον ούτε μεταβολίζονται εύκολα.

#### 1.1.1 Τα βαρέα μέταλλα στο περιβάλλον

Η σημαντικότερη φυσική πηγή βαρέων μετάλλων είναι τα μητρικά υλικά και η διάβρωση των πετρωμάτων. Υπάρχουν επίσης αποθέσεις βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον, με σημαντικότερες πηγές τις οικιακές εκροές και τις γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Οι περισσότερες από αυτές τις πηγές συνδέονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η εφαρμογή λιπασμάτων, η αύξηση της βιομηχανίας, οι εξορύξεις, οι τήξεις μετάλλων και η καύση ορυκτών καυσίμων. Οι παραπάνω δραστηριότητες του σύγχρονου ανθρώπου αποτελούν και τις κύριες αιτίες συσσώρευσης μετάλλων στο έδαφος. Από τις πιο επιζήμιες δραστηριότητες για το περιβάλλον και με το μεγαλύτερο ποσοστό πρόκλησης ρύπων ανά τον κόσμο, είναι οι εργασίες εξόρυξης και τήξης καθώς και η γεωργία. Συγκεκριμένα στην Βόρεια Ελλάδα οι παραπάνω διεργασίες είναι υπεύθυνες για την ρύπανση του εδάφους και τον εμπλουτισμό του περιβάλλοντος με χαλκό (Cu), κάδμιο (Cd) και μόλυβδο (Pb) (Zalporoulos et.al.. 1999). Μεταξύ των χωρών που αντιμετωπίζουν τα μεγαλύτερα προβλήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης σε βαρέα μέταλλα είναι η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Ιταλία και το Μεξικό (Tang et.al.. 2019). Για το λόγο αυτό ένας μεγάλος αριθμός μελετών ανά τον κόσμο, έχει επικεντρωθεί στη απομάκρυνση βαρέων μετάλλων των εδαφών με ποικίλους τρόπους.

## **1.2 Κάδμιο**

### **1.2.1. Γενικά**

Μεταξύ των πολυάριθμων στοιχείων που προκαλούν ρύπανση βαρέων μετάλλων στο έδαφος, το κάδμιο (Cd) έχει αναφερθεί από το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) για το περιβάλλον ως το πιο επιβλαβές στοιχείο παγκοσμίως (Lin L. et.al., 2012). Το κάδμιο έχει τα εξής χαρακτηριστικά: ανήκει στην ομάδα των βαρέων μετάλλων, μπορεί να έχει κίτρινο, πορτοκαλί ή κόκκινο χρώμα, είναι ένα σπάνιο στοιχείο στη φύση, είναι σχετικά ασταθές με υψηλή κινητικότητα και πολύ τοξικό για πολλούς οργανισμούς. Με ατομικό αριθμό 48, σημείο τήξης 320° C και ατομικό βάρος 112,41 το εν λόγω στοιχείο θεωρείται αρκετά σπάνιο . Στη φύση συναντάται συνήθως σε ενώσεις με σουλφίδια του ψευδαργύρου, γι' αυτό άλλωστε όταν είχε ανακαλυφθεί από τον Γερμανό χημικό Friedrich Stromeyer το 1817, θεωρήθηκε ως ακαθαρσίες ανθρακικού ψευδαργύρου. Στη φύση συναντάται συνήθως σε πετρώματα που υπάρχει ή μόλυβδος ή ψευδάργυρος ή χαλκός, ενώ στην ατμόσφαιρα εκλύεται από τις ηφαιστειακές εκρήξεις (Rachel 2018).



### 1.2.2 Μορφές, χρήσεις και αλληλεπίδραση καδμίου με περιβάλλον

Λόγω της αυξημένης χρήσης του καδμίου τις τελευταίες δεκαετίες κυρίως στην βιομηχανία αλλά και εξαιτίας άλλων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, τα επίπεδα του Cd έχουν πολλαπλασιαστεί στον περιβάλλον και επομένως το ίδιο και οι κίνδυνοι που μπορεί να προκαλέσει λόγω της υπερβολικής τοξικότητάς του. Η πλειονότητα των ενώσεων του Cd χρησιμοποιείται για την παραγωγή μπαταριών, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για διάφορες χρήσεις όπως για παραγωγή κραμάτων, επιχρίσματα, επιμετάλλωση, λιπάσματα, εκτύπωση φωτογραφιών ενώ, αποτελεί συστατικό των τσιγάρων (0.5-2 μg/τσιγάρο) (Zhang and Reynolds, 2019).

Το κάδμιο απορροφάται εύκολα από τις ρίζες των φυτών, απ' όπου στη συνέχεια μπορεί να μετακινηθεί στο υπέργειο τμήμα του φυτού. Η συσσώρευση καδμίου στα βρώσιμα τμήματα των καλλιεργειών μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα από τους οργανισμούς που θα τα καταναλώσουν και ειδικότερα από τους ανθρώπους. Αυτό έδειξε άλλωστε η ασθένεια Itai-Itai (νεφρική ανεπάρκεια σε συνδυασμό με σκελετικά προβλήματα) στις αρχές του 20ου αιώνα στην Ιαπωνία, η οποία θεωρήθηκε ότι προκλήθηκε από παρατεταμένη πρόσληψη επιβαρυσμένου με Cd ρυζιού από τους κατοίκους της περιοχής. Στην παραπάνω περίπτωση, η ρύπανση ξεκίνησε όταν ποσότητες Cd απελευθερώθηκαν στους ποταμούς της περιοχής απ' τις εργασίες που λάμβαναν χώρα εντός των ορυχείων (Hagino and Kono, 1955). Τα επόμενα χρόνια ορίστηκε έπειτα από έρευνες ως μέγιστο για τον άνθρωπο όριο κατανάλωσης Cd ημερησίως τα 70 mg (FAO-WHO, 1978).

Στην φύση οι ενώσεις Cd μπορεί να υπάρχουν σε διάφορες φάσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα, στο νερό και στην επιφάνεια της γης- σε ηφαιστειακά κυρίως ιζήματα. Το παραπάνω στοιχείο μπορεί να συνδεθεί με ανόργανες (π.χ.  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ) αλλά και οργανικές ενώσεις (π.χ. αμινοξέα κ.α.). Επιπλέον σε αντίθεση με τους οργανικούς ρύπους τα βαρέα μέταλλα μπορούν να παραμείνουν στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα (Adriano et.al., 2004). Επίσης, οι εισροές Cd στα γεωργικά εδάφη, μπορεί να προέρχονται από περιττή εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων ή οργανικής ουσίας μέσω κοπριάς ή κομπόστ. Πολλά από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες καλλιέργειες ανά τον κόσμο, παράγονται με άλεση φυσικών φωσφορικών πετρωμάτων και το Cd είναι συχνά παρόν στα φωσφορικά πετρώματα με τη μορφή θειούχου καδμίου. Η εφαρμογή ενός τέτοιου λιπάσματος προφανώς θα αυξήσει την περιεκτικότητα του Cd στο έδαφος, παρ' όλα αυτά, η

συσσώρευση του τοξικού μετάλλου στο φυτό συνήθως δεν επηρεάζεται από την αρχική συγκέντρωση του Cd στο λίπασμα, αλλά από την συχνότητα και την χρονική διάρκεια της εφαρμογής του λιπάσματος. Εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητας του Cd του λιπάσματος, είναι πολύ πιθανό να μην είναι διαθέσιμο άμεσα στο φυτό (Zhang and Reynolds, 2014).

### **1.2.3. Το Κάδμιο στα φυτά**

Μετά την είσοδό του σε έναν φυτικό οργανισμό το κάδμιο συσσωρεύεται σε διάφορους ιστούς του φυτού. Η συσσώρευση του στοιχείου επηρεάζεται από παράγοντες όπως το είδος/ποικιλία και τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του φυτού, τη συγκέντρωση του καδμίου και την διαθεσιμότητα του στο έδαφος όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η παρουσία του καδμίου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη και την απόδοση μέσω διαφόρων οδών και ειδικότερα στα καλλιεργούμενα φυτά. Από τις συνηθέστερες και πιο βλαβερές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει η αυξημένη συγκέντρωση καδμίου σε ένα φυτό είναι η μείωση της βιομάζας αυτού αλλά και της ανάπτυξης του, η αποσύνθεση των χρωστικών, η ανισοροπία στην απορρόφηση και κατανομή θρεπτικών (κυρίως Ca, Mg, P, K), η μείωση της ανάπτυξης των ριζών, καθώς και η αρνητική επίδραση στον ρυθμό φωτοσύνθεσης (Zhang and Reynolds 2019). Γενικά, το ρυθμιστικό όριο του Cd για το έδαφος στο οποίο υπάρχουν καλλιεργήσιμα φυτά είναι στα 100 mg ανά kg εδάφους (Salt et.al..1995), αν το όριο αυτό ξεπεραστεί τότε τα φυτά θα οδηγηθούν μέχρι και στο θάνατο. Παρ' όλα τούτα το κάδμιο επηρεάζει την φυσιολογία του φυτικού οργανισμού μέσω τριών κύριων οδών. Η πρώτη περιλαμβάνει την καταστροφή των κυτταρικών δομών από τις ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS). Συγκεκριμένα, το Cd μπορεί να προκαλέσει οξειδωτικό στρες δημιουργώντας ενεργές μορφές οξυγόνου, αναγκάζοντας ως επακόλουθο τα φυτά να σπαταλήσουν μεγάλο μέρος της ενέργειας τους για την άμυνα τους (Yu et.al.. 2013). Οι παραπάνω διεργασίες εντός του φυτού έχουν ως συνέπεια τη μείωση της φωτοσύνθεσης, την μείωση του πολλαπλασιασμού των κυττάρων αλλά και αρνητικές επιπτώσεις στο μεταβολισμό του αζώτου (Dinakar et.al..2009). Η ανεξέλεγκτη δράση των ROS, η οποία θεωρείται μεταβολική παρενέργεια, συνδέεται άμεσα με την ενεργοποίηση αντιοξειδωτικών μηχανισμών του φυτού και μηχανισμών αντιμετώπισης και επιδιόρθωσης των βλαβών που έχουν προκληθεί στο φυτό. Η δεύτερη οδός έχει να κάνει με τη δέσμευση ενεργών θέσεων ενζύμων που σχετίζονται με κρίσιμες κυτταρικές λειτουργίες, αναστέλλοντας έτσι τη δράση αυτών των

ενζύμων. Η τρίτη και τελευταία οδός περιλαμβάνει την αντικατάσταση βασικών μεταλλικών ιόντων σε μακρομόρια με ιόντα καδμίου (Sapara et.al.. 2019).

Τα φυτά διαθέτουν μεγάλο και ποικίλο οπλοστάσιο για την άμυνα τους, χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά ενζυμικά και μη ενζυμικά αντιοξειδωτικά συστήματα για προστασία από τις ROS (Yu et.al.. 2013). Είναι γεγονός πως όσο περισσότερα διαθέτει το φυτό για την άμυνα του, τόσο θα μειωθεί η ανάπτυξή του, δηλαδή υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ άμυνας και ανάπτυξης του οργανισμού. Η καταπόνηση που προέρχεται από την υψηλή συσσώρευση βαρέων μετάλλων γενικά αλλά και ιδιαίτερα του καδμίου, αυξάνει τη συγκέντρωση της προλίνης, ενός υδρόφοβου αμινοξέος (Dinakar et.al..2009). Η προλίνη παίζει ρόλο στην παρεμπόδιση της αποικοδόμησης των μακρομορίων δυναμώνοντας το κυτταρικό τοίχωμα και απομακρύνοντας τα υδροξύλια μετριάζοντας έτσι της επιπτώσεις της καταπόνησης στα φυτά (Καραμπουρνιώτης κ.α. 2012). Ένα εξίσου ισχυρό όπλο κατά των καταπονήσεων που δέχεται το φυτό είναι οι ομάδα των φαινολικών. Τα φαινολικά ανήκουν στους δευτερογενείς μεταβολίτες του φυτού, έχουν αντιοξειδωτική δράση και συμμετέχοντας στην άμυνα παίζουν σημαντικό στην προστασία των φυτών από βιοτικές και αβιοτικές πιέσεις (Καραμπουρνιώτης κ.α. 2012).

