



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ &
ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΘΕΜΑ: «ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΖΩΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΩΣ
ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΤΩΝ»**

**ΧΡΗΣΤΟΣ ΓΚΕΡΤΣΟΣ
Α.Μ: 16005**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία με θέμα «αξιοποίηση ζωικών υπολειμμάτων ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη φυτών» εκπονήθηκε στο θερμοκήπιο του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης καθώς και στο εργαστήριο του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών με τίτλο «Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας και Οργάνωσης Παραγωγής στη Βιομηχανία Τροφίμων».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου κ. Σαμαρά Πέτρο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, τον κ. Παπαστεργιάδη Ευθύμιο για την πολύτιμη καθοδήγηση του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και τον κ. Πετρίδη Δημήτριο για την καθοδήγηση του στη στατιστική ανάλυση για την επεξεργασία των μετρήσεων και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε η ανάπτυξη φυτών ρόκας *Eruca sativa* L. σε διαφορετικά υποστρώματα με προσθήκη βιοεξανθρακώματος σε διαφορετικές αναλογίες. Τα 3 υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι: (Εδαφος), (Τύρφη & περλίτης), (Biosolids & άμμος).

Το βιοεξανθράκωμα που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα παραπροϊόν επεξεργασίας γουνοφόρων ζώων το οποίο προέκυψε από καύση σε πυρολυτικό κλίβανο σε ανοξικό περιβάλλον με θερμοκρασία καύσης 750 – 800 °C και είναι 2 ειδών. Το ένα είδος (μαύρου χρώματος) αδρανοποιήθηκε στον ανοξικό πυροκλίβανο για 1 ώρα και το άλλο (λευκού χρώματος) αδρανοποιήθηκε στον ανοξικό πυροκλίβανο για 12 ώρες.

Έτσι, σε κάθε υπόστρωμα (Εδαφος, τύρφη & περλίτης, biosolids & άμμος) έχουμε τρία διαφορετικά επίπεδα προσθήκης βιοεξανθρακώματος (1:10, 1:2, μάρτυρας) για κάθε είδος βιοεξανθρακώματος (Λευκό και μαύρο).

Κατα τη διάρκεια του πειράματος αξιολογήθηκαν η φυτρωτική ικανότητα, το ύψος του υπέργειου τμήματος, το πλάτος των φύλλων των φυτών, η μελέτη της επίδρασης του βιοεξανθρακώματος ως μίγμα με άλλα πληρωτικά υλικά.

Η συγκομηδή των φυτών ρόκας ακολουθείται από τον διαχωρισμό τους σε υπέργειο και υπόγειο φυτικό ιστό, όπου με τη διαδικασία της πέψης δημιουργούνται τα αντίστοιχα διαλύματα (ή δείγματα). Τέλος, προσδιορίζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, τα μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά και στις δυο κατηγορίες ιστών (υπέργειο και υπόγειο) για την αξιολόγηση της κινητικότητας των συστατικών και κυρίως των βαρέων μετάλλων από τον υπόγειο στον υπέργειο φυτικό ιστό. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος - οπτική φασματομετρία εκπομπής (ICP-OES).

Από την στατιστική ανάλυση διαπιστώθηκε ότι για να επιτευχθεί το μεγαλύτερο ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών καθώς και το μεγαλύτερο πλάτος φύλλων των φυτών ρόκας η καταλληλότερη μεταχείριση είναι: Λευκό βιοεξανθράκωμα : τύρφη & περλίτης (1:10). Η μεταχείριση λευκό βιοεξανθράκωμα : τύρφη & περλίτης (1:2) έχει αρνητική επίδραση στο ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών και το πλάτος των φύλλων τους. Ο μεγαλύτερος αριθμός φυτών ρόκας εμφανίζεται στο

επίπεδο λευκού βιοεξανθρακώματος : τύρφη & περλίτη (1:10) και στο επίπεδο απουσία βιοεξανθρακώματος (μάρτυρας), τα οποία είναι ισότιμα.

Τέλος, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις των μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών στοιχείων καθώς και των βαρέων μετάλλων ανάμεσα στο υπέργειο και υπόγειο φυτικό ιστό των φυτών ρόκας. Το μόνο συστατικό το οποίο έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση στον υπέργειο απ' ότι στον υπόγειο φυτικό ιστό είναι το Mg ($p\text{-value} = 0,030 < 0,05$).

Abstract

In the present work, the growth of *Eruca sativa* L. (rocket plant) on different substrates by addition of biochar in different proportions was studied. The 3 substrates that used are: (soil), (peat & perlite), (biosolids & sand).

The biochar that used in this study, is an animal by-product of fur processing which resulted from combustion in a pyrolytic furnace in an anoxic environment with a combustion temperature of 750 - 800 °C and is of 2 species. One species (black) was inactivated in the anoxic furnace for 1 hour and the other (white) inactivated in the anoxic furnace for 12 hours.

Thus, on each substrate (Soil, peat & perlite, biosolids & sand) there are three different levels of biochar addition (1:10, 1:2, control) for each biochar species (White and Black).

During the experiment, the germination capacity, the height of the above-ground section, the leaf width of the plants, the study of the effect of biochar as a mixture with other fillers were evaluated.

The crop of rocket plants is followed by their separation into above ground and underground plant tissue, where the digestion process produces the corresponding solutions (or samples). Finally, the concentrations of heavy metals, macronutrients and micronutrients in both tissue categories (aboveground and underground) are determined to evaluate the mobility of the constituents and especially the heavy metals from the basement to the underground plant tissue. Measurements were performed using inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES).

From the statistical analysis it was found that in order to achieve the highest height of the above ground part of the plants as well as the largest leaf width of the rocket plants the most appropriate treatment is: White biochar : peat & perlite (1:10). Treating with white biochar : peat & perlite (1:2) has a negative effect on the height of the plants and the width of their leaves. The largest number of rocket plants occurs at the level of white biochar : peat & perlite (1:10) and the level of non-biochar application (control), which are equivalent.

Finally, no statistically significant differences were observed in concentrations of macronutrients and micronutrients as well as heavy metals between the underground and underground plant tissue of rocket plants. The only ingredient that is higher in the above ground than in the underground plant tissue is Mg (p-value = 0.030 <0.05).

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	7
Ευρετήριο πινάκων.....	9
Ευρετήριο σχημάτων.....	11
Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 1. Θεωρητικό μέρος.....	14
1.1. Βιοεξανθράκωμα(Biochar).....	14
1.2. Παραγωγή βιοεξανθρακώματος.....	14
1.3. Ιδιότητες και χρήσεις του βιοεξανθρακώματος.....	15
1.3.1. Κατακράτηση νερού.....	15
1.3.2. Βελτιωτικό εδάφους.....	15
1.3.3. Τεχνικές αύξησης της απόδοσης των καλλιεργειών.....	16
1.3.4. Αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος.....	17
1.3.5. Άμεσα και έμμεσα οφέλη από τη χρήση βιοεξανθρακώματος.....	18
1.4.Υποστρώματα.....	18
1.4.1. Κοκκομετρική σύσταση και δομή του εδάφους.....	18
1.4.2. Έδαφος.....	19
1.4.3. Τύποι εδάφους.....	19
1.4.4. Περλίτης.....	22
1.4.5. Τύρφη.....	22
1.4.6. Biosolids.....	23
1.4.7. Οργανική ύλη και χούμος.....	24
1.5. <i>Eruca sativa</i> (κν. Ρόκα).....	25
1.5.1. Βοτανική ταξινόμηση.....	25
1.5.2. Ιστορικό – καταγωγή – εξάπλωση.....	26
1.5.3. Χρήσεις και ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	26
1.5.4. Απαιτήσεις.....	27
Κεφάλαιο 2. Πειραματικός σχεδιασμός.....	29
2.1. Υλικά και μέθοδοι.....	31

2.1.1. Προετοιμασία του πειράματος.....	31
2.1.2. Εγκατάσταση του πειράματος.....	34
2.1.3. Μεταφύτευση των φυτών.....	35
2.1.4. Συγκομηδή των φυτών.....	38
2.1.5. Προετοιμασία των δειγμάτων.....	38
2.2. Μέθοδος πέψης.....	40
2.2.1. Εξοπλισμός.....	40
2.2.2. Αντιδραστήρια.....	40
2.2.3. Διαδικασία πέψης.....	40
2.3. Προσδιορισμός συγκεντρώσεων των στοιχείων με ICP – OES.....	40
Κεφάλαιο 3. Στατιστική ανάλυση – Αποτελέσματα.....	42
3.1. Αποτελέσματα ανάπτυξης των φυτών ρόκας.....	43
3.1.1. Φυτρωτική ικανότητα - Αριθμός των φυτών ρόκας (N).....	43
3.1.2. Ύψος υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.....	46
3.1.3. Πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.....	50
3.2. Αποτελέσματα ανάπτυξης των φυτών ρόκας από τη μεταφύτευση έως τη συγκομηδή.....	55
3.2.1. Αριθμός φυτών ρόκας (N).....	55
3.2.2. Ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.....	57
3.2.3. Πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.....	61
3.3. Προσδιορισμός συγκεντρώσεων στους φυτικούς ιστούς των φυτών ρόκας.....	64
Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα.....	68
Βιβλιογραφία.....	72
Παράρτημα Α.....	78
Παράρτημα Β.....	88
Παράρτημα Γ.....	113

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1.1. Βοτανική ταξινόμηση <i>Eruca Sativa</i>	25
Πίνακας 2.1. Αποτελέσματα στοιχειακής ανάλυσης EDS.....	31
Πίνακας 2.2. Συνδυασμένα επίπεδα (μεταχειρίσεις) έπειτα από μίξη των υλικών....	33
Πίνακας 2.3. Συνθήκες υδρονέφωσης στις οποίες τοποθετήθηκαν τα φυτά ρόκας....	34
Πίνακας 2.4. Αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης του εδάφους.....	37
Πίνακας 2.5. Πρόγραμμα θέρμανσης δειγμάτων.....	40
Πίνακας 2.6. Ποσότητα δείγματος φυτικού ιστού που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	41
Πίνακας 2.7. Μήκη κύματος για μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά και για βαρέα μέταλλα.....	41
Πίνακας 3.1. Πειραματικός σχεδιασμός σε μορφή πίνακα.....	43
Πίνακας 3.2. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και αριθμός των φυτών ρόκας (N)....	43
Πίνακας 3.3. Ανάλυση διακύμανσης για τον αριθμό των φυτών ρόκας (N).....	44
Πίνακας 3.4. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας (N).....	45
Πίνακας 3.5. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για τον αριθμό των φυτών (N).....	46
Πίνακας 3.6. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας (N).....	46
Πίνακας 3.7. Ανάλυση διακύμανσης για ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.....	47
Πίνακας 3.8. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.....	48
Πίνακας 3.9. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.....	49
Πίνακας 3.10. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.....	49
Πίνακας 3.11. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.....	50
Πίνακας 3.12. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.....	50