### **1.3 Χρώμιο**

#### **1.3.1. Γενικά**

Το χρώμιο (Cr) σε αντίθεση με άλλα τοξικά στοιχεία όπως το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg) και το αλουμίνιο (Al), έχει λάβει την λιγότερη προσοχή από τη επιστημονική κοινότητα. Το χρώμιο είναι το 22<sup>ο</sup> σε αφθονία στοιχείο στο φλοιό της Γης. Το Cr είναι ένα λαμπερό σκληρό μέταλλο, με ατομικό αριθμό 24, είναι το πρώτο στοιχείο της έκτης ομάδας και ανήκει στην τέταρτη περίοδο με σχετική ατομική μάζα 51,9961, ενώ έχει πολύ μεγάλο σημείο τήξης κοντά στους 2.000 °C. Είναι πραγματικά άξιο θαυμασμού το γεγονός πως για να βρεθεί η παλαιότερη, απ' όσα έχουν ανακαλυφθεί, χρήση του χρωμίου, πρέπει να γυρίσει ο χρόνος πίσω πάνω από 2.000 έτη στην περιοχή της Κίνας, όπου χρησιμοποιηθήκαν οξειδία χρωμίου για επικαλυφθούν μεταλλικά μέρη όπλων στον περίφημο στρατό από τερακότα, ο οποίος σώζεται μέχρι σήμερα (Pinkowski 2019). Το χρώμιο ως στοιχείο ανακαλύφθηκε πρώτη φορά το 1761, ως βασικό συστατικό του ορυκτού κροκοΐτης (PbCrO<sub>4</sub>), με τη

μορφή εξασθενούς χρωμίου. Όμως η πρώτη απομόνωση μεταλλικού χρωμίου έγινε το 1797 από τον Γάλλο χημικό Louis Nicolas Vauquelin (Sueker 1964). Πλέον, σχεδόν όλο το ποσοστό που χρησιμοποιείται για εμπορικούς σκοπούς εξορύσσεται από το ορυκτό του χρωμίου, δηλαδή τοχρωμίτη ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) με τη μορφή τρισθενούς χρωμίου. Οι ενώσεις του στοιχείου αυτού βρίσκονται στο περιβάλλον χάρη στη διάβρωση των παραπάνω κυρίως πετρωμάτων αλλά και εξαιτίας ηφαιστειακών εκρήξεων. Επίσης, το χρώμιο θεωρείται από πολλούς επιστήμονες και μελετητές ένα από τα τρία πιο τοξικά και επιβλαβή βαρέα μέταλλα μαζί με τον υδράργυρο (Hg) και τον μόλυβδο (Pb).

### **1.3.2. Χρήσεις Χρωμίου**

Το χρώμιο και οι ενώσεις του έχουν ποικίλες βιομηχανικές χρήσεις. Η μεγαλύτερη ποσότητα χρωμίου χρησιμοποιείται στην παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα προσθέτοντας σε αυτόν εξαιρετική αντοχή από νερό και αέρα. Ενώσεις του Cr(VI) χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά ξύλου, ως χρωστικές σε φωτογραφίες, στην παραγωγή καταλυτών, καθαριστικών, χρωμικού οξέος και άλλων ειδικών χημικών αλλά μεγάλη χρήση βρίσκει και στη βυρσοδεψία για την κατεργασία δερμάτων (Nriagu 1988). Όλες οι παραπάνω ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου είναι τοξικότερες και έχουν οδηγήσει σε εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος σε διάφορες περιοχές του πλανήτη.

### **1.3.3. Το Χρώμιο σε έδαφος και φυτό**

Λόγω της ευρείας βιομηχανικής χρήσης του, το χρώμιο θεωρείται ένας σοβαρός, υψηλού κινδύνου, περιβαλλοντικός ρύπος. Επομένως η ρύπανση του εδάφους και του νερού από αυτό το τοξικό στοιχείο προκαλεί μεγάλη ανησυχία. Σχεδόν όλο το χρώμιο στη φύση συναντάται με την μορφή τρισθενούς χρωμίου, ενώ το εξασθενές χρώμιο που βρίσκεται στο περιβάλλον προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από ανθρωπογενείς ενέργειες. Το εξασθενές χρώμιο θεωρείται ευκίνητο μέταλλο στην υδάτινη φάση και παραμένει έτσι βιοδιαθέσιμο, αντιθέτως το τρισθενές θεωρείται μη ευκίνητο και για αυτό συχνά αναφέρεται ως αδρανές, λιγότερο βιοδιαθέσιμο και μικρότερης τοξικότητας ως προς τους οργανισμούς (Nriagu 1988). Στις μεγαλύτερες χώρες ανά τον κόσμο, δεκάδες χιλιάδες τόνων Cr εναποτίθενται στο περιβάλλον ετησίως μέσω ποικίλων πηγών, με σημαντικότερες πηγές τα απόβλητα βιομηχανιών και βιοτεχνιών. Οι χαμηλές τιμές Ph στο έδαφος οδηγούν σε συνδυασμό με τα παραπάνω, στην αύξηση κατά μεγάλο βαθμό της διαθεσιμότητας των ιόντων χρωμίου στα φυτά (Davies

et.al.. 2002). Οι ενώσεις Cr είναι ιδιαίτερα τοξικές για τα φυτά και είναι επιζήμιες για την ανάπτυξή τους. Αν και ορισμένες καλλιέργειες δεν επηρεάζονται από τη χαμηλή συγκέντρωση χρωμίου στο εδαφικό διάλυμα, το στοιχείο αυτό και οι ενώσεις του έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό των ανωτέρων φυτών και κυρίως τα καλλιεργούμενα, ακόμα και σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0.2-1 μg ανά kg ξηρής ουσίας(Salt et.al..1995).Η επίδραση του συγκεκριμένου μετάλλου, εξαρτάται από την μορφή του, καθώς η τοξικότητα του Cr(VI)είναι υψηλή σε αντίθεση με του Cr(III), που δεν θεωρείται τόσο τοξική μορφή.Αυτές οι τοξικές επιδράσεις του Cr, παρατηρούνται σε διάφορα επίπεδα στα φυτά,περιλαμβάνοντας μεταβολές στις διαδικασίες της βλάστησης καθώς και στην ανάπτυξη των ριζών, των στελεχώνκαι φύλλων, οι οποίες με την σειρά τους,επηρεάζουν την συνολική παραγωγή ξηράς ουσίας και την συνολική απόδοση του φυτού(Shadidetal.. 2017). Πιο συγκεκριμένα, η συσσώρευση χρωμίου σε ιστούς φυτών μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιδράσεις στις φυσιολογικές διεργασίες του φυτού, όπως μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης, μείωση του ρυθμού πρόσληψης θρεπτικών ουσιών, μεταβολές στο υδατικό ισοζύγιο κ.α. (Shadidetal.. 2017). Όσον αφορά τις μεταβολικές τροποποιήσεις από την έκθεση φυτών στο Cr, συχνά περιγράφονται είτε από την άμεση επίδραση σε ένζυμα ή σε άλλους μεταβολίτες είτε μέσω της ικανότητας του να παράγει ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS), οι οποίες ενδεχομένως μετέπειτα, να προκαλέσουν οξειδωτικό στρες στα φυτά, μειώνοντας κατ' επέκταση την παραγωγικότητα στα καλλιεργούμενα φυτά(Yangetal.. 2017). Επιπλέον, το χρώμιο έχει την ικανότητα να προκαλέσει ακόμα και την καταστροφή μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών με αυτό να συνεπάγεται βλάβες σε ρίζες, φύλλα και γενικά σε όποιον ιστό υπάρχει μεγαλύτερη συσσώρευση του μετάλλου (Shahidetal..2017).Τα τελευταία χρόνια έχουν διεξαχθεί πολλά πειράματαβιο-αποκατάστασης εδαφών ρυπασμένων με Cr, είτε ανάγοντας το Cr(VI) στο λιγότερο τοξικόCr(III)μέσω της αποικοδόμησης από μύκητες του εδάφους, είτε μέσω απευθείας εμβολιασμού βακτηριακής καλλιέργειας σε φυτά ώστε να μειωθεί η συσσώρευση του Cr σε αυτά. Στην καλύτερη περίπτωση των παραπάνω μεθόδων ένα ποσοστό κοντά στο 10% των διαθέσιμων μορφών χρωμίου από το έδαφος θα εισέρχονταν στο φυτό (Wanietal.. 2007).

#### **1.4. Ρίγανη**

Η ρίγανη (*Origanum vulgare*) απαντάται κυρίως στην Ανατολική Μεσόγειο ως αυτοφυές αλλά τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία ανοδική τάση για καλλιέργεια ρίγανης σε πολλά σημεία του κόσμου όπου οι συνθήκες είναι ευνοϊκές (Stefanaki et al., 2016). Το συγκεκριμένο είδος έχει μεγάλη αντοχή στις καταπονήσεις και γενικά επιβιώνει κάτω από αρκετά αντίξοες συνθήκες. Στο φυτό περιέχεται το αιθέριο έλαιο της ρίγανης, το οποίο έχει αντιμικροβιακή, αντιοξειδωτική και εντομοαπωθητική δράση (Stefanaki et al., 2016). Εξαιτίας αυτών, εκτός από τις γνωστότερες χρήσεις του ως έλαιο-καρύκευμα σε τρόφιμα ή ως βότανο, το φυτό βρίσκει πληθώρα χρήσεων στην βιομηχανία τροφίμων και στην φαρμακευτική βιομηχανία.

#### **1.4.2 Η άμυνα του φυτού**

Η ρίγανη είναι ένα από τα πιο ανθεκτικά μεσογειακά φυτά, όπως φαίνεται από το φυσικό περιβάλλον στο οποίο φύεται και αντιμετωπίζει επιτυχώς πολλές ταυτόχρονες αβιοτικές καταπονήσεις (π.χ. ακραίες θερμοκρασίες, ξηρασία). Τα αιθέρια έλαια που περιέχει (με κυρίαρχο τη θυμόλη) συμβάλουν στην καλή αμυντική θωράκιση του φυτού. Πρόκειται για πτητικά έλαια που συναντώνται κυρίως στα φύλλα στην περίπτωση της ρίγανης, ενώ σε άλλα είδη μπορεί να βρίσκονται και σε ρίζες, φλοιό, άνθη και καρπούς. Στην άμυνα του φυτού, επιπλέον, συμβάλλει και το πλήθος των τριχών που είναι βρίσκονται στην επιφάνεια των υπέργειων όργων του φυτού. Οι τρίχες εμπλέκονται στην μηχανική άμυνα του φυτού έναντι των φυτοφάγων οργανισμών και παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση των υδατικών απωλειών και της θερμοκρασίας του φύλλου (Καραμπουρνιώτης κ.α. 2012). Οι αδενώδεις τρίχες φέρουν το αιθέριο έλαιο, η σύσταση και συγκέντρωση του οποίου φαίνεται να επηρεάζεται από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων το υψόμετρο, η εποχή, η ξηρασία, η ένταση του φωτός και η τοξικότητα των ανόργανων στοιχείων του εδαφικού διαλύματος (Stefanaki et al., 2016). Κατ' επέκταση το αμυντικό οπλοστάσιο του φυτικού οργανισμού επηρεάζεται άμεσα απ' όλους τους παραπάνω παράγοντες.

#### **1.5. Σκοπός της εργασίας**

Η ρίγανη είναι ένα ανθεκτικό αρωματικό φυτό του Μεσογειακού περιβάλλοντος με μεγάλη εμπορική αξία, λόγω του αιθερίου ελαίου που περιέχει. Φύεται σε μία ποικιλία περιοχών από κοντά στη θάλασσα μέχρι υψηλά υψόμετρα κοντά στα 1500μ, όπου έρχεται αντιμέτωπη με διάφορες καταπονητικές περιβαλλοντικές συνθήκες, τις οποίες φαίνεται να αντιμετωπίζει επιτυχώς. Με την ανθεκτικότητα της ρίγανης ως

δεδομένο θελήσαμε να εξετάσουμε στην παρούσα εργασία τις αποκρίσεις της φυσιολογίας του φυτού και της ανάπτυξής του στην αυξημένη παρουσία καδμίου και χρωμίου στο έδαφος. Από προηγούμενα πειράματα με το συγκεκριμένο φυτό υπήρχαν ενδείξεις ότι η αυξημένη συγκέντρωση αζώτου στο έδαφος βοηθάει τη ρίγανη να ανταπεξέλθει καλύτερα σε υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Επομένως, προσθέσαμε και αυτόν τον πειραματικό παράγοντα προκειμένου να διερευνήσουμε εάν υπάρχει αλληλεπίδραση της συγκέντρωσης αζώτου με τα βαρέα μέταλλα ως προς το αποτέλεσμα τους σε φυσιολογικές και αναπτυξιακές παραμέτρους του φυτού.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Πειραματικός σχεδιασμός – Ημερολόγιο πειράματος

Η προετοιμασία του πειράματος ξεκίνησε στις 9 Μαρτίου 2018 με τη συλλογή εδάφους (300 kg) από το Αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στο Βελεστίνο Μαγνησίας. Αφού κοσκινίστηκε και αναμείχθηκε με περλίτη σε αναλογία όγκου 1:1, μεταφέρθηκε και τοποθετήθηκε σε γλάστρες 1l. Το σύνολο των γλαστρών ήταν 300 και χωρίστηκαν σε 6 μεταχειρίσεις των 50 γλαστρών το καθένα.

Ακολούθησε η διαδικασία πρώτα της λίπανσης και ύστερα, στις 22 Μαρτίου, της επιμόλυνσης του εδάφους αρχικά με κάδμιο (νιτρικό κάδμιο, 5.5g/l) και στη συνέχεια με χρώμιο (διχρωμικό κάλιο,  $K_2Cr_2O_7$ , 9.18g/l). Τα διαλύματα προστέθηκαν σε κάθε μεταχείριση σε ποσότητες ώστε να επιτευχθούν συγκεντρώσεις 30 και 90 ppm Cd καθώς και 50 και 150 ppm Cr. Καθώς η προσθήκη Cd και Cr με τις παραπάνω μορφές πρόσθετε στις αντίστοιχες γλάστρες άζωτο και κάλιο επίσης, η λίπανση με τα παρακάτω θρεπτικά εξασφάλισε ότι όλες οι γλάστρες όλων των μεταχειρίσεων δεν θα διαφέρουν σε K, ενώ οι λιπαντικές μονάδες N που βρίσκονταν στις μεταχειρίσεις με Cd θα ίσχυαν σε όλα τα πειραματόφυτα.





**Πίνακας 1:** ποσότητα (ml) θρεπτικών διαλυμάτων και διαλυμάτων των βαρέων μετάλλων που προστέθηκαν ανά γλάστρα. Η σύσταση και συγκέντρωση των διαλυμάτων φαίνεται κάτω από τον πίνακα.

Μεταχείριση		Θ.δ.Ι	Θ.δ.ΙΙ	Θ.δ.Ι ΙΙ	Θ.δ.ΙV	Διάλ. Cd	Διάλ. Cr
Κωδικο- ποίηση		(λίγο N)	(πολύ N)	(K)	(P)		
A	N <sub>0</sub> BM <sub>0</sub>	30	---	15	4	---	---
B	N <sub>0</sub> BM <sub>1</sub>	20	---	10	4	10	10
Γ	N <sub>0</sub> BM <sub>3</sub>	---	---	---	4	30	30
Δ	N <sub>1</sub> BM <sub>0</sub>	30	15**	15	4	---	---
E	N <sub>1</sub> BM <sub>1</sub>	20	15	10	4	10	10
ΣΤ	N <sub>1</sub> BM <sub>3</sub>	---	15	---	4	30	30

\*\* Η ποσότητα αυτή προστέθηκε σε 2 δόσεις: Στην αρχή του πειράματος 5 mL, και σε 1-2 εβδομάδες τα υπόλοιπα 10 mL.

Όπου:

Θρεπτικό διάλυμα Ι: 2,86 gNH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> διαλύονται ανά 2 L. Τρεις φορές. Συνολικά παρασκευάζονται 6 L.

Θρεπτικό διάλυμα ΙΙ: 58,2gNH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> διαλύονται ανά 2 L (και 29,1 gανά L). Συνολικά 3 L.

Θρεπτικό διάλυμα ΙΙΙ: 21,7 gK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> διαλύονται ανά 2 L (και 10,8 gανά L). Συνολικά 3 L.

Θρεπτικό διάλυμα ΙV: 12 mLπυκνό H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ανά 2 L. Συνολικά 2L.

Διάλυμα Cd: 11 gνιτρικό κάδμιο ανά 2 Lδύο φορές (και 2.75 g500 mL). Σύνολο 4,5 L.

Διάλυμα Cr: 18,4 g διχρωμικό κάλιο ανά 2 Lδύο φορές (και 4,59 g500 mL). Σύνολο 4,5 L.

Από τις παραπάνω προσθήκες πρόκυψε η εξής συνολική εικόνα των χημικών που προστέθηκαν στις γλάστρες όλων των μεταχειρίσεων:

**Πίνακας 2:** η συνολική εικόνα λίπανσης και επιμόλυνσης με βαρέα μέταλλα για τις γλάστρες όλων των μεταχειρίσεων. Όπου ΛΜΑ, λιπαντική μονάδα αζώτου (ΛΜΚ καλίου και ΛΜΦ φωσφόρου).

Μεταχείριση		ΛΜΑ	ΛΜΚ	ΛΜΦ	ppm Cd	ppm Cr
A	N <sub>0</sub> BM <sub>0</sub>	9	54	20	0	0
B	N <sub>0</sub> BM <sub>1</sub>	9	54	20	30	50
Γ	N <sub>0</sub> BM <sub>3</sub>	9	54	20	90	150
Δ	N <sub>1</sub> BM <sub>0</sub>	99	54	20	0	0
E	N <sub>1</sub> BM <sub>1</sub>	99	54	20	30	50
ΣΤ	N <sub>1</sub> BM <sub>3</sub>	99	54	20	90	150

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, οι μεταχειρίσεις A και Δ λειτούργησαν ως μάρτυρες. Οι μεταχειρίσεις B και E δέχθηκαν τα επιτρεπτά όρια των συγκεκριμένων βαρέων μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα, ενώ οι Γ και ΣΤ το τριπλάσιο αυτών.

Στη συνέχεια, τα φυτά ρίγανης (*Origanum vulgare subsp. hirtum*) ηλικίας τεσσάρων εβδομάδων, μεταφέρθηκαν από τις πολύ μικρές θήκες διαμέτρου 2cm, σε μεγαλύτερες θήκες διαμέτρου 6cm. Αφού παρέμειναν εκεί για 20 ημέρες περίπου, ακολούθησε η μεταφύτευση 300 φυτών ρίγανης ηλικίας περίπου 50 ημερών στις 300 γλάστρες που είχαν ετοιμασθεί νωρίτερα. Να σημειωθεί πως διαλέχθηκαν τα πιο ανεπτυγμένα και πιο υγιή φυτά ρίγανης. Κατά την διάρκεια των επόμενων τριών μηνών τα φυτά αναπτύχθηκαν σε εξωτερικό χώρο-πλήρως εκτεθειμένα στο ηλιακό φως. Το πότισμα γινόταν 2 με 3 φορές την εβδομάδα, αναλόγως με τις καιρικές συνθήκες, με στόχο τα φυτά να είναι καλά ποτισμένα και να μην αντιμετωπίζουν πρόβλημα νερού.

Κατά τις τελευταίες δύο εβδομάδες της ανάπτυξης των φυτών, έγιναν οι μετρήσεις χλωροφύλλης και φθορισμού στο υπέργειο τμήμα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την μέτρηση του φθορισμού των φυτών είχε την ιδιαιτερότητα πως έπρεπε για να υπάρχει σωστό αποτέλεσμα να ξεκινήσει πριν την ανατολή του ήλιου, επομένως οι μετρήσεις πάρθηκαν 6:00 έως 7:00 πμ. Όταν πλέον ολοκληρώθηκαν οι μετρήσεις αυτές, κόπηκε το υπέργειο μέρος και το υπόγειο μέρος καθαρίστηκε από τυχόν υπολείμματα εδάφους και ακολούθησε η μέτρηση ξηρής ουσίας στο εργαστήριο. Το πείραμα διήρκησε σχεδόν 3 μήνες μέχρι την τελική συγκομιδή.

## 2.2. Μέθοδοι

**Μέτρηση χλωροφυλλών:** οι μετρήσεις έγιναν με τη βοήθεια του φορητού χλωροφυλλόμετρου SpadPlus 502, της εταιρίας Minolta. Σε κάθε μεταχείριση (Α,Β,Γ,Δ,Ε,ΣΤ) πραγματοποιήθηκαν 18 μετρήσεις συνολικά ανά μέτρηση, συγκεκριμένα 2 επαναλήψεις σε 9 διαφορετικά φυτά, πλην της Β ομάδας στην οποία τα φυτά που μετρήθηκαν ήταν 7 και της Γ και της ΣΤ ομάδας στις οποίες δεν επιβίωσε κανένα φυτό (η επιλογή των φυτών έγινε βάση της υγείας του φυτού). Για την μέτρηση επιλέχθηκαν ενδιάμεσα (3<sup>ο</sup>- 7<sup>ο</sup>) και υγιή φύλλα.



**Μέτρηση φθορισμού της χλωροφύλλης *a in vivo*:** οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το φορητό μηχάνημα HandyPEA+, της εταιρίας Hansatech. Τα δείγματα που μετρήθηκαν ήταν ακριβώς τα ίδια με της μέτρησης των χλωροφυλλών, στις ίδιες μεταχειρίσεις. Για την μέτρηση έπρεπε πρώτα να τοποθετηθούν σε ενδιάμεσα και υγιή φύλλα για 30 λεπτά κλιπάκια (βλ. παραπάνω φωτογραφία), όμως πριν την ανατολή του ηλίου πριν τα φυτά δουν φως.