Πίνακας 3.13. Ανάλυση διακύμανσης για το πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.....	51
Πίνακας 3.14. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.....	52
Πίνακας 3.15. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.....	53
Πίνακας 3.16. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.....	52
Πίνακας 3.17. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.....	53
Πίνακας 3.18. Σχέδιο του πειράματος σε μορφή πίνακα.....	55
Πίνακας 3.19. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και αριθμός των φυτών ρόκας (N).....	55
Πίνακας 3.20. Ανάλυση διακύμανσης για τον αριθμό των φυτών ρόκας (N).....	56
Πίνακας 3.21. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας.....	57
Πίνακας 3.22. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.....	57
Πίνακας 3.23. Ανάλυση διακύμανσης για τον αριθμό των φυτών ρόκας (N).....	58
Πίνακας 3.24. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας.....	59
Πίνακας 3.25. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για τον αριθμό των φυτών ρόκας.....	59
Πίνακας 3.26. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και πλάτος των φύλλων των φυτών.....	61
Πίνακας 3.27. Ανάλυση διακύμανσης για πλάτος των φύλλων των φυτών.....	61
Πίνακας 3.28. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας.....	62
Πίνακας 3.29. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για τον αριθμό των φυτών ρόκας.....	63
Πίνακας 3.30. Σχέδιο του πειράματος σε μορφή πίνακα.....	64
Πίνακας 3.31. Παράγοντες και τα επίπεδα τους για το μακροθρεπτικό στοιχείο Mg.....	65
Πίνακας 3.32. Ανάλυση διακύμανσης για το μακροθρεπτικό στοιχείο Mg.....	65
Πίνακας 3.33. Αποτελέσματα τιμών p-value των μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων.....	67 & 71
Πίνακας 4.1. Μεταχειρίσεις του πειράματος αρχικά και στη συγκομηδή.....	70

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 2.1. Κάτοψη πειραματικού σχεδιασμού.....	30
Σχήμα 2.2. Κάτοψη πειραματικού σχεδιασμού (μετά τη μεταφύτευση).....	36
Σχήμα 3.1. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για τον αριθμό (N) των φυτών ρόκας.....	45
Σχήμα 3.2. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.....	48
Σχήμα 3.3. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.....	52
Σχέδιο 3.4. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για τον αριθμό των φυτών ρόκας.....	56
Σχήμα 3.5. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.....	58
Σχήμα 3.6. Διάγραμμα αλληλεπιδράσεων α' τάξης (Χρόνος * επίπεδο βιοεξανθρακώματος) για το ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.....	60
Σχήμα 3.7. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.....	62
Σχήμα 3.8. Διάγραμμα αλληλεπιδράσεων α' τάξης (Χρόνος * επίπεδο βιοεξανθρακώματος) για το πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.....	63
Σχήμα 3.9. Διάγραμμα κυρίων δράσεων της συγκέντρωσης του μακροστοιχείου Mg στα δυο επίπεδα φυτικού ιστού (υπέργειο και υπόγειο).....	66

Εισαγωγή

Τα βαρέα μέταλλα είναι ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους της δημόσιας υγείας, καθώς και της χλωρίδας και της πανίδας. Η διάθεση βαρέων μετάλλων άμεσα ή έμμεσα στο έδαφος και στον υδροφόρο ορίζοντα αποτελεί ένα μείζων περιβαλλοντικό κίνδυνο, διότι σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικά και δεν εκφυλίζονται. Τα τελευταία χρόνια είναι μεγάλο το ενδιαφέρον που αφορά την ακινητοποίηση των βαρέων μετάλλων με τη χρήση βιοεξανθρακωμάτων στο έδαφος.

Το βιοεξανθράκωμα (biochar) είναι ένα στερεό παραποϊόν που προκύπτει από τη διαδικασία της πυρόλυσης και έχει ποικίλες εφαρμογές. Μια από αυτές είναι η εφαρμογή του στο έδαφος, η οποία παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς συντελεί στην αποθήκευση του άνθρακα στο έδαφος περιορίζοντας έτσι τα αέρια του θερμοκηπίου. Αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού, τη γονιμότητα του εδάφους και κατ' επέκταση την παραγωγικότητα της γεωργίας με την ικανότητα του να συγκρατεί τα θρεπτικά στο έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι απαιτήσεις σε λιπάσματα περιορίζοντας έτσι μια ενδεχόμενη περιβαλλοντική ρύπανση από τη διήθηση των θρεπτικών. Βελτιώνει τις ιδιότητες του εδάφους και έχει την ικανότητα να απορροφά οργανικές και ανόργανες ρυπαντικές ουσίες.

Το βιοεξανθράκωμα περιέχει πολλά θρεπτικά συστατικά, όμως λόγω των παθογόνων μικροοργανισμών και ρύπων που περιέχει, η χρήση του πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένες ποσότητες και σε συνδυασμό με άλλα πληρωτικά υλικά, για την μέγιστη αξιοποίηση των ιδιοτήτων του. Οι πιο σημαντικοί ρύποι που περιέχονται στο βιοεξανθράκωμα είναι τα βαρέα μέταλλα τα οποία βιοσυσσωρεύονται και δεν αποδομούνται.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 2 είδη βιοεξανθρακώματος (λευκό και μαύρο). Επιλέχθηκαν τρία υποστρώματα: (Έδαφος), (Τύρφη & περλίτης), (Biosolids&άμμος), στα οποία προστέθηκε σε διαφορετικές αναλογίες το υλικό βιοεξανθράκωμα:

- (βιοεξανθράκωμα:υπόστρωμα) (1:10),
- (βιοεξανθράκωμα:υπόστρωμα) (1:2) και
- απουσία βιοεξανθρακώματος (μάρτυρας).

Μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά των φυτών της *Eruca sativa* L. (κν. ρόκα) κατά την ανάπτυξη τους. Στη συνέχεια έγινε συγκομηδή των φυτών, διαχωρισμός των φυτικών

ιστών σε υπόγειο και υπέργειο και προσδιορισμός των θρεπτικών και των βαρέων μετάλλων στους ιστούς με τη χρήση του ICP-OES (Επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα - οπτική φασματομετρία εκπομπής).

Κεφάλαιο 1. Θεωρητικό μέρος.

1.1. Βιοεξανθράκωμα (Biochar).

Η λέξη «Βιοεξανθράκωμα» (Biochar) προκύπτει από τον συνδυασμό των λέξεων «βιομάζα» και «άνθρακα ή ξυλάνθρακα» (Biomass + Charcoal = Biochar). Εικάζεται ότι χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τις φυλές του Αμαζονίου, οι οποίες έκαιγαν τα γεωργικά απόβλητα και στη συνέχεια τα κάλυπταν με έδαφος μέσα σε τάφρους ή λάκκους και ορίζεται ως το στερεό προϊόν που προκύπτει έπειτα από θερμική αποδόμηση βιομάζας υπό συνθήκες πλήρους ή μερικής έλλειψης οξυγόνου (Solomon et al., 2007) (Lehman, 2007a).

1.2. Παραγωγή βιοεξανθρακώματος.

Το Biochar είναι ένα υπόλειμμα λεπτόκοκκο, με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα το οποίο παράγεται με πυρόλυση (άμεση θερμική αποσύνθεση της βιομάζας απουσία οξυγόνου) από την οποία παράγονται:

- ένα μίγμα στερεών (το κύριο βιοεξανθράκωμα, biochar),
- υγρά (βιο-πετρέλαιο, bio-oil) και
- αέρια (syngas, SNG).

Η ειδική απόδοση από την πυρόλυση εξαρτάται από την κατάσταση της διεργασίας, όπως η θερμοκρασία, και μπορεί να βελτιστοποιηθεί για να παράγει είτε ενέργεια είτε βιοεξανθράκωμα (Gaunt & Lehmann, 2008). Η πυρόλυση συμβαίνει ταχύτερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες, απαιτώντας συνήθως δευτερόλεπτα αντί για ώρες. Η πυρόλυση σε θερμοκρασία 400-500 °C παράγει περισσότερο άνθρακα, ενώ οι θερμοκρασίες άνω των 700 °C ευνοούν την παραγωγή υγρών και αερίου συστατικών. Μια τυπική απόδοση πυρόλυσης είναι: 60% βιο-πετρέλαιο, 20% βιοεξανθράκωμα και 20% syngas (SNG) (Winsley, 2007).

1.3. Ιδιότητες και χρήσεις του βιοεξανθρακώματος.

1.3.1. Κατακράτηση νερού (water retention)

Μία από τις ιδιότητες του βιοεξανθρακώματος που το καθιστά ένα επιθυμητό υλικό του εδάφους σε πολλές τοποθεσίες με διαφορετικό τύπο εδάφους, είναι η υγροσκοπική του ιδιότητα, δηλαδή η ικανότητα του να προσελκύει, να απορροφά και να συγκρατεί υγρασία. Αυτό συμβαίνει λόγω της πορώδους δομής του υλικού και της μεγάλης του επιφάνειας. Έτσι, τα θρεπτικά συστατικά διατηρούνται στο έδαφος προς όφελος των φυτών και με αποτέλεσμα να μειώνονται οι διαρροές λιπάσματος στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. (Ricigliano, 2010).