**Μέτρηση ξηράς ουσίας:** Κατά την λήξη του πειράματος και την τελική συγκομιδή συλλέχθηκαν δείγματα για τη μέτρηση της βιομάζας από τα ζωντανά φυτά του πειράματος. Συγκεκριμένα πάρθηκαν 10 δείγματα από την μεταχείριση Α, 6 από την Β, 10 από την Δ, 8 από την Ε και καθόλου από την Γ και την ΣΤ καθώς σε αυτές δεν επιβίωσαν φυτά. Μετρήθηκε πρώτα το νωπό βάρος του υπέργειου μέρους των φυτών σε ζυγαριά ακριβείας. Έπειτα τα δείγματα έμειναν σε φούρνο στους 80 °C για 3

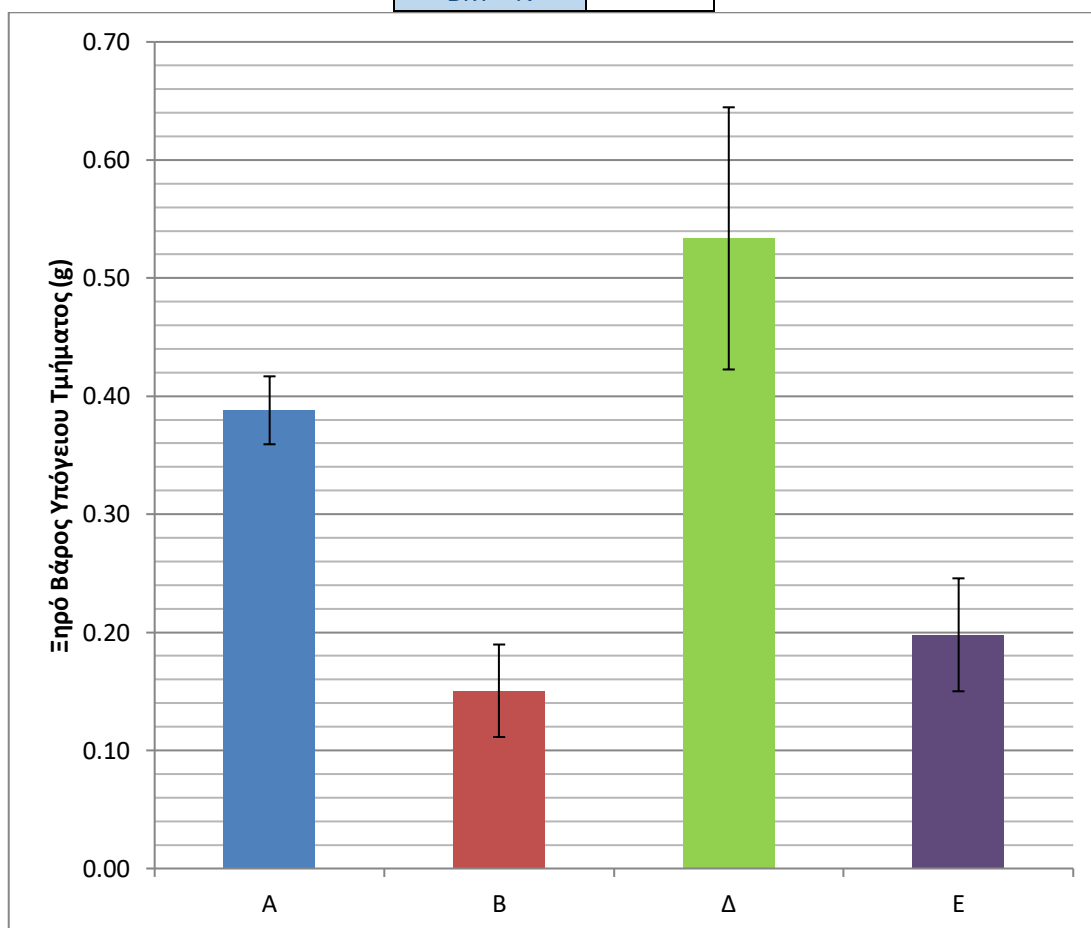
εικοσιτετράωρα. Ακολούθησε η καταγραφή του ξηρού τους βάρους πάλι σε ζυγαριά ακριβείας. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το υπόγειο τμήμα των φυτών.

**Στατιστική ανάλυση:** Όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις κατά την διάρκεια του πειράματος, τόσο στον αγρό όσο και στο εργαστήριο, μετατράπηκαν σε ηλεκτρονική μορφή αφού εισήχθησαν σε φύλλο εργασίας του προγράμματος MicrosoftOfficeExcel. Οι παράγοντες που ελέγχθηκαν στο πείραμα ήταν δύο: επίπεδο βαρέων μετάλλων και λίπανση με επιπλέον άζωτο. Επομένως, η στατιστική ανάλυση των παραπάνω δεδομένων έγινε μεTwo-WayANOVA, με το επίπεδο σημαντικότητας να έχει ορισθεί στο  $p < 0.05$ . Πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμαIBMSPSSStatisticsversion 25.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στις μεταχειρίσεις Γ και ΣΤ τα φυτά άρχισαν να πεθαίνουν μετά την 1<sup>η</sup> εβδομάδα του πειράματος. Καθώς δεν είχε επιβιώσει κανένα όταν άρχισαν οι μετρήσεις των φυσιολογικών παραμέτρων δεν υπάρχουν καταγραφές γιαυτό σε καμία από τις μετρηθείσες παραμέτρους. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα φυτά ρίγανης των μεταχειρίσεων Β και Ε, αλλά και των μεταχειρίσεων Α και Δ που λειτούργησαν ως μάρτυρες.

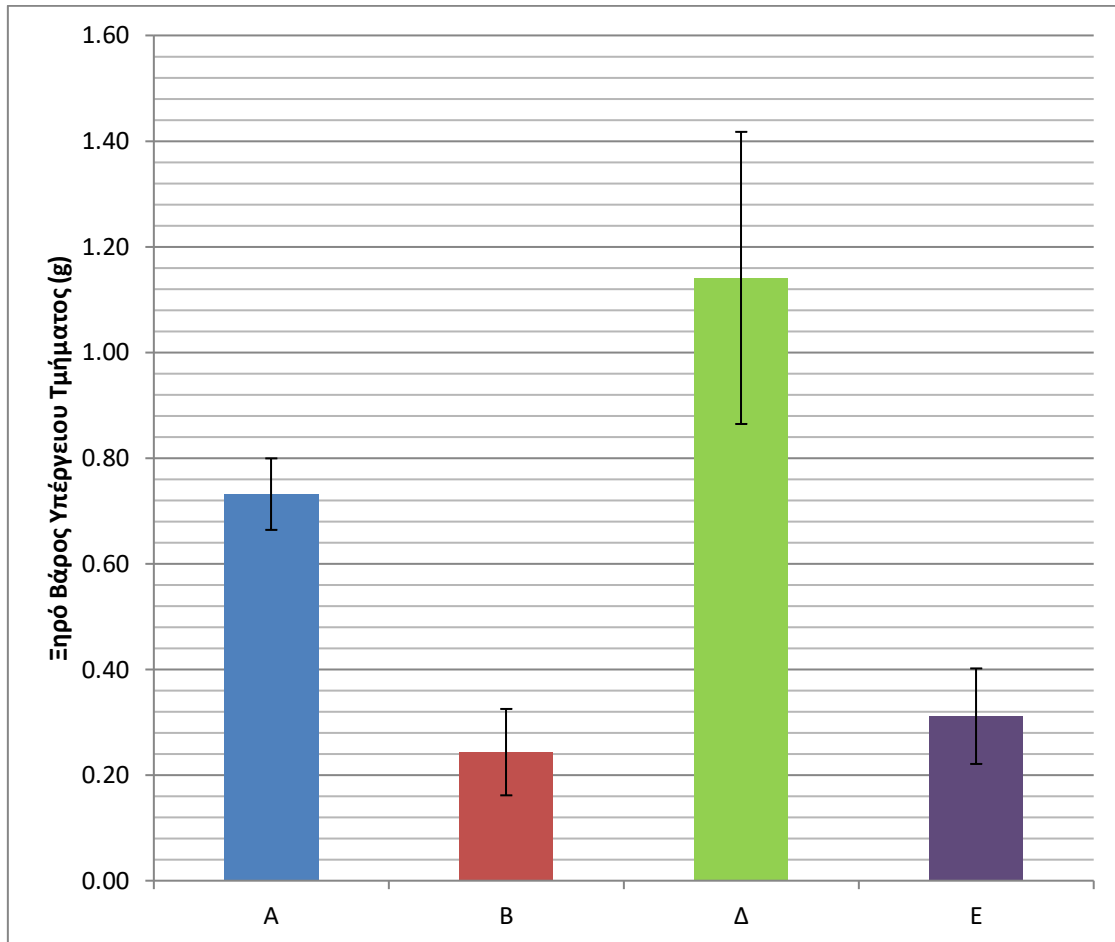
	Sig
BM	*
N	*
BM * N	*



**Γράφημα 1:** Ξηρό βάρος του υπόγειου τμήματος των φυτών της κάθε μεταχείρισης (Μέσος Όρος  $\pm$  SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που οφείλονται σε κάθε ένα πειραματικό παράγοντα αλλά και στην αλληλεπίδραση τους φαίνονται στο υπερκείμενο πίνακάκι και αναφέρονται σε επίπεδο  $p < 0.05$ .

Στο γράφημα 1 παρατηρούμε ότι η παρουσία των βαρέων μετάλλων (BM) προκαλεί στατιστικά σημαντικές μειώσεις στη βιομάζα της ρίζας των φυτών ρίγανης, όπως φαίνεται από τις διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων Α και Δ, που αφορούν μηδενική συγκέντρωση BM, σε σύγκριση με τις Β και Ε που αφορούν παρουσία BM σε συγκεντρώσεις που θεωρούνται αποδεκτές για αγροτικά εδάφη. Ταυτόχρονα η επιπλέον παροχή αζώτου επιδρά θετικά στην ξηρή ουσία της ρίζας όπως φαίνεται από τις στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων που έλαβαν 9 ΛΜΑ (Α, Β) σε σχέση με τις αντίστοιχου φορτίου BM που έλαβαν όμως 99 ΛΜΑ (Β, Δ). Η στατιστική ανάλυση εκτός των παραπάνω διαφορών έδειξε και αλληλεπίδραση των 2 παραγόντων-συγκέντρωσης BM και προσθήκης Ν- στη βιομάζα που συσσωρεύτηκε στις ρίζες της ρίγανης.

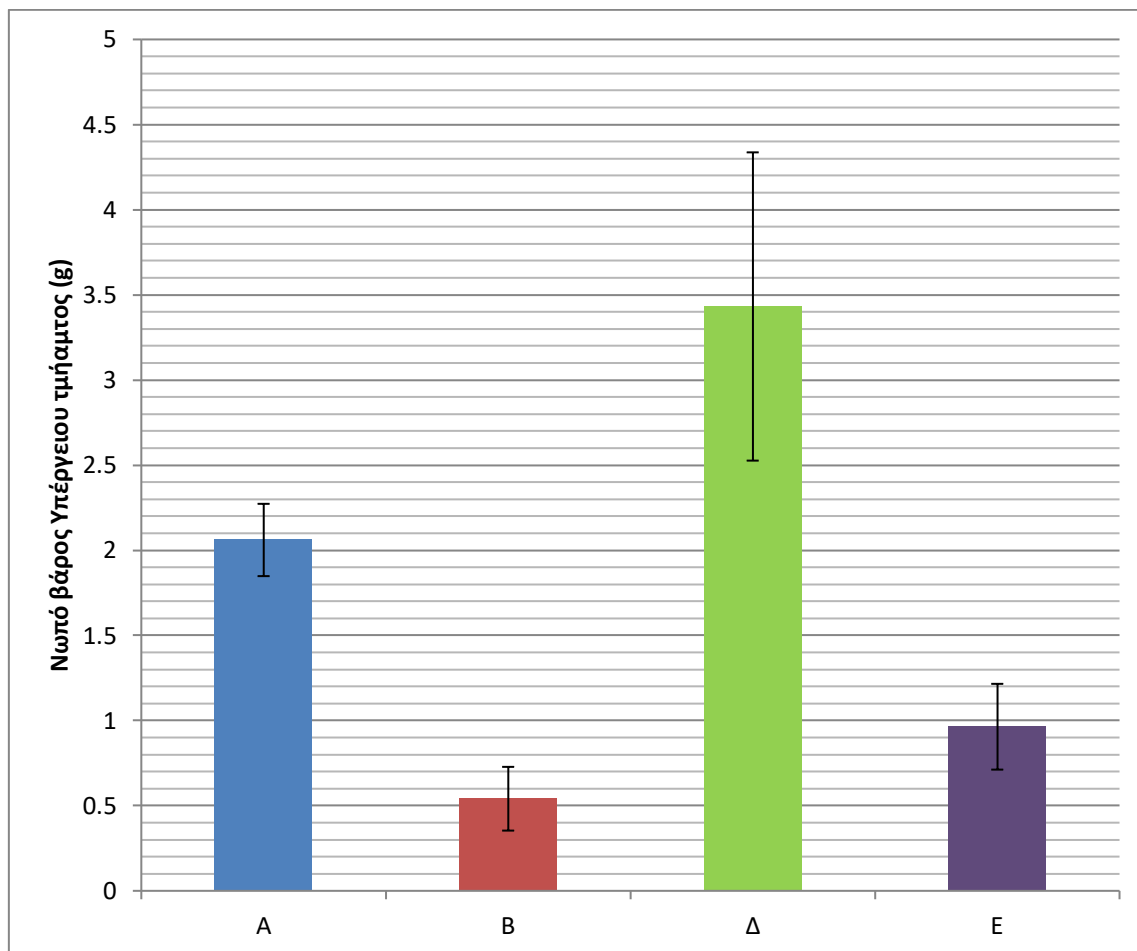
	Sig
BM	*
N	*
BM * N	*



**Γράφημα 2:** Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος των φυτών της κάθε μεταχείρισης (Μέσος Όρος,  $\pm$ SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που οφείλονται σε κάθε ένα πειραματικό παράγοντα αλλά και στην αλληλεπίδραση τους φαίνονται στο υπερκείμενο πινακάκι και αναφέρονται σε επίπεδο  $p < 0.05$ .

Ανάλογη εικόνα με τις διαφορές στη ρίζα καταγράφηκε και στο ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος των φυτών. Η βιομάζα που συσσωρεύτηκε στο υπέργειο τμήμα των φυτών των μεταχειρίσεων B και E ήταν σημαντικά μικρότερο από αυτό των A και Δ, ενώ θετικά επέδρασε και η παροχή επιπλέον αζώτου. Τέλος, στατιστικώς σημαντική ήταν και η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων του πειράματος.

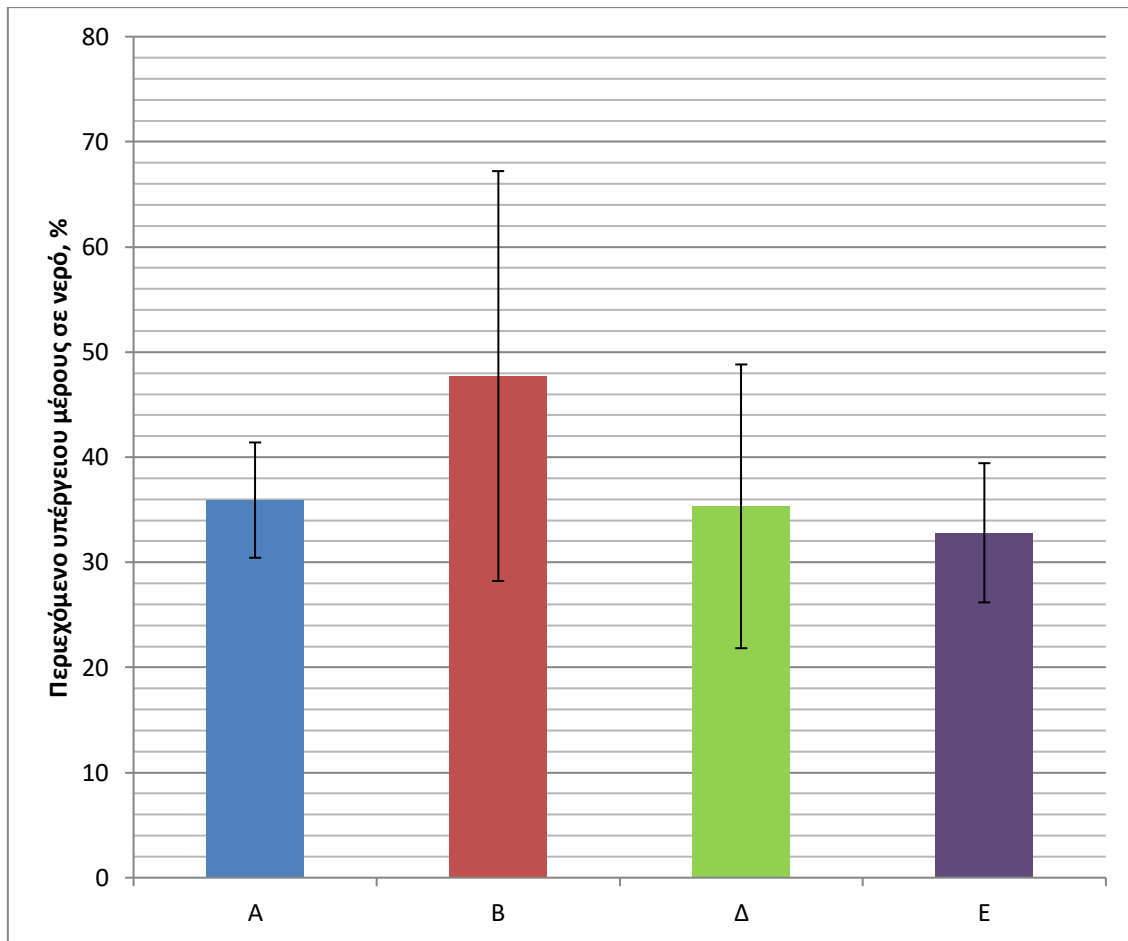
	Sig
BM	*
N	*
BM * N	*



**Γράφημα 3 :** Μέτρηση νωπού βάρους υπέργειου τμήματος των φυτών της κάθε μεταχείρισης (Μέσος Όρος  $\pm$ SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που οφείλονται σε κάθε ένα πειραματικό παράγοντα αλλά και στην αλληλεπίδραση τους φαίνονται στο υπερκείμενο πίνακάκι και αναφέρονται σε επίπεδο  $p < 0.05$ .

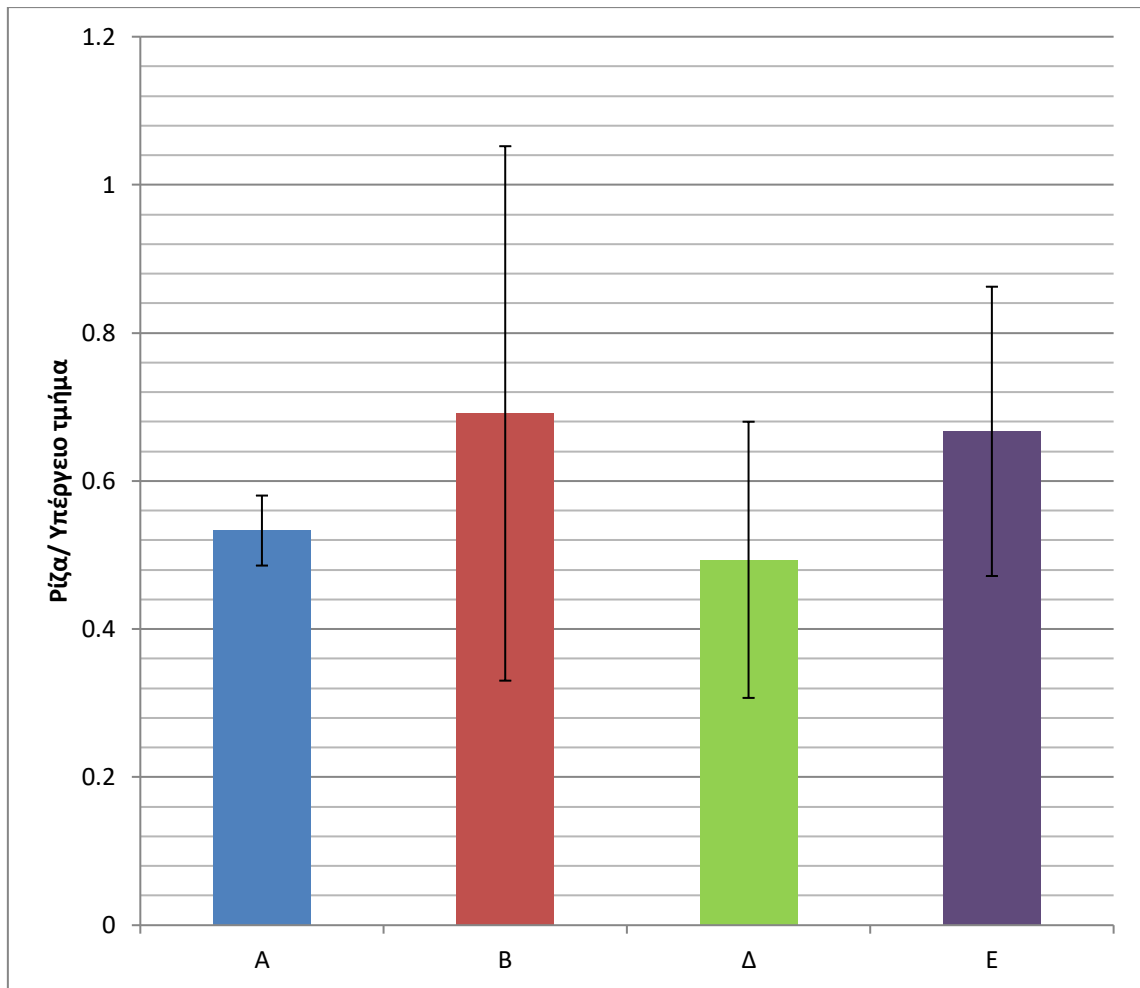
Το νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος των φυτών ακολούθησε το ίδιο πρότυπο με το ξηρό βάρος και παρουσίασε σημαντικά αυξημένες τιμές στα φυτά-μάρτυρες (A και Δ), ενώ όπου υπήρχε παρουσία BM το επιπλέον άζωτο βελτίωσε λίγο την εικόνα της παραγωγής ανά φυτό χωρίς όμως να φτάσει στα επίπεδα των μαρτύρων. Και εδώ υπήρχε στατιστικώς σημαντική αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων του πειράματος.