1.3.2. Βελτιωτικό εδάφους (Soil amendment)

Η χρήση του βιοεξανθρακώματος είναι γνωστό ότι προσφέρει πολλά οφέλη στην υγεία του εδάφους, γεγονός που οφείλεται στην εξαιρετικά πορώδη φύση του. Αυτή η δομή έχει βρεθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματική στη διατήρηση τόσο του νερού όσο και των υδατοδιαλυτών θρεπτικών ουσιών. Εξαιρετική είναι η καταλληλότητα του βιοεξανθρακώματος ως «οικοτόπου» για πολλούς ευεργετικούς μικροοργανισμούς του εδάφους, οι οποίοι συνδράμουν στην αποτελεσματική βελτίωση του εδάφους, όπου στη συνέχεια αναπτύσσονται υγιή φυτά (Ingham, 2015). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την έκπλυση του *E. coli* σε αμμώδη εδάφη ανάλογα με το ρυθμό εφαρμογής, την πρώτη ύλη, τη θερμοκρασία πυρόλυσης, την υγρασία του εδάφους, την υφή του εδάφους και τις επιφανειακές ιδιότητες των βακτηρίων (Bolster & Abit, 2012) (Abit et al., 2012 & 2014). Για φυτά που απαιτούν υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό κάλιο και αυξημένο pH, το βιοεξανθράκωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό του εδάφους για αύξηση της απόδοσης (Lehmann et al., 2003). Η χρήση του βιοεξανθρακώματος βρέθηκε ότι συμβάλλει στην βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, στη μείωση των εκπομπών ρύπων του θερμοκηπίου στο έδαφος, στη μείωση της έκπλυσης θρεπτικών ουσιών, στη μείωση της οξύτητας του εδάφους και στη μείωση των αναγκών για άρδευση και λίπανση (Elad, 2010). Επίσης, υπο ορισμένες συνθήκες βελτιώνει τις αποκρίσεις των φυτών σε ασθένειες

που προκαλούνται από παθογόνους μικροοργανισμούς του εδάφους (Meller, 2012) (Jaiswal, 2014).

Οι διάφορες επιδράσεις του βιοεξανθρακώματος μπορεί να εξαρτώνται από τις ιδιότητες του υλικού (Silber et al., 2010) καθώς και από την ποσότητα που εφαρμόζεται σε κάθε μεταχείριση (Jaiswal, 2014). Από αυτό το γεγονός συμπεραίνουμε ότι εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη γνώσης σχετικά με τους σημαντικούς μηχανισμούς και ιδιότητες του υλικού αυτού (Glaser et al., 2004). Η επίδραση του βιοεξανθρακώματος μπορεί να εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου του εδάφους, της κατάστασης του εδάφους (εξαντλημένου ή υγιούς), της υγρασίας και της θερμοκρασίας. Οι μικρές προσθήκες βιοεξανθρακώματος στο έδαφος συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών του οξειδίου του αζώτου έως και 80% και εξαλείφουν τις εκπομπές μεθανίου, τα οποία είναι πιο ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου από το διοξείδιο του άνθρακα (Lehman, 2007a).

Το βιοεξανθράκωμα μπορεί να σχεδιαστεί με συγκεκριμένες ιδιότητες με σκοπό να στοχεύει συγκεκριμένες ιδιότητες των εδαφών. Έρευνες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή του βιοεξανθρακώματος μειώνει την έκπλυση των θρεπτικών συστατικών, αυξάνοντας την πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών. Επίσης, εξασφαλίζει και παρέχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών στο έδαφος (Lehman, 2007b). Αφ' ετέρου, λόγω της υψηλής απορροφητικής του ικανότητάς, μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα των φυτοφαρμάκων που εφαρμόζονται στο έδαφος τα οποία απαιτούνται για τον έλεγχο των ζιζανίων και των παρασίτων (Graber et al., 2011).

1.3.3. Τεχνικές αύξησης της απόδοσης των καλλιεργειών

Η παραδοσιακή κοπή και μετέπειτα καύση των φυτικών υπολειμάτων, συντελεί στην απελευθέρωση θρεπτικών συστατικών, τα οποία είναι διαθέσιμα στις καλλιέργειες με τη μορφή τέφρας. Με την ατελή καύση των φυτικών υπολειμάτων σε υψηλή θερμοότητα (με τη δράση της θερμότητας, απομακρύνεται το υδρογόνο και το οξυγόνο από το στερεό), ο χαρακτήρας της ουσίας που προκύπτει αποτελείται κυρίως από άνθρακα. Η παραδοσιακή τεχνική αφήνει μόνο το 3% του άνθρακα από την οργανική ύλη στο έδαφος (Glaser et al., 2004). Με την ατελή καύση μπορεί να δεσμευτεί στο

έδαφος έως και το 50% του άνθρακα σε μια εξαιρετικά σταθερή μορφή (Johannes et al., 2006). Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η ανάγκη για αζωτούχα λιπάσματα, μειώνοντας έτσι το κόστος και τις εκπομπές από την παραγωγή λιπασμάτων αλλά και τις μεταφορές. Τα εδάφη τα οποία είναι εμπλουτισμένα με βιοεξανθράκωμα μπορούν να διατηρήσουν επ' αόριστον τη γεωργική παραγωγή, ενώ τα θρεπτικά συστατικά από τα μη εμπλουτισμένα εδάφη εξαντλούνται γρήγορα (Gaunt et al., 2008). Με τη διαδικασία της πυρόλυσης για την παραγωγή βιοενέργειας προκύπτει επίσης το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτείται μεταβολή της υποδομής στον τρόπο επεξεργασίας της βιομάζας για την κυτταρινική αιθανόλη. Επιπρόσθετα, το παραγόμενο βιοεξανθράκωμα μπορεί να εφαρμοστεί από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την επεξεργασία του εδάφους ή από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή λιπασμάτων στο έδαφος (Lehmann 2007b).

1.3.4. Αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος

Η καύση και η φυσική αποσύνθεση της βιομάζας και ιδιαίτερα των γεωργικών αποβλήτων προσθέτουν μεγάλες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Ένας σταθερός τρόπος αποθήκευσης άνθρακα στο έδαφος για αιώνες είναι το βιοεξανθράκωμα, μειώνοντας ενδεχομένως ή περιορίζοντας την αύξηση των επιπέδων ατμοσφαιρικών αερίων θερμοκηπίου, ενώ ταυτόχρονα στη γη μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του νερού, να αυξήσει τη γονιμότητα του εδάφους και να αυξήσει την παραγωγικότητα της γεωργίας (Laird et al., 2008). Το βιοεξανθράκωμα μπορεί να απομονώσει τον άνθρακα στο έδαφος για εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια (Lehmann 2007a & 2007b). Μια τέτοια αρνητική για τον άνθρακα τεχνολογία θα οδηγούσε σε καθαρή ανάληψη CO₂ από την ατμόσφαιρα, παράλληλα με την παραγωγή αναλώσιμης ενέργειας που ως ανώτερο σκοπό έχει τον μακροπρόθεσμο μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη με την αποκατάσταση των αερίων θερμοκηπίου (Winsley, 2007).

1.3.5. Άμεσα και έμμεσα οφέλη από τη χρήση βιοεξανθρακώματος

1. Η πυρόλυση βιομάζας που προέρχεται από δασικά ή γεωργικά υπολείμματα παράγει βιοκαύσιμο χωρίς ανταγωνισμό με την καλλιέργεια.
2. Το βιοεξανθράκωμα είναι ένα παραπροϊόν πυρόλυσης που μπορεί να ενσωματωθεί σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις για να ενισχύσει τη γονιμότητα και τη σταθερότητα τους, συντελώντας στη μεσομακροπρόθεσμη δέσμευση του άνθρακα σε αυτά τα εδάφη. Αυτό, σημαίνει μια αξιοσημείωτη βελτίωση στα τροπικά εδάφη που επιδεικνύουν θετικά αποτελέσματα στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους και στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των ασθενειών στα Δυτικά Ευρωπαϊκά εδάφη.
3. Ενισχύει τη φυσική διαδικασία: η βιόσφαιρα συλλαμβάνει το CO₂, ειδικά μέσω της φυτικής παραγωγής, αλλά μόνο ένα μικρό τμήμα είναι σταθερά αποθηκευμένο για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα (έδαφος, ξύλο, κλπ.).
4. Η παραγωγή βιομάζας για την απόκτηση βιοκαυσίμων και βιοεξανθρακώματος για τη δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος είναι μια αρνητική ως προς τον άνθρακα διαδικασία, δηλαδή περισσότερο CO₂ απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα από ό,τι απελευθερώνεται, επιτρέποντας έτσι μακροπρόθεσμη απομόνωση (Cornet, 2009).

1.4. Υποστρώματα

1.4.1. Κοκκομετρική σύσταση και δομή του εδάφους

Η κοκκομετρική σύσταση και δομή του εδάφους από πλευράς φυσικών, μηχανικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιοχημικών ιδιοτήτων, επηρεάζουν σημαντικά τη γενικότερη συμπεριφορά του εδάφους καθορίζοντας:

- Την υγρασία
- Τον αερισμό
- Την θερμοκρασία του εδάφους
- Την ευκολία κίνησης του εδαφικού νερού
- Την συνεκτικότητα του εδάφους
- Την ευκολία μηχανικής κατεργασίας

- Την ευκολία ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών
- Την γενικότερη βιολογική δραστηριότητα του εδάφους

Υπάρχει συγκεκριμένος διαχωρισμός σχετικά με το μέγεθος των σωματιδίων. Τα μικρότερα σωματίδια είναι αυτά της αργίλου και έχουν διάμετρο μικρότερη από 0,002 mm. Τα σωματίδια του πηλού είναι σε μορφή πλάκας και όχι σφαιρικά, επιτρέποντας την αύξηση της συγκεκριμένης επιφάνειας (Taylor et al., 1972). Τα επόμενα μικρότερα σωματίδια είναι σωματίδια της αργιλίου και έχουν διάμετρο μεταξύ 0,002 mm και 0,05 mm (σύμφωνα με USDA). Τα μεγαλύτερα σωματίδια είναι αυτά της άμμου και έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 0,05 mm (Παναγιωτόπουλος, 2008).

1.4.2. Έδαφος

Το έδαφος είναι ένα φυσικό χαλαρό σώμα που καλύπτει σχεδόν όλη την επιφάνεια της ξηράς. Αποτελείται από ένα μείγμα οργανικής ύλης, ορυκτών, αερίων, υγρών και οργανισμών στο οποίο είναι δυνατόν να αναπτυχθούν φυτά. Το επιφανειακό στρώμα του εδάφους έχει τέσσερις σημαντικές λειτουργίες:

- Αποτελεί μέσο για την ανάπτυξη των φυτών,
- είναι ένα μέσο αποθήκευσης, παροχής και καθαρισμού του νερού,
- είναι ένας τροποποιητής της γήινης ατμόσφαιρας και
- είναι οικότοπος για οργανισμούς.