**Γράφημα 4:** Περιεχόμενο σε νερό το υπέργειου μέρους των, εκφρασμένο ως ποσοστό επί τοις εκατό του νωπού τους βάρους (Μέσος Όρος  $\pm$ SD).

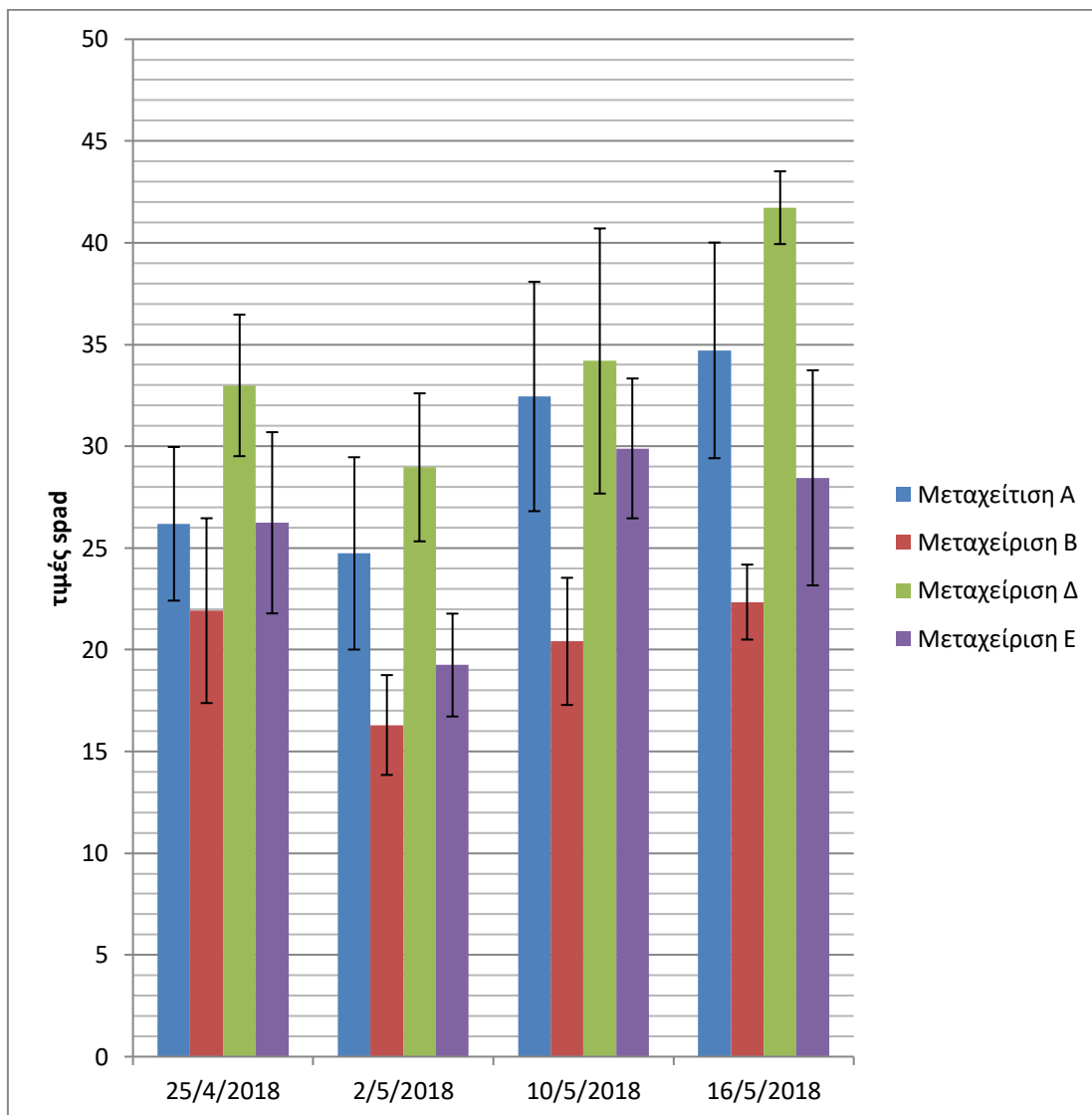
Στο Γράφημα 4 παρουσιάζεται το % περιεχόμενο του υπέργειου μέρους σε νερό. Όπως φάνηκε από την στατιστική ανάλυση, τόσο η παρουσία βαρέων μετάλλων, όσο και η επιπλέον λίπανση με άζωτο δεν επέδρασαν σημαντικά στην παράμετρο αυτή.



**Γράφημα 5:** Ο λόγος της ρίζας προς το υπέργειο τμήμα των φυτών κάθε μεταχείρισης (Μέσος Όρος  $\pm$ SD).

Παρατηρώντας το γράφημα 5, φαίνεται πως οι τιμές των τεσσάρων διαφορετικών μεταχειρίσεων δεν αποκλίνουν μεταξύ τους σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι A και Δ έχουν τις χαμηλότερες τιμές στους μέσους όρους του λόγου ρίζα/υπέργειο τμήμα και πολύ κοντά σε αυτές αλλά λίγο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των υπολοίπων δύο. Ενώ λοιπόν εμφανίζεται μία τάση η παρουσία ΒΜ να προωθεί την αύξηση της ρίζας περισσότερο από του υπέργειου, οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

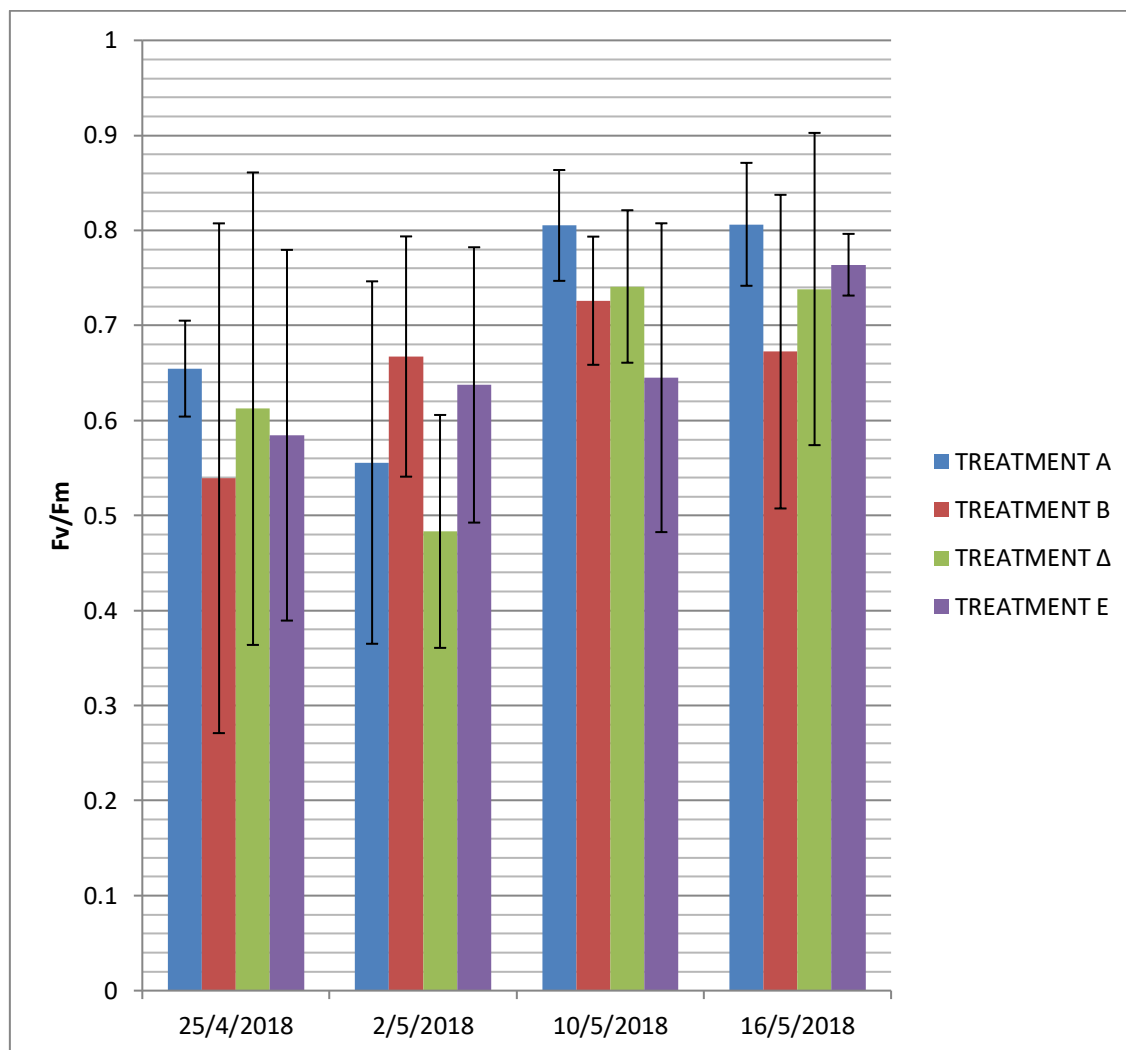
	Sig
BM	*
N	*
BM * N	



**Γράφημα 6:** Συγκεντρωτικό γράφημα των τιμών SPAD στην εκάστοτε μεταχείριση κατά την εξέλιξη του πειράματος (Μέσος Όρος  $\pm$ SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που οφείλονται σε κάθε ένα πειραματικό παράγοντα αλλά και στην αλληλεπίδραση τους φαίνονται στο υπερκείμενο πινακάκι και αναφέρονται σε επίπεδο  $p < 0.05$ .

Παρατηρώντας το γράφημα 6 και βάση των αποτελεσμάτων από την στατιστική ανάλυση προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Καθώς τα φυτά αναπτύσσονταν υπήρχε σε όλες τις μεταχειρίσεις- εκτός της Β- μία αύξηση των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών.
- Στη μεταχείριση Β οι χλωροφύλλες παρέμειναν σε σχετικά σταθερά επίπεδα, με μία μικρή μείωση στις 2/5.
- Οι μάρτυρες (Α και Δ) είχαν τις περισσότερες χλωροφύλλες σε σύγκριση με τα φυτά που έλαβαν ΒΜ.
- Η παρουσία επιπλέον αζώτου βελτίωσε την εικόνα των χλωροφυλλών στα φυτά που λάμβαναν και ΒΜ και μάλιστα στις 10/5 έφτασε να είναι συγκρίσιμη με του αντίστοιχου μάρτυρα (Δ).
- Στατιστικώς σημαντική ήταν η επίδραση των ΒΜ και του επιπλέον αζώτου, αλλά όχι η αλληλεπίδρασή τους.



**Γράφημα 7:** Συγκεντρωτικό γράφημα του λόγου  $F_v/F_m$  του φθορισμού της χλωροφύλλης κάθε μεταχείρισης ανά ημερομηνία καταγραφής (Μέσος Όρος  $\pm$ SD). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που οφείλονται σε κάθε ένα πειραματικό παράγοντα αλλά και στην αλληλεπίδραση τους φαίνονται στο υπερκείμενο πινακάκι και αναφέρονται σε επίπεδο  $p < 0.05$ .

Ο λόγος  $F_v/F_m$  που αποτελεί δείκτη καταπόνησης του φυτού και προέρχεται από τις μετρήσεις του ιννινοφθορισμού της χλωροφύλλης  $a$  παρουσιάζεται στο Γράφημα 7. Εμφάνισε σημαντική ποικιλομορφία σε κάθε ομάδα φυτών και σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο παρόν πείραμα ερευνήθηκε η επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων δύο ανόργανων στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα, του καδμίου και του χρωμίου, στις φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού της ρίγανης (*Origanum vulgare*). Επιπλέον ερευνήθηκε κατά πόσο η παροχή στο φυτό υψηλής συγκέντρωσης αζώτου θα επηρεάσει τις αποκρίσεις του στην καταπόνηση από τα βαρέα μέταλλα. Τα φυτά εκτέθηκαν σε δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις Cd και Cr: η μία παρέπεμπε στα ανώτερα επιτρεπτά όρια για αγροτικά εδάφη (B και E μεταχειρίσεις) και η άλλη σε τριπλάσια συγκέντρωση από αυτή (Γ και ΣΤ). Τα φυτά των μεταχειρίσεων Γ και ΣΤ δεν επιβίωσαν σε ποσοστό 90% αρχικά και στην συνέχεια έως 100%. Αυτό ουσιαστικά δείχνει πως τα όρια αντοχής των φυτών στα συγκεκριμένα βαρέα μέταλλα ξεπεράστηκαν, ακόμα και στην μεταχείριση όπου προστέθηκε αζωτούχος λίπανση. Επίσης, άξιο αναφοράς είναι το γεγονός του θανάτου των μισών σχεδόν φυτών της μεταχείρισης B όταν ξεκίνησαν οι μετρήσεις αλλά και η πολύ καλύτερη κατάσταση στην οποία βρίσκονταν τα φυτά την αντίστοιχης E. Από αυτό το γεγονός φαίνεται πόσο βοήθησε στην ανάπτυξη και την θρέψη των φυτών ρίγανης η λίπανση που εφαρμόστηκε.

Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ξηράς ουσίας των υπόγειων τμημάτων των φυτών ρίγανης δείχνουν την υπεροχή των φυτών των μεταχειρίσεων με αζωτούχο λίπανση σε σχέση με αυτές χωρίς λίπανση. Τα φυτά των μεταχειρίσεων B και E, στα οποία έγινε επιμόλυνση του εδάφους έως το επιτρεπτό όριο των 30ppm φάνηκε να επηρεάζονται από την παρουσία των βαρέων μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα και να παράγουν σημαντικά λιγότερη βιομάζα σε σχέση με τους μάρτυρες. Οι τιμές των φυτών-μαρτύρων είναι σχεδόν τριπλάσιες σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Καταγράφηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων του πειράματος σε όλες τις αναπτυξιακές παραμέτρους που μετρήσαμε. Η παρουσία επιπλέον αζώτου μείωσε τα συμπτώματα καταπόνησης της ανάπτυξης από τα βαρέα μέταλλα. Τα αποτελέσματα συμφωνούν και με αυτά άλλων ερευνών όπως των He et.al.(2011), στην οποία αναφέρεται αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη των ριζών φυτών ρυζιού (*Oryza sativa*) σε μικρές συγκεντρώσεις καδμίου στο εδαφικό διάλυμα και δραματικές έως καταστροφικές επιπτώσεις σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, μειώνοντας το ξηρό βάρος των ριζών. Οι Finger-Teixeira et al.(2010)

σε πείραμα μεσόγια (*Glycinemax*) παρατήρησαν μείωση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος, όταν τα φυτά εκτέθηκαν σε αυξημένο κάδμιο. Τα αποτελέσματα επιπλέον, δεν έρχονται σε αντιδιαστολή ούτε με έρευνες που σχετίζονται με τις επιπτώσεις του χρωμίου σε φυτά όπως αποδεικνύει και η μελέτη των Akinci et.al.(2010), όπου μελετήθηκε η επίδραση της τοξικότητας σε φυτά πεπονιού (*Cucumismelo*) και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η αυξημένη συγκέντρωση χρωμίου στο έδαφος επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξη ριζιδίων με αποτέλεσμα την μείωση της ξηράς ουσίας των φυτών.

Παρόμοια αποτελέσματα είχαμε και στις μετρήσεις ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος με τις αντίστοιχες του υπόγειου τμήματος. Τα φυτά ρίγανης της μεταχείρισης Δ παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές ξηρού βάρους, με μικρή διαφορά από την Α. Πολύ χαμηλότερες τιμές βιομάζας είχαν τα φυτά των μεταχειρίσεων Β και Ε, κάτι που δείχνει την μεγάλη επίδραση των βαρέων μετάλλων στην ανάπτυξη του φυτού. Επομένως, και εδώ εμφανίζεται η εικόνα της καλύτερης επένδυσης σε βιομάζα στα φυτά που έλαβαν επιπλέον άζωτο και βαρέα μέταλλα σε σχέση με τα φυτά που έλαβαν μόνο τα βαρέα μέταλλα. Άλλωστε η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι και εδώ υπήρξε αλληλεπίδραση αζώτου – βαρέων μετάλλων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν συμφωνία με τα αντίστοιχα παρόμοιων ερευνών. Σύμφωνα με τους Finger-Teixeira et al. (2010) η συγκέντρωση καδμίου σε φυτά σόγιας (*Glycinemax*) προκάλεσε μείωση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος των φυτών μέσω της μείωσης του ύψους αυτών. Αντίστοιχες μειώσεις παρουσίασε η βιομάζα σε φυτά αμάραντου (*Amaranthustricolor*) στα οποία συσσωρεύτηκε ποσότητα χρωμίου κατά της ανάπτυξή τους (Varalakshmi and Ganeshamurthy, 2009). Επίσης, σύμφωνα με την έρευνα που διεξήχθη για μελέτη των φυσιολογικών επιπτώσεων του χρωμίου σε φυτά ηλίανθου (*Helianthusannus*), παρατηρήθηκε από τους Fozia et al. (2008), πως οι υψηλές συγκεντρώσεις Cr (60 mg/kg εδάφους) στο εδαφικό διάλυμα ήταν καταστροφικές για τα φυτά, ενώ οι μέτριες συγκεντρώσεις (20 mg/kg εδάφους) επέφεραν μείωση του ξηρού βάρους του υπέργειου τμήματος. Οι τιμές του χρωμίου στο πείραμά μας ήταν της τάξης των 50 ppm για τα φυτά που υπέστησαν μείωση βιομάζας αλλά παρέμειναν ζωντανά, ενώ η συγκέντρωση των 150 ppm αποδείχθηκε θανατηφόρα-πιθανώς λόγω του συνδυασμού της με τα 90 ppm καδμίου.

Παρόμοια αποτελέσματα με τις δύο προηγούμενες μετρήσεις βάρους εμφάνισαν οι μετρήσεις νωπού βάρους του υπέργειου τμήματος των φυτών.

Στατιστικά σημαντικές διαφορές όπως και στις προηγούμενες δύο μετρήσεις, υπήρχαν μεταξύ των μεταχειρίσεων Β και Ε. Οι μεταχειρίσεις οι οποίες υπέστησαν επιμόλυνση με βαρέα μέταλλα εξακολουθούν να δείχνουν μεγάλη μείωση της ανάπτυξης τους σε σχέση με τους μάρτυρες, όμως τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν από αυτά παρόμοιων μελετών. Όπως προκύπτει και από την μελέτη που δημοσιεύθηκε από τους Foziaetal. (2008), το νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος φυτών ηλίανθου (*Helianthus annuus*) μειωνόταν βαθμιαία σε σχέση με την σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης χρωμίου στο εδαφικό διάλυμα, όπως μειωνόταν και το μήκος των ριζών. Ακριβώς ότι συνέβαινε και στα φυτά σόγιας (*Glycine max*), όπου μειωνόταν σταδιακά το νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος και το ύψος των φυτών, όταν αυτά επιμολύνθηκαν με υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, σύμφωνα με τους Finger-Teixeiraetal. (2010).

Οι μετρήσεις της χλωροφύλλης των φύλλων και του φθορισμού της χλωροφύλλης των φυτών δίνουν μία καλή εικόνα της φυσιολογικής κατάστασης των φυτών. Πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερις διαφορετικές ημερομηνίες κατά τον 2<sup>ο</sup> μήνα του πειράματος, όταν δηλαδή η ρίγανη είχε αναπτυχθεί αρκετά στο συγκεκριμένο ρυπασμένο έδαφος. Αρχικά, όσον αφορά τις μετρήσεις της χλωροφύλλης των φύλλων, οι μεταχειρίσεις Α και Δ είχαν τους υψηλότερους μέσους όρους όπως αναμενόταν. Σε όλα τα φυτά, εκτός αυτών της Β μεταχείρισης, καθώς προχωρούσε η ανάπτυξή τους υπήρχε μία αύξηση των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών. Αντίθετα, στη μεταχείριση Β οι χλωροφύλλες παρέμειναν σε σχετικά σταθερά επίπεδα. Η παρουσία επιπλέον αζώτου βελτίωσε την εικόνα των χλωροφυλλών στα φυτά που λάμβαναν και κάδμιο και χρώμιο στα επιτρεπτά όρια. Ενώ η επίδραση των ΒΜ και του επιπλέον αζώτου ήταν στατιστικώς σημαντικές, η αλληλεπίδρασή τους δεν ήταν. Οι Chenetal. (2010) σε πείραμα που διεξήχθη σε φυτά ρυζιού (*Oryza sativa*) μετά από επιμόλυνση των φυτών με χρώμιο παρατήρησαν δραματική μείωση στην περιεχόμενη στα φυτά χλωροφύλλη και συγκεκριμένα όπως αναφέρεται περισσότερο στα αρχικά στάδια παρά στα μετέπειτα. Αυτό το γεγονός εξηγεί εν μέρει τον τρόπο άμυνας των φυτών. Γενικά, η βιοσύνθεση της χλωροφύλλης αλλά και η αποδοτικότητα της επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ανόργανων στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα και ειδικότερα υψηλών συγκεντρώσεων τοξικών βαρέων μετάλλων. Σε αυτήν την παρατήρηση οδηγήθηκαν και οι Lietal. (2010), όταν πρόσθεσαν σε φυτά *Lemnaminor* ποσότητα καδμίου και βρήκαν πως η ποσότητα χλωροφυλλών μειωνόταν στα φύλλα όσο αυξανόταν η συγκέντρωση καδμίου στο εδαφικό διάλυμα. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων



σχετικά με τον φθορισμό της χλωροφύλλης, που αποδίδεται μέσω του δείκτη καταπόνησης Fv/Fm. Φαίνεται ότι η καταπόνηση των φυτών της ρίγανης ήταν μεγαλύτερη στις αρχικές μετρήσεις και σταδιακά ο δείκτης άρχισε να αποκτάει μεγαλύτερες τιμές. Όμως, οι διακυμάνσεις των μετρήσεων στα φυτά της ίδια μεταχείρισης είναι αρκετά μεγάλες γιατί και δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλές συμπέρασμα για το πώς αποτυπώθηκε η καταπόνηση. Είναι φανερό πως οι τοξικές επιδράσεις των βαρέων μετάλλων μετριάστηκαν με την χρήση αζωτούχας λίπανσης, όπως συνέβη και με τις χλωροφύλλες. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν και με αυτά παρόμοιων ερευνών όπως εξηγούν και οι Alyemeni et.al. (2010) στο πείραμα τους με φυτά τομάτας (*Solanum lycopersicum*), όπου η παρουσία καδμίου επηρέασε αρνητικά τον φθορισμό της χλωροφύλλης σε σχέση με τους μάρτυρες του πειράματος. Σε μία μελέτη των Chen et.al. (2018) αναζητήθηκε μεταξύ τεσσάρων διαφορετικών μορφών χρωμίου, ποια θα είχε τις πιο δυσμενείς επιδράσεις σε διάφορα ανώτερα φυτά. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν όσον αφορά τις μορφολογικές και φυσιολογικές επιδράσεις στα φυτά, ήταν ότι τις θεαματικότερες αρνητικές αλλαγές τις προκάλεσε το χρώμιο στη μορφή  $K_2Cr_2O_7$  και συγκεκριμένα στη μείωση την σύνθεσης χλωροφύλλης στα φύλλα, προκαλώντας παραγωγή ROS και θάνατο των κυττάρων.