Όλα τα παραπάνω τροποποιούν το έδαφος το οποίο διασυνδέεται με τη λιθόσφαιρα, την υδρόσφαιρα, την ατμόσφαιρα και τη βιόσφαιρα και αποτελείται από μια στερεή φάση ορυκτών και οργανικών ουσιών (τη μήτρα του εδάφους), καθώς και μια πορώδη φάση που συγκρατεί τα αέρια και το νερό του εδάφους (Voroney et al., 2007) (Danoff-Burg & James, 2017) (Taylor et al., 1972). Κατά συνέπεια, τα εδάφη συχνά αντιμετωπίζονται ως σύστημα τριών καταστάσεων στερεών, υγρών και αερίων (McCarthy & David, 2006). Ένα τυπικό έδαφος είναι περίπου 50% στερεό (45% ορυκτό και 5% οργανική ύλη), και 50% πόροι, από τους οποίους το μισό είναι αποτελείται από νερό και το μισό από το αέρα (Chesworth & Ward 2008).

1.4.3. Τύποι εδαφών

- **Αμμώδη εδάφη:** Η άμμος είναι ένα φυσικώς απαντώμενο κοκκώδες υλικό που αποτελείται από λεπτοδιαμερισμένα πετρώματα και ορυκτά σωματίδια. Έχουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά αποστράγγισης τα οποία τα καθιστούν κατάλληλα για εντατικές καλλιέργειες. Η διάμετρος των κόκκων πρέπει να είναι μικρότερη των 6 χιλιοστών (Krinley & Smalley, 1972). Στα αμμώδη εδάφη το ποσοστό της άμμου είναι μεγαλύτερο από 70% και αυτό της αργίλου μικρότερο από 15%. Είναι εδάφη όπου οι εφαρμογές των καλλιεργητικών πρακτικών γίνεται εύκολα. Έχουν μικρή ικανότητα θρεπτικών στοιχείων και συγκράτησης υγρασίας. Το νερό, ο αέρας και η ρίζα, κινούνται με ευκολία μέσα σε αυτόν τον τύπο εδάφους. Η λίπανση πρέπει να γίνεται με φειδώ (μικρές και συχνές δόσεις) και η άρδευση να είναι ποσοτικά επαρκής. Όταν το ποσοστό της άμμου δεν είναι πολύ μεγαλύτερο της αργίλου, αυτά τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αμμοπηλώδη.
- **Πηλώδη εδάφη:** Είναι γενικότερα εδάφη μέσης σύστασης. Σε αυτή την ομάδα οι αναλογίες σε άμμο, άργιλο και ιλύ είναι περίπου ίσες. Τα εδάφη της ομάδας αυτής εκδηλώνουν μόνο τις επιθυμητές ιδιότητες της άμμου και της αργίλου. Η μηχανική σύσταση θεωρείται από τις καταλληλότερες για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και γενικότερα των φυτών γενικότερα, χωρίς προβλήματα.

Ανάλογα με το ποσοστό της άμμου, αργίλου και ιλύος διακρίνονται σε:

- I. **Πηλοαμμώδη:** Το ποσοστό της άμμου στο έδαφος είναι μεγαλύτερο της ιλύος και αργίλου.
- II. **Αμμοαργιλοπηλώδη:** Το ποσοστό της άμμου και αργίλου στο έδαφος είναι μεγαλύτερο της ιλύος.
- III. **Ιλυοπηλώδη:** Το ποσοστό της ιλύος στο έδαφος είναι μεγαλύτερο της άμμου και της αργίλου.
- IV. **Ιλυοαργιλοπηλώδη:** Το ποσοστό της άμμου στο έδαφος είναι μικρότερο της ιλύος και αργίλου.
- V. **Ιλώδη:** Στα εδάφη αυτά το ποσοστό της ιλύος είναι πολύ μεγαλύτερο της άμμου και αργίλου.

- **Αργιλώδη εδάφη:** Είναι γενικότερα βαριά εδάφη γιατί το ποσοστό της αργίλου είναι τουλάχιστον 35%, και κάποιες φορές ξεπερνά το 45%. Η ικανότητα συγκράτησης της υγρασίας και των θρεπτικών στοιχείων είναι μεγάλη και η ανάπτυξη της ρίζας όπως και η εφαρμογή των καλλιεργητικών πρακτικών γίνεται με δυσκολία. Τα εδάφη αυτά δεν στραγγίζουν και δεν αερίζονται εύκολα, λασπώνουν εύκολα και είναι πολύ υδατοδιαπερατά γεγονός που τα καθιστά δύσκολα στην επεξεργασία. Η επιφάνεια τους γίνεται αδιαπέραστη στον αέρα με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητα του εδάφους και να παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των φυτών. Η ιδιότητες των εδαφών αυτών βελτιώνονται με αύξηση της περιεκτικότητας σε ασβέστιο ή άμμο, περλίτη, με προσθήκη ποταμίσιας άμμου στο επιφανειακό χώμα. Απαραίτητη είναι η κατεργασία του εδάφους για να επιτευχθεί βελτίωση του αερισμού και της αποστράγγισης.

Ανάλογα με το ποσοστό της άμμου, αργίλου και ιλύος τα Αργιλώδη εδάφη διακρίνονται σε:

- I. **Αργιλοπηλώδη:** Στα εδάφη αυτά το ποσοστό της αργίλου είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό της άμμου και ιλύος.
 - II. **Ιλυοαργιλώδη:** Στα εδάφη αυτά το ποσοστό της ιλύος και της αργίλου είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό της άμμου.
 - III. **Αργιλοαμμώδη:** Στα εδάφη αυτά το ποσοστό της ιλύος και της αργίλου και άμμου μεγαλύτερο από το ποσοστό της ιλύος
- **Αργιλοασβεστώδη εδάφη:** Σε αυτά ευδοκίμουν τα πιο απαιτητικά φυτά, καθώς είναι τα πιο γόνιμα εδάφη απ' όλα και οι πόροι τους συγκρατούν πολύ νερό.
 - **Ασβεστώδη εδάφη:** Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο ξεπερνά το 40%, Είναι αρκετά γόνιμα εδάφη, πλούσια σε χούμο και θρεπτικές ουσίες με καλό αερισμό χωρίς να συγκρατούν πολύ νερό.

1.4.4. Περλίτης

Ο περλίτης είναι ένα φυσικό πυκνό υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα που περιέχει περισσότερο από 70% διοξείδιο του πυριτίου και μπορεί να επεκταθεί μέχρι και 20 φορές από τον αρχικό όγκο του όταν θερμαίνεται ταχέως στους 800-1200 °C και σχηματίζει ένα ελαφρύ υλικό με κυψελοειδή δομή. Ο διογκωμένος περλίτης είναι λευκός στο χρώμα, και έχει μια πυκνότητα περίπου 32 kg/m³. Ο περλίτης είναι γενικά χημικά αδρανής και έχει pH περίπου 7. Ο περλίτης είναι πολύ φθηνός και εύκολα διαθέσιμος, αυτό τον κάνει ένα οικονομικό προσροφητικό υλικό για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων. Ο διογκωμένος περλίτης βρίσκει χρήση στον κλάδο των κατασκευών, κηπευτικές αγορές, βοηθήματα φίλτρου και άλλες βιομηχανικές χρήσεις (Sari et al. 2007).

Ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται ευρέως ως βελτιωτικό του εδάφους. Μερικά από τα χαρακτηριστικά του περλίτη που βοηθούν στην ανάπτυξη των φυτών είναι:

- **Υδατοϊκανότητα.** Μειώνεται το κόστος ποτίσματος διότι ο διογκωμένος περλίτης μπορεί να συγκρατήσει 2-3 φορές το βάρος του σε νερό. Είναι ιδανικό υλικό για χρήση σε περιοχές άνυδρες.
- **Αερισμός της ρίζας.** Διατηρεί την αναλογία νερού-αέρα στο 56%, ακόμη κι όταν έχει φτάσει στο μέγιστο όριο συγκράτησης νερού.
- **Έχει ουδέτερο pH.** Είναι ένα σταθερό χημικά και ανόργανο υλικό και δεν αντιδρά με άλλες χημικές ουσίες. Χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε υδροπονικές καλλιέργειες και έχει ουδέτερο pH (6.5-7.5)
- **Μόνωση.** Λειτουργεί ως μονωτικό, προστατεύει τις ρίζες των φυτών από απότομες κλιματολογικές συνθήκες και από τον παγετό.
- **Διάρκεια ζωής.** Με τον πολυκαιρισμό τα φυσικά χαρακτηριστικά του περλίτη δεν μεταβάλλονται και δεν έχει ημερομηνία λήξης (Gorham, 1957).

1.4.5. Τύρφη

Η τύρφη ή ποάνθραξ είναι (οργανικό καύσιμο) ορυκτός άνθρακας ο οποίος τις περισσότερες φορές σχηματίζεται στο υπέδαφος εύκρατου και υγρού περιβάλλοντος,

επιβραδύνοντας τον ρυθμό αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων, που συγκεντρώνονται υπό συνθήκες ελλιπούς αποστράγγισης, σε τεράστιες μάζες. Η τύρφη χρησιμοποιείται ως καύσιμο υλικό και ταξινομείται στα «αργά ανανεώσιμα» καύσιμα. Είναι κατώτερης ποιότητας, γιατί δεν έχει μεγάλη θερμοαντική αξία και χρησιμοποιείται ως μέσο οικιακής θέρμανσης σε μερικές φτωχές χώρες (Gorham, 1957).

Χρησιμοποιείται επίσης ως λίπασμα, για την παρασκευή νίτρου και ως μονωτικό υλικό. Το οικοσύστημα τύρφης είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές πηγές άνθρακα στον πλανήτη, επειδή τα φυτά (που αναπτύσσονται σε υποστρώματα τύρφης) αιχμαλωτίζουν το CO₂ που απελευθερώνεται φυσιολογικά από την τύρφη, διατηρώντας μια ισορροπία. Ο σχηματισμός τύρφης είναι συχνά το πρώτο βήμα στον γεωλογικό σχηματισμό άλλων ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας, ιδιαίτερα ο χαμηλής ποιότητας άνθρακας όπως ο λιγνίτης (Hugron et al., 2013).

Από μηχανικής άποψης, ένα υπόστρωμα χαρακτηρίζεται ως τύρφη όταν:

- έχει σχετικά υψηλό ποσοστό οργανικής ύλης και
- παρουσιάζει κακές ιδιότητες ενοποίησης (δηλαδή δεν μπορεί να συμπιεστεί εύκολα για να χρησιμεύσει ως σταθερό υπόβαθρο στήριξης φορτίων, όπως δρόμων ή κτιρίων) (FAO, 1988).

1.4.6. Biosolids

Ο όρος biosolids χρησιμοποιείται για διάφορους τύπους επεξεργασμένης ιλυώδους λυματολάσπης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό εδάφους (Wang et al., 2007). Biosolids μπορούν να οριστούν ως οργανικά στερεά απόβλητα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μετά από κατάλληλες διεργασίες επεξεργασίας ιλυωδών λυμάτων που οδηγούν σε σταθεροποίηση ιλύος όπως αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση (Metcalf & Eddy, 2003). Η λυματολάσπη αυτή χρησιμοποιείται αρκετά χρόνια στη γεωργία (Gohil, 2000), όμως υπάρχουν ανησυχίες για τις προσβλητικές οσμές και τους κινδύνους από παθογόνους μικροοργανισμούς και τοξικές χημικές ουσίες. Η ενθάρρυνση της γεωργικής χρήσης των biosolids αποσκοπεί στην αποτροπή της πλήρωσης των χώρων υγειονομικής ταφής με πλούσια σε θρεπτικά οργανικά υλικά από την επεξεργασία οικιακών λυμάτων που μπορούν να

ανακυκλωθούν και να εφαρμοσθούν ως λίπασμα για τη βελτίωση και τη διατήρηση παραγωγικών εδαφών και για την τόνωση της ανάπτυξης των φυτών. Τα biosolids είναι ένα από τα ιδανικότερα γεωργικά λιπάσματα τα οποία μπορούν να συμβάλλουν στην προώθηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών (Frank, 1998). Περιέχει μακροθρεπτικά συστατικά όπως: Άζωτο, φώσφορο, κάλιο και θείο, μικροθρεπτικά συστατικά όπως: Χαλκό, ψευδάργυρο, ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο, βόριο, μολυβδαίνιο και μαγγάνιο. Παρ' όλα τα οφέλη όμως των biosolids, αυτά περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς όπως: κολοβακτηρίδια κοπράνων, *Salmonella sp.*, διάφορα βακτήρια, εντερικούς ιούς. (National Academy of Sciences, 2002). Ορισμένα παθογόνα επιβιώνουν από την επεξεργασία λυμάτων, έτσι μόνο στα biosolids χωρίς ανιχνεύσιμα παθογόνα επιτρέπεται η ευρεία εφαρμογή τους, ενώ αυτά με υπολειπόμενα παθογόνα έχουν περιορισμένη χρήση (Smith, 2009).

1.4.7. Οργανική ύλη και χούμος

Η οργανική ύλη αποτελείται από ενώσεις με βάση τον άνθρακα που απαντώνται σε φυσικά και μηχανικά, χερσαία και υδάτινα περιβάλλοντα. Πρόκειται για ύλη που αποτελείται από οργανικές ενώσεις που προέρχονται από τα υπολείμματα οργανισμών όπως τα φυτά και τα ζώα και τα απόβλητα τους στο περιβάλλον. Τα οργανικά μόρια μπορούν επίσης να παραχθούν από χημικές αντιδράσεις που δεν αφορούν τη ζωή. Βασικές δομές δημιουργούνται από κυτταρίνη, τανίνη, κοτσίνη και λιγνίνη, μαζί με άλλες διάφορες πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες (Kuzyakov, 2010). Η οργανική ύλη είναι πολύ σημαντική στην κίνηση των θρεπτικών ουσιών στο περιβάλλον και παίζει ρόλο στη συγκράτηση νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Οργανικό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ένα έδαφος στο οποίο τα οργανικά του συστατικά αποτελούν τουλάχιστον το 20% της μάζας του (Παναγιωτόπουλος, 2008).

Είναι γνωστό ότι η οργανική ύλη στο έδαφος προέρχεται από υπολείμματα φυτών, ζώων και από μικροοργανισμούς. Τα υπολείμματα αυτά αναφέρονται ως οργανικό υλικό και όταν διασπώνται μέχρι το σημείο που δεν είναι πλέον αναγνωρίσιμα, ονομάζονται οργανική ύλη. Όταν η οργανική ύλη διασπαστεί σε μια σταθερή ουσία που αντιστέκεται σε περαιτέρω αποσύνθεση ονομάζεται χούμος. Έτσι, η οργανική ύλη του εδάφους περιλαμβάνει όλη την οργανική ύλη που υπάρχει σε αυτό, χωρίς το υλικό που δεν έχει υποστεί φθορά. Μια σημαντική ιδιότητα της οργανικής ύλης του

εδάφους είναι να βελτιώνει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό και θρεπτικά συστατικά επιτρέποντας την αργή απελευθέρωσή τους, βελτιώνοντας έτσι τις συνθήκες ανάπτυξης των φυτών. Ένα άλλο πλεονέκτημα του χούμου είναι ότι ενισχύει τη συνεκτικότητα του εδάφους, το οποίο επιτρέπει στους νηματώδεις και στα μικροσκοπικά βακτήρια να διασπάζουν εύκολα τα θρεπτικά συστατικά στο έδαφος (Crow, 2009)

1.5. *Eruca sativa* (κν. Ρόκα)

1.5.1. Βοτανική ταξινόμηση

Η ταξινόμηση της ήμερης ρόκας (*Eruca Sativa*) παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1.1. Βοτανική ταξινόμηση *Eruca Sativa*.

Άθροισμα:	Σπερματόφυτα
Υπόάθροισμα:	Αγγειόσπερμα (Magnoliophyta)
Κλάση:	Δικοτυλήδονα (Magnoliopsida)
Υποκλάση:	Dilleniidae
Τάξη:	Capparales
Οικογένεια:	Brassicaceae
Γένος:	<i>Eruca</i>
Είδος:	<i>E. sativa</i>

Η επιστημονική ονομασία του φυτού αυτού είναι *Eruca sativa* Miller (αν και κάποιες φορές αναφέρεται λανθασμένα ως, *E. vesicaria*) (Mahr S., 2010), *E. vesicaria* και *Brassica Eruca*. Στην λεκάνη της Μεσογείου απαντώνται κυρίως τα τρία παρακάτω είδη που χρησιμοποιούνται για ανθρώπινη κατανάλωση: *E. sativa* Miller, *Diplotaxis Tenuifolla* (L.) DC. και *Diplotaxis Muralis* (L.) DC. (Pignone, 1997). Στην Βρετανία, Αυστραλία, Καναδά και Νέα Ζηλανδία αναφέρεται ως garden rocket, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ως eruca, rocket salad και arugula.

1.5.2. Ιστορικό - καταγωγή - εξάπλωση

Το «Εύζωμον το ήμερον» όπως αναφέρεται είδη από την αρχαία Ελλάδα (Yaniv et al., 1998), της οικογένειας των σταυρανθών (Brassicaceae ή Cruciferae), είναι ετήσιο φυτό, ιθαγενές της Ευρώπης κοινό στην Ελλάδα και τις παραμεσόγειες χώρες, γνωστό με την κοινή ονομασία «ρόκα». Είναι ιθαγενές φυτό στις περιοχές της Μεσογείου, ανατολικά της Τουρκίας και στην βόρεια Ινδία, όπου φύτεται σε στεγνό και διαταραγμένο έδαφος (Mahr S., 2010). Ακόμα, μπορεί να καλλιεργηθεί σε υγρό έδαφος και θεωρείται χειμωνιάτικο φυτό. Καλλιεργείται τουλάχιστον από τους Ρωμαϊκούς χρόνους (και αποτελεί και σήμερα κομμάτι της Ιταλικής κουζίνας), ενώ οι σπόροι του χρησιμοποιούνταν στην δημιουργία αφροδισιακών σκευασμάτων (Mahr S., 2010). Είναι γνωστό μεταξύ εκείνων που θεωρούνταν «επίσπορα» από τον Θεόφραστο, δηλαδή αυτών των λαχανικών που είχαν την δυνατότητα να σπαρθούν πολλές φορές κατά την διάρκεια του έτους. Είναι συγγενές με το φυτό *Eruca longirostra* δηλαδή την άγρια ρόκα που παλαιότερα φύτευε σε μεγάλες εκτάσεις και θεωρείτο φυτό με μελισσοκομική αξία (Παγουλάτου, 2008). Είναι αξιοσημείωτο πως μετά από αρχαιολογικές ανασκαφές σε ρωμαϊκούς κήπους ανακαλύφθηκαν σπόροι ρόκας, αποδεικνύοντας την ιδιαίτερη θέση που είχε στην Ιταλική κουζίνα, ενώ έχει εγκλιματιστεί και στη βόρεια Αμερική (Roberts, 2000). Ο βλαστός και τα φύλλα της ρόκας τρώγονται σε διάφορες σαλάτες, ενώ σε ορισμένες περιοχές μαγειρεύεται μαζί με κρέας (παραδοσιακό Σλοβένικο πιάτο). Η ρόκα είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλές περιοχές του κόσμου και είναι συστατικό παραδοσιακών συνταγών σε χώρες όπως η Ιταλία και η Γαλλία, ενώ στην Αίγυπτο υπάρχουν πληθυσμοί της ήμερης ρόκας που έχουν ήπια πικάντικη γεύση και προτιμώνται για την παρασκευή σαλάτας σε σχέση με άλλα είδη όπως το μαρούλι (Mohamedien, 1995, Pignone, 1997). Παρά το γεγονός ότι το βότανο απολάμβανε μεγάλη δημοτικότητα σε όλη την εύκρατη Ευρώπη κατά τον Μεσαίωνα, τόσο για τα αρωματικά του φύλλα όσο και για τους πικάντικους σπόρους, η καλλιέργεια παραμελήθηκε στη συνέχεια, και τον 18^ο αιώνα ουσιαστικά περιορίζεται στην Μεσόγειο, δυτική και κεντρική Ευρώπη.

1.5.3. Χρήσεις και ποιοτικά χαρακτηριστικά

Πρόσφατες έρευνες έχουν αποδείξει τη σημαντική περιεκτικότητα των ειδών της οικογένειας Brassicaceae σε θειογλυκοζίτες καθώς και την ευεργετική επίδραση στην

υγεία του ανθρώπου (Fahey et al. 2001; Holst and Williamson, 2004; Keck and Finley, 2004). Κύριο ποιοτικό χαρακτηριστικό των φύλλων ρόκας θεωρείται το έντονο πράσινο χρώμα τους (Koukounaras et al., 2006). Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες μελέτες στην Ιταλία, όπου έχουν ανιχνεύσει συγκεντρώσεις νιτρικών στη ρόκα που φτάνουν τα 9300 mg kg^{-1} (Cerutti et al., 1996; Santamaria et al., 1999). Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ η ρόκα την ημέρα δεν μυρίζει το παραμικρό, την νύχτα αναδίδει ένα ευχάριστο διακριτικό άρωμα και γι' αυτό χρησιμοποιείται στην κοσμετολογία. Έχει χωνευτική και διουρητική επίδραση στον οργανισμό, τονωτικές και καθαρτικές δράσεις. Για πολλούς αιώνες δεν επιτρέπονταν στα τραπέζια των ευσεβών και ήταν φυτό που δεν τοποθετούνταν στους κήπους των χριστιανικών μοναστηριών. Πολλοί σκανδαλίζονταν στο άκουσμα του ονόματος της γιατί η αφοροδιακές της ιδιότητες ήταν ξακουστές. Ο Διοσκουρίδης, θεμελιωτής της φαρμακολογίας, έλεγε ότι στην αρχαιότητα συνήθιζαν να χρησιμοποιούν το σπόρο της ρόκας σε βρασμένα χόρτα. Ο ίδιος σημείωνε ότι η ρόκα (τα πράσινα μέρη αλλά και ο σπόρος) όταν καταναλώνεται σε μεγάλη ποσότητα, προκαλεί σεξουαλική διέγερση. Στα ρωμαϊκά χρόνια τη χρησιμοποιούσαν σαν παυσίπονο. Υπήρχε η θεώρηση, ότι αυτοί που υπόκεινταν σε βασανιστήρια μπορούσαν να αντέξουν μέχρι και το μαστίγωμα με τη βοήθεια ενός ποτηριού κρασί με λίγη ρόκα. Από τα σπόρια του φυτού λαμβάνεται ένα ελαφρώς καυστικό έλαιο που χρησιμοποιείται στην φαρμακευτική. Στο Αφγανιστάν, στο Πακιστάν και στη Β. Ινδία καλλιεργείται για την παραγωγή του λαδιού "jamba oil" ή "taramira oil" (Ibn Oaf H.S., 2004). Η ρόκα που χρησιμοποιείται για θεραπευτικούς σκοπούς, πρέπει να συγκομίζεται κατά την ανθοφορία του φυτού (Παγουλάτου, 2008).

1.5.4. Απαιτήσεις

Η *Eruca sativa* είναι ένα μονοετές ποώδες φυτό με αρωματικά και σαρκώδη φύλλα. Τα άνθη της έχουν μια απόχρωση του μωβ χρώματος και το ύψος του φυτού δεν ξεπερνά τα 35 cm. Φυτεύεται από το Μάρτιο μέχρι και τον Νοέμβριο υπαίθρια, ενώ το χειμώνα, για προστασία από το κρύο καλλιεργείται υπο κάλυψη. Για την καλλιέργεια της προτιμώνται κυρίως ηλιόλουστες θέσεις και οι καταλληλότερη θερμοκρασία είναι οι $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ δεν ευδοκιμεί σε περίοδο παγετού διαρκείας. Προτιμά ελφρά όξινα εδάφη (pH: 6-7 μονάδες) ασβεστώδη, πλούσια σε οργανική

ουσία, μέτριας γονιμότητας και καλής αποστράγγισης. Προτιμά εδάφη ασβεστώδη, με καλή αποστράγγιση, μέτριας γονιμότητας και πλούσια σε οργανική ουσία. Οι απαιτήσεις της σε λίπανση και καλλιεργητική φροντίδα είναι χαμηλές. Πριν τη σπορά συνίσταται κοπριά, ενώ μετά την εγκατάσταση αρκεί ένα πλήρες και ισορροπημένο λίπασμα. Η ρόκα χρειάζεται καθημερινό πότισμα, το χώμα της πρέπει να έχει επαρκή υγρασία, χωρίς λιμνάζοντα νερά. Οι πιο πιθανοί εχθροί της ρόκας είναι η μύγα του λάχανου *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) και τα είδη του γένους φυλλοτρήτη *Phyllotreta spp.* (Coleoptera: Chrysomelidae) (Σταμόπουλος, 1999). Μερικά από τα κυριώτερα διατροφικά οφέλη της ρόκας είναι οι χωνευτικές, τονωτικές και διουρητικές ιδιότητες, ρίχνει τα επίπεδα του σακχάρου στο αίμα, σταθεροποιεί το μεταβολισμό. Επίσης, περιέχει βιταμίνη C και καροτένιο (Σταμόπουλος, 1999).

Κεφάλαιο 2. Πειραματικός σχεδιασμός.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη της ανάπτυξης φυτών ρόκας *ErUCA sativa*, τα οποία αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά υποστρώματα (Έδαφος), (Τύρφη & περλίτης), (Biosolids&άμμος). Στα υποστρώματα προστέθηκε το υλικό βιοεξανθράκωμα σε διαφορετικές αναλογίες.

Πιο συγκεκριμένα:

(βιοεξανθράκωμα:υπόστρωμα) : (1:10),

(βιοεξανθράκωμα:υπόστρωμα) : (1:2) και

απουσία βιοεξανθρακώματος (μάρτυρας, no).

Δυο είδη βιοεξανθρακώματος χρησιμοποιήθηκαν (λευκό και μαύρο) στην παρούσα μελέτη, τα οποία είναι παραπροϊόν επεξεργασίας γουνοφόρων ζώων και προέκυψαν από καύση σε πυρολυτικό κλίβανο και σε ανοξικό περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα:

Μαύρο βιοεξανθράκωμα: Αδρανοποιήθηκε στον ανοξικό πυροκλίβανο για 1 ώρα.

Λευκό βιοεξανθράκωμα: Αδρανοποιήθηκε στον ανοξικό πυροκλίβανο για 12 ώρες.

Κατα την εγκατάσταση και καθ'όλη την διάρκεια ανάπτυξης των φυτών ρόκας δεν πραγματοποιήθηκε επιπλέον λίπανση, εκτός της αρχικής προσθήκης βιοεξανθρακώματος.

Κατα τη διάρκεια του πειράματος αξιολογήθηκαν η φυτρωτική ικανότητα, το ύψος του υπέργειου τμήματος και το πλάτος των φύλλων των φυτών σε κάθε σποροδοχείο σε διαφορετικές χρονικές φάσεις του πειράματος:

- πριν τη μεταφύτευση των φυτών,
- 10 ημέρες μετά τη μεταφύτευση,
- 20 ημέρες μετά τη μεταφύτευση,
- 30 ημέρες μετά τη μεταφύτευση,
- 40 ημέρες μετά τη μεταφύτευση (συγκομιδή).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε συγκομιδή ολόκληρων των φυτών, των οποίων ο φυτικός ιστός διαχωρίστηκε σε επέργειο και υπόγειο τμήμα. Έτσι, για κάθε

συνδυασμένο επίπεδο δημιουργήθηκε ένα διάλυμα που αφορά το υπέργειο και ένα που αφορά τον υπόγειο φυτικό ιστό, με σκοπό τον προσδιορισμό των μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικών καθώς και των βαρέων μετάλλων, στον υπέργειο και υπόγειο φυτικό ιστό. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του ICP-OES (Επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα - οπτική φασματομετρία εκπομπής). Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικότερα τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας.

Το σχέδιο του πειράματος φαίνεται στο **σχήμα 2.1**. παρακάτω:

<u>ΛΕΥΚΟ</u>	(1:10)													
	(1:2)													
	(no)													
	(Εδαφος)				(Τύρφη & περλίτη)				(Biosolids & άμμος)					
	<u>ΜΑΥΡΟ</u>	(1:10)												
		(1:2)												
		(No)												
(Εδαφος)				(Τύρφη & περλίτη)				(Biosolid & άμμος)						

Σχήμα 2.1. Κάτοψη πειραματικού σχεδιασμού.

2.1. Υλικά και μέθοδοι.

2.1.1. Προετοιμασία του πειράματος

Το παραπροϊόν επεξεργασίας γουνοφόρων ζώων, πριν την εφαρμογή του τοποθετήθηκε σε πυρολυτικό κλίβανο σε ανοξικό περιβάλλον και στους 750 - 800 °C για 1 ώρα (Μαύρο βιοεξανθράκωμα) και 12 ώρες (Λευκό βιοεξανθράκωμα). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απομακρυνθεί η υγρασία του για να γίνει ευκολότερη η άλεση και μετάπειτα κοσκκίνιση του. Η άλεση πραγματοποιήθηκε σε πορσελάνινο γουδι (εικόνα 2.1.) και στην συνέχεια η κοσκκίνιση έγινε με κόσκινο διαμετρήματος 1,0 mm (κόσκινο Retsch DIN 4188 Type Prüfsied/Sieve) (εικόνα 2.2.).

Όσον αφορά τα δυο είδη βιοεξανθρακώματος (λευκό & μαύρο), πρόκειται για μη πορώδη υλικά με σχετικά συμπαγή δομή τα οποία εμφανίζουν μέτρια ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η στοιχειακή ανάλυση EDS (φασματοσκοπία ενεργειακής διασποράς) των υλικών των δυο ειδών βιοεξανθρακώματος (λευκό & μαύρο) παρουσιάζονται στον **πίνακα 2.1.** (Καραγκούνη, 2019):

Πίνακας 2.1. Αποτελέσματα στοιχειακής ανάλυσης EDS.

Στοιχεία (% w/w)	Λευκό βιοεξανθράκωμα (12h)	Μαύρο βιοεξανθράκωμα (1h)
Ca	1,2	0,7
Na	5,5	4,9
Si	0,4	0,2
Mg	0,3	0,2
K	-	-
Al	20	18
P	0,4	0,4
Cl	5,5	4

Μετά την ολοκλήρωση της κοσκκίνησης ακολούθησε η προετοιμασία των υποστρωμάτων.

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

1. Έδαφος
2. Τύρφη&περλίτης
3. Biosolids&άμμος



Εικόνα 2.1. Άλεση βιοεξανθρακώματος σε πορσελάνινο γουδι.



Εικόνα 2.2. Κόσκινο διαμετρήματος 1,0 mm.

Ακολούθησε η μίξη (αναλογίες όγκων) του βιοεξανθρακώματος με τα υποστρώματα και δημιουργήθηκαν οι εξής δεκαοκτώ μεταχειρίσεις που φαίνονται στον **πίνακα 2.2.** που ακολουθεί:

Πίνακας 2.2. Συνδυασμένα επίπεδα (μεταχειρίσεις) έπειτα από μίξη των υλικών.

Πηλοαμμώδες έδαφος	Μάρτυρας (χωρίς βιοεξανθράκωμα)
Τύρφη &περλίτης	
Biosolids& άμμος	
(Βιοεξανθράκωμα λευκό) & (Πηλοαμμώδες έδαφος)	1:10
(Βιοεξανθράκωμα λευκό) & (Τύρφη &περλίτης)	
(Βιοεξανθράκωμα λευκό) & (Biosolids& άμμος)	
(Βιοεξανθράκωμα λευκό) & (Πηλοαμμώδες έδαφος)	1:2
(Βιοεξανθράκωμα λευκό) & (Τύρφη &περλίτης)	
(Βιοεξανθράκωμα λευκό) & (Biosolids& άμμος)	
Πηλοαμμώδες έδαφος	Μάρτυρας (χωρίς βιοεξανθράκωμα)
Τύρφη &περλίτης	
Biosolids& άμμος	
(Βιοεξανθράκωμα μαύρο) & (Πηλοαμμώδες έδαφος)	1:10
(Βιοεξανθράκωμα μαύρο) & (Τύρφη &περλίτης)	
(Βιοεξανθράκωμα μαύρο) & (Biosolids& άμμος)	
(Βιοεξανθράκωμα μαύρο) & (Πηλοαμμώδες έδαφος)	1:2
(Βιοεξανθράκωμα μαύρο) & (Τύρφη &περλίτης)	
(Βιοεξανθράκωμα μαύρο) & (Biosolids& άμμος)	

Συνοπτικά, ο παράγοντας «βιοεξανθράκωμα» έχει 3 επίπεδα:

- (1:10)
- (1:2)
- (Μάρτυρας, no)

Ο παράγοντας «υπόστρωμα» έχει επίσης τρία επίπεδα:

- (Πηλοαμμώδες έδαφος)
- (Τύρφη & περλίτης)
- (Biosolids & άμμος)

και ο παράγοντας «χρώμα βιοεξανθρακώματος» έχει δύο επίπεδα:

- (Λευκό) και
- (Μαύρο)

Σε κάθε συνδυασμένο επίπεδο (μεταχείριση) έχουμε 8 επαναλήψεις. Επομένως, $N = (3 \times 3 \times 2) \times 8 = 144$ παρατηρήσεις.

2.1.2. Εγκατάσταση του πειράματος

Αφού έγινε η μίξη υποστρώματος και βιοεξανθρακώματος, ακολούθησε η αναμόχλευση τους, ώστε οι μεταχειρίσεις να ομογενοποιηθούν πριν την ισόποση εφαρμογή τους στις θέσεις των σπορειών. Πέντε σπόροι του φυτού *Eruca sativa* τοποθετήθηκαν σε κάθε σποροδοχείο του σπορείου. Μετά την ολοκλήρωση της φύτευσης των σπόρων, τα σπορεία ποτίστηκαν (για να μην παραχωθούν οι σπόροι, ποτίστηκαν με ποτιστήρι που έχει στην άκρη φουσούνα) και τοποθετήθηκαν σε συνθήκες υδρονέφωσης για 10 ημέρες, μέχρι την βλάστηση των νεαρών φυταρίων. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο θερμοκήπιο του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων. Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου υπήρχαν θάλαμοι με συνθήκες υδρονέφωσης σε έναν εκ των οποίων τοποθετήθηκαν τα σποροδοχεία (εικόνα 2.3.). Οι συνθήκες που επικρατούσαν στους θαλάμους υδρονέφωσης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3, που ακολουθεί:

Πίνακας 2.3. Συνθήκες υδρονέφωσης στις οποίες τοποθετήθηκαν τα φυτά ρόκας.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΤΙΜΕΣ
Ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	20
Μέγιστη θερμοκρασία(°C)	35
Ψεκάσμος νερού με εκνέφωση (Mistsystem)	3 φορές / ημέρα, διάρκειας 5 λεπτών

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 2 σπορεία (δίσκοι) από φελιζόλ (διογκωμένη πολυστερίνη), 72 θέσεων το κάθε ένα. Κάθε σπορείο αποτελείται από 9 μεταχειρίσεις και κάθε μεταχείριση αποτελείται από 8 σποροδοχεία, και σε κάθε μεταχείριση έχουμε 8 επαναλήψεις. Κατα την διάρκεια ανάπτυξης των φυτών πραγματοποιούνταν

περιοδικές μετρήσεις που αφορούσαν το ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών, το πλάτος των φύλλων τους και τον αριθμό των φυτών σε κάθε σποροδοχείο.

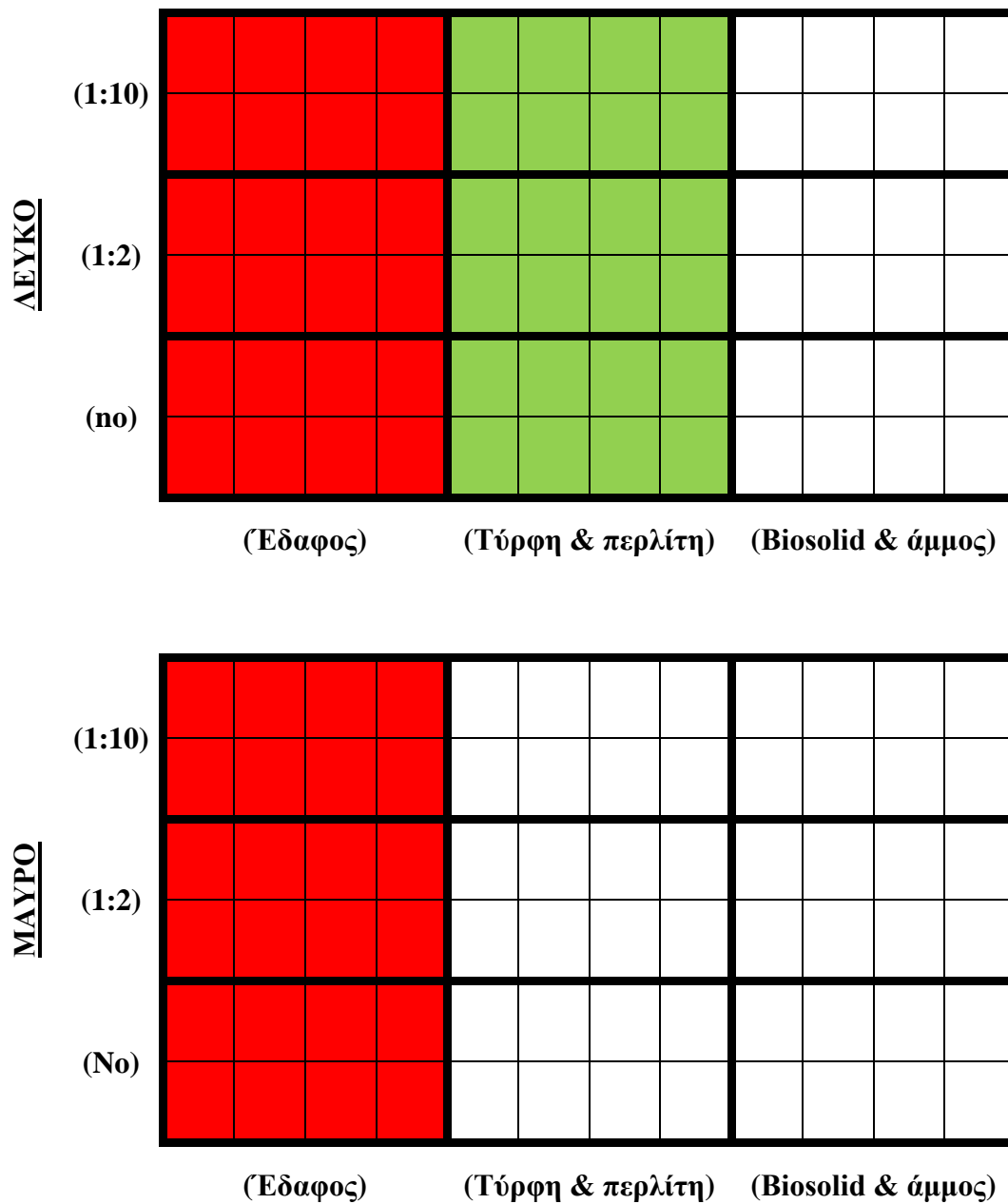


Εικόνα 2.3. Θάλαμος με συνθήκες υδρονέφωσης.

2.1.3. Μεταφύτευση των φυτών.

Για την περαιτέρω αύξηση των φυτών ρόκας πραγματοποιήθηκε μεταφύτευση όλων των μεταχειρίσεων με τον ίδιο πειραματικό σχεδιασμό, εκτός από τις έξι μεταχειρίσεις που περιείχαν biosolids & άμμο (λευκό χρώμα, **σχήμα 2.2.**). Η μεταφύτευση έγινε σε μεγαλύτερα γλαστράκια (όγκου 0,5 lt) (**Εικόνα 4.2.**) στα οποία και αναπτύχθηκαν τα φυτά ρόκας μέχρι τη συγκομιδή τους. Τα φυτά ρόκας που αφορούσαν τις έξι μεταχειρίσεις στις οποίες είχε τοποθετηθεί έδαφος δεν επέζησαν μετά τη μεταφύτευση (κόκκινο χρώμα, **σχήμα 2.2.**), παρομοίως και οι οι τρεις μεταχειρίσεις με τύρφη & περλίτη & βιοεξανθράκωμα μαύρο (γκρί χρώμα, **σχήμα 2.2.**).

Από την εδαφολογική ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε από δείγματα εδάφους, προκύπτει ότι το έδαφος αυτό είναι κυρίως αμμώδες, φτωχό σε άργιλο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να συγκρατήσει υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών.



Σχήμα 2.2. Κάτοψη πειραματικού σχεδιασμού (μετά τη μεταφύτευση)

Η οργανική ουσία του εδάφους ήταν χαμηλή (0,71 %) πολύ μικρότερη από το χαμηλότερο επιτρεπτό όριο (2 %). Κατάλληλα για την καλλιέργεια ρόκας είναι τα πηλώδη, καλής στράγγισης και καλής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία (>2%)

εδάφη. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECe, αλατότητα) είναι πάνω από το επιτρεπτό όριο (4) με μέσο όρο 5,83. Το pH ήταν ελαφρώς αλκαλικό (7,44) και το ανθρακικό ασβέστιο ήταν σε κανονικά επίπεδα (0,6 %), που σε συνδυασμό με το ελαφρώς αλκαλικό pH το έδαφος χαρακτηρίζεται ελαφρώς αλκαλικό, το οποίο δεν προτιμάται για την καλλιέργεια της ρόκας για την οποία το ιδανικό pH ανάπτυξης του φυτού είναι το ελαφρώς όξινο (6-7). Τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης των 9 δειγμάτων παρουσιάζονται στον **πίνακα 2.4.** που ακολουθεί.

Πίνακας 2.4. Αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης.

A/A	ECe (mS/cm)	pH	CaCO ₃ (%)	Οργανική Ουσία (%)
1	3,10	7,60	0,23	0,70
2	7,60	7,40	0,69	0,80
3	6,20	7,40	0,68	0,70
4	4,60	7,40	0,46	0,50
5	6,60	7,40	0,72	0,80
6	4,60	7,50	0,67	0,50
7	9,20	7,50	0,61	1,35
8	7,00	7,30	0,65	0,34
9	3,60	7,50	0,68	0,67
M.O.	5,83	7,44	0,60	0,71

Η εδαφολογική ανάλυση έλαβε χώρα στο εργαστήριο εδαφολογίας του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

Οι μεταχειρίσεις οι οποίες ευδοκίμησαν είναι αυτές με τύρφη & περλίτη & βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος (πράσινο χρώμα, **σχήμα 2.2.**). Στα εναπομείναντα φυτά πραγματοποιούνταν περιοδικές μετρήσεις που αφορούσαν το ύψος του υπέργειου τμήματος του φυτού, το πλάτος των φύλλων και τον αριθμό των φυτών σε κάθε σποροδοχείο.



Εικόνα 2.4. Μεταφτευμένα φυτά ρόκας (λευκό βιοεξανθράκωμα:τύρφη & περλίτη, 1:2).

2.1.4. Συγκομιδή των φυτών

Μετά την πλήρη ανάπτυξη του βρώσιμου μέρους των φυτών ρόκας και πριν την ανθοφορία τους, πραγματοποιήθηκε η συγκομιδή τους (**Εικόνα 2.5**). Κατά τη συγκομιδή, διαχωρίστηκε ο υπέργειος (φύλλα και μίσχοι) από τον υπόγειο φυτικό ιστό (ριζικό σύστημα) για κάθε μεταχείριση. Στη συνέχεια οι φυτικοί ιστοί πρώτα ξεπλύθηκαν με άφθονο νερό βρύσης ώστε να καθαριστούν πλήρως από τα υπολείματα του υποστρώματος και στη συνέχεια καθαρίστηκαν με απιονισμένο νερό.

2.1.5. Προετοιμασία των δειγμάτων

Οι φυτικοί ιστοί αφού ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό και αφού στέγνωσαν, τοποθετήθηκαν στη συνέχεια στο πυριαντήριο για 48 ώρες στους 72°C. Μετά την αποξήρανση τους, οι αποξηραμένοι πλέον φυτικοί ιστοί λειοτριβήθηκαν σε πορσελάνινο γουδί (**εικόνα 2.13.**, παράρτημα Γ).



Εικόνα 2.5. Πλήρης ανάπτυξη φυτών ρόκας σε (βιοεξανθράκωμα:τυρφη & περλίτη, 1:10)



Εικόνα 2.6. Πλήρης ανάπτυξη φυτών ρόκας σε υπόστρωμα τυρφη & περλίτη και λευκό βιοεξανθράκωμα, από πάνω προς τα κάτω: (1:2, χωρίς, 1:10).

2.2. Μέθοδος πέψης

2.2.1. Εξοπλισμός.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της πέψης είναι το speedwavetwo, DAP-60K της BerghofProducts + InstrumentsGmbH.

2.2.2. Αντιδραστήρια.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν, είναι το νιτρικό οξύ HNO_3 (65%) και το υπεροξείδιο του υδρογόνου H_2O_2 (35%) με όγκους 5,0 mL και 0-2,0 mL, αντίστοιχα.

2.2.3. Διαδικασία πέψης.

Ζυγίστηκαν 300mg του δείγματος με ζυγό ακριβείας και τοποθετήθηκαν στο δοχείο πέψης. Προστέθηκαν 5,0 mL νιτρικού οξέως και 0-2,0 mL υπεροξειδίου του υδρογόνου. Ακολουθεί προσεκτική ανακίνηση του μείγματος και μετά από 10 λεπτά ηρεμίας τα δείγματα σφραγίζονται και θερμαίνονται με μικροκύματα σύμφωνα με το πρόγραμμα που παρουσιάζεται στον **πίνακα 2.5.** που ακολουθεί:

Πίνακας 2.5. Πρόγραμμα θέρμανσης δειγμάτων

Step	T (°C)	Ta (min)	Time (min)	Power (%)
1	145	5	5	90
2	190	3	10	90
3	50	1	10	90

Μετά το πέρας του προγράμματος τα δείγματα αραιώνονται σε τελικό όγκο 50 mL.

2.3. Προσδιορισμός συγκεντρώσεων των στοιχείων με ICP-OES.

Μετά την διαδικασία της πέψης προέκυψαν δυο διαλύματα από κάθε μεταχείριση (συνολικά τρεις μεταχειρίσεις), δηλαδή συνολικά έξι διαλύματα, τρία αφορούν το

υπέργειο τμήματος φυτού και τρία αφορούν το υπόγειο, όπως παρουσιάζονται στον **πίνακα 2.6.** που ακολουθεί:

Πίνακας 2.6. Ποσότητα δείγματος φυτικού ιστού που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των στοιχείων.

Φυτικός ιστός	Βιοεξανθράκωμα: Τύρφη&περλίτης	Διάλυμα
Υπέργειος	(1:10)	1
	(1:2)	2
	(no)	3
Υπόγειος	(1:10)	4
	(1:2)	5
	(no)	6

Σε κάθε διάλυμα προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των μακροθρεπτικών (P, K, Ca, Mg) και μικροθρεπτικών στοιχείων (Fe, Mn, Cu, Zn) και τα βαρέα μέταλλα (Pb, Cd, Ni, Cr, As) σε μήκη κύματος όπως αυτά παρουσιάζονται στον **πίνακα 2.7.** που ακολουθεί:

Πίνακας 2.7. Μήκη κύματος για μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά και για βαρέα μέταλλα.

Συστατικά		Μήκος κύματος (Nm)
Μακροθρεπτικά	P	213,617 nm
	K	766,490 nm
	Ca	317,933 nm
	Mg	285,213 nm
Μικροθρεπτικά	Fe	238,204 nm
	Mn	257,610 nm
	Cu	327,393 nm
	Zn	206,200 nm
Βαρέα μέταλλα	Pb	220,353 nm
	Cd	228,802 nm
	Ni	231,604 nm
	Cr	267,716 nm

Κεφάλαιο 3. Στατιστική ανάλυση - αποτελέσματα.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής επιλέχθηκαν δυο είδη βιοεξανθρακώματος (λευκό και μαύρο), τα οποία αναμίχθηκαν με διαφορετικά υποστρώματα (Έδαφος, τύρφη & περλίτης, biosolids & άμμος) σε συγκεκριμένες αναλογίες όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο του πειραματικού σχεδιασμού. Στις μεταχειρίσεις που δημιουργήθηκαν φυτεύθηκαν σπόροι του φυτού *Eruca sativa*, (κν. Ρόκα).

Στόχος είναι η αξιολόγηση των αγρονομικών, ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των φυτών ρόκας τα οποία αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά υποστρώματα με συγκεκριμένη προσθήκη (1:10, 1:2, μάρτυρας), του προς μελέτη υλικού, βιοεξανθρακώματος. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε συνδυασμένο επίπεδο αξιολογήθηκαν:

- η φυτρωτική ικανότητα (ο αριθμός των φυτών σε κάθε συνδυασμένο επίπεδο)
- το ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών
- το πλάτος των φύλλων των φυτών
- η μελέτη της επίδρασης του βιοεξανθρακώματος ως μίγμα με άλλα πληρωτικά υλικά.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που παραθέτονται στους πίνακες του παραρτήματος Α, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Minitab v.17.

Στο **πίνακα 3.1.** παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα το σχέδιο του πειράματος. Στις στήλες παρουσιάζεται ο παράγοντας υπόστρωμα και στις σειρές οι παράγοντες χρώμα του βιοεξανθρακώματος καθώς και η αναλογία πρόσμιξης του. Οι επαναλήψεις σε κάθε συνδυασμένο επίπεδο είναι οκτώ.

Πίνακας 3.1. Πειραματικός σχεδιασμός σε μορφή πίνακα.

Tabulated Statistics: Biochar; Χρώμα Biochar; Υπόστρωμα
Rows: Biochar / Χρώμα Biochar Columns: Υπόστρωμα

	(Έδαφος)	(Τύρφη & Περλίτης)	(Biosolid & Άμμος)	All
(1:10)				
(Λευκό)	8	8	8	24
(Μαύρο)	8	8	8	24
(1:2)				
(Λευκό)	8	8	8	24
(Μαύρο)	8	8	8	24
(no)				
(Λευκό)	8	8	8	24
(Μαύρο)	8	8	8	24
All				
All	48	48	48	144
<i>Cell Contents Count</i>				

3.1. Αποτελέσματα ανάπτυξης των φυτών.

Για να προσδιορίσουμε αν οι μέσοι όροι διαφέρουν, χρησιμοποιούμε το γενικό γραμμικό