Σε ότι αφορά το περιεχόμενο του υπέργειου μέρους του φυτού σε νερό, εκφρασμένο ως επί τοις εκατό ποσοστό του νερού βάρους φάνηκε ότι δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τους δύο παράγοντες του πειράματος. Όλα τα φυτά ανεξάρτητα από το εάν έλαβαν ή όχι επιπλέον άζωτο ή/και βαρέα μέταλλα διατήρησαν ένα σταθερό ποσοστό της τάξης του 60-67% σε περιεχόμενο νερό. Το ποσοστό είναι μειωμένο ε σχέση με άλλα φυτά λόγω της ανατομίας της ρίγανης και του γεγονότος ότι οι τιμές περιλαμβάνουν και τον βλαστό, εκτός από το φύλλωμα.

Ο λόγος ξηρού βάρους ρίζας προς το αντίστοιχο του υπέργειου αποδεικνύει ότι τα φυτά ρίγανης που υπέστησαν επιρύπανση με τα τοξικά μέταλλα, επηρεάστηκαν περισσότερο στο υπέργειο τμήμα σε σχέση με τους μάρτυρες, καθώς οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων B και E είναι οι δύο υψηλότεροι. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντιδιαστολή με αυτά παρόμοιων ερευνών, καθώς οι Varalakshmi και Ganeshamurthy (2009) και οι Alyemeni et.al. (2010) παρατήρησαν μείωση στον λόγο ξηρού βάρους υπόγειου προς υπέργειου, των υπό μελέτη φυτών τους με επιρύπανση χρωμίου και καδμίου αντίστοιχα

## 5.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι συγκεντρώσεις Cd 90ppm και Cr 150ppm, δηλαδή οι τριπλάσιες από τα επιτρεπόμενα όρια για αγροτικά εδάφη, ήταν θανατηφόρες για τα φυτά της ρίγανης.
- Η επίδραση του Cd και του Cr σε συγκεντρώσεις που βρίσκονται στο ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα αγροτικά εδάφη στην ανάπτυξη του φυτού ήταν πολύ σημαντική. Οδήγησε σε μείωση όλων των αναπτυξιακών παραμέτρων που μετρήθηκαν και συγκεκριμένα της υπόγειας και υπέργειας βιομάζας καθώς και του νωπού βάρους του υπέργειου μέρους.
- Η παρουσία επιπλέον αζώτου φαίνεται να μετρίασε τις αρνητικές επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων, αλλά όχι σε πολύ μεγάλο βαθμό.
- Ο δείκτης καταπόνησης  $F_v/F_m$  που προήλθε από τις μετρήσεις του φθορισμού δεν εμφάνισε σαφή τάση, αλλά αντίθετα μεγάλη ποικιλομορφία.
- Οι συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών ήταν υψηλότερες στις ομάδες που λάμβαναν άζωτο, όπως ήταν αναμενόμενο, ενώ η προσθήκη αζώτου βελτίωσε το περιεχόμενο σε χλωροφύλλες παρουσία βαρέων μετάλλων.
- Τα αποτελέσματα του πειράματος υποδεικνύουν πως υπάρχει ένα κρίσιμο σημείο στην συγκέντρωση των συγκεκριμένων μετάλλων που μπορούν να διαχειριστούν τα φυτά ρίγανης και αυτή η συγκέντρωση είναι κοντά στα 30ppmCd σε συνδυασμό με 50ppmCr. Τέτοιου μεγέθους συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε φυσιολογικές και αναπτυξιακές παραμέτρους των φυτών, αλλά είναι βιώσιμη.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Akinci E., Akinci S., 2010. Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.). *African Journal. of Biotechnology*, 29: 4589-4594.

Alyemeni M.N., Ahanger M.A., Wijaya L., Alam P., Bhardwaj R., Ahmad P., 2018. Selenium mitigates cadmium-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modulating chlorophyll fluorescence, osmolyte accumulation and antioxidant system. *Protoplasma*, 2: 459-469.

Antoniadis V., Zanni A., Levizou E., Shaheen S.M., Dimirkou A., Bolan N., Rinklebe., 2018. Modulation of hexavalent chromium toxicity on *Origanum vulgare* in an acidic soil amended with peat, lime and zeolite. *Chemosphere*, 195: 291-300.

Chen G., Yang J., Li H., Luo S., 2010. Effect of the combined pollution of perchlorate and hexavalent chromium on physiological characteristics of rice. *ShengtaiXuebao/ ActaEcologicaSinica*, 15:4144-4153.

Chen Y.E., Mao H.T., Ma J., Wu N., Zhang C.-M., Su Y.Q., Zhang Z.W., Yuan M., Zhang H.Y., Zeng X.Y., Yuan S., 2018. Biomonitoring chromium III or VI soluble pollution by moss chlorophyll fluorescence. *Chemosphere*, 220-228.

Davies F.T., Puryear J.D., Newton R.J., Egilla J.N., SaraivaGrossi J.A., 2002. Mycorrhizal fungi increase chromium uptake by sunflower plants: influence on tissue mineral concentration, growth and gas exchange. *Journal. of Plant Nutrition*, 11: 2389-2407.

Dinakar N., Nagajyothi P.C., Suresh S., Damodharam T., Suresh C., 2019. Cadmium induced changes on proline, antioxidant enzymes, nitrate and nitrite reductases in *Arachis hypogaea* L. . *J. Environ Biol.*, 30: 289-294.

FAO/WHO Joint Food Contamination Monitoring Programme, 1986. Global Environment Monitoring Programme. Report of the Fourth Session of the Technical Advisory Committee, Geneva, 9-13 September 1985. WHO/EHE/FOS/86.4.

Finger-Teixeira A., Lucio Ferrarese M.D.L., Ricardo Soares A., da Silva D., Ferrarese-Filho Osvaldo O., 2010. Cadmium-induced lignifications restrict soybean root growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 8:1959-1964.

Fozia A., Muhammad A.Z., Muhammad A., Zafar M.K., 2008. Effect of chromium on growth attributes in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Environmental Sciences*, 12: 1475-1480.

He J., Ren Y., Wang Y., Li Z., 2011. Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 2: 522-528.

Jarup Lars, 2003. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68: 167-182

Kumar A., Gahoi P., Verma N., 2020. Simultaneous scavenging of Cr (VI) from soil and facilitation of nutrient uptake in plant using a mixture of carbon microfibers and nanofibers. *Chemosphere*, 239: 124760.

Lin L., Zhou W., Dai H., Cao F., Zhang G., Wu F., 2012. Selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. *Journal of Hazardous Materials*, 236: 343-351.

Li L., Yuan L., Song L., Gu Y., 2010. Effect of cadmium stress on chlorophyll fluorescence parameters of *Lemna minor L.* *Huanjing Kexue Xuebao/ Acta Scientiae Circumstantiae*, 5:1062-1068.

Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M., 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ Chen Lett*, 8: 199-216.

Nichols P.B., Couch J.D., Al-Hamdani S.H., 2000. Selected physiological responses of *Salvinia minima* to different chromium concentrations. *Aquatic Botany*, 4:313-319.

Nriagu O.J., 1988. A silent epidemic of environmental metal poisoning. *Environmental Pollution*, 50: 139-161.

Pinkowski J., 2019. Ancient advanced weapon technology theory debunked by new research. <https://www.national.geographic.com/culture/2019/04/ancient-terracotta-warrior-chrome-weapon-theory-debunked/>

Rachel R., 2018. Facts About Cadmium. <https://www.livescience.com/37044-cadmium.html> .

Salt D.E., Blaylock M., Kurnar N., Dushenkov V., Ensley B., Chet I., Raskin I., 1995. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13: 468-474

Sapara K.K., Khedia J., Agarwal. P., Gangapur D.R., Agarwal. P.K., 2019. SbMYB15 transcription factor mitigates cadmium and nickel stress in transgenic tobacco by limiting uptake and modulating antioxidant defence system. *Functional. Plant Biology*, 8: 702-714.

Shafiee-Hajiabad M., Hardt M., Honermeier B., 2014. Comparative investigation about the trichome morphology of Common oregano (*Origanum vulgare* L subsp *vulgare*) and Greek oregano (*Origanum vulgare* L subsp *hirtum*). *Journal of Applied Research on Medical. and Aromatic Plants*. 1:50-58.

Shahid M, Shamshad S, Rafiq M, et al. (2017). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere* 178:513–533.

Shanker A.K., Cervantes C. Loza-Tavera H. Avudainayagam S.,2005. Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31: 739-753.

Stefanaki A., Cook C., Lanaras T., Kokkini S., 2016. The Oregano plants of Chios Island (Greece): Essential oils of *Origanum onites* L. growing wild in different habitats. *Industrial Crops and Products*, 82: 107-113.

Sueker K.J., 1964. 5-Chromium. *Environmental Forensics*, 5: 81-95

Tang J., Zhang L., Zhang J., Ren L., Zhou Y., Zheng Y., Luo L., Yang Y., Huang H., Chen A.,2020. Physiochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. *Science of the Total Environment*, 701:134751..

Tang X., Pang Y., Ji P., Gao P., Nguyen T., H., Tong Y., 2016. Cadmium uptake in above-ground parts of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 125: 102-106.

Upadhyay R.G., Brhan, Saleh K., Upadhyay R.K., 2008. Response of cadmium on germination, seedling growth behavior and chlorophyll content of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Research on Crops*, 2: 500-5001

Varalakshmi L.R., Ganeshamurthy A.N., 2009. Effect of cadmium on plant biomass and cadmium accumulation in amaranthus (*Amaranthus tricolor*) cultivars. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 11:861-864.

Wani B.N., Khan S.M., Qari H., Oves M., 2007. Chromium reduction, plant growth-promoting potentials and metal solubilization by *Bacillus* sp. Isolated from Aluvial soil. *Current Microbiology*, 54: 237-243.

Yadav M., 2013. Chlorophyll content of gram (*Cicer Arietinum L.*) under cadmium and mercury treatments. *International Journal of Chemical Sciences*, 3: 1486-1492.

Yang F., Azizi A., Janke S., Schwarz M., Zeller S., 2016. Antioxidant capacity variation in the oregano (*Origanum vulgare L.*) collection of the German National Genebank. *Industrial Crops and Products*, 92: 19-25.

Yu F., Liu K., Li M., Zhou Z., Deng H., Chen B., 2013. Effects of cadmium on enzymatic and non-enzymatic antioxidant defences of rice (*Oryza sativa L.*) *Int. J. Phytoremediation*, 15, pp. 513-521.

Zhang H., Reynolds M., 2019. Cadmium exposure in living organisms: A short review. *Science of the Total Environment*, 678: 761-767.

Καραμπουρνιώτης, Γ., Λιακόπουλος Γ., Νικολόπουλος Δ. 2012. Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών. Εκδ. Έμβρυο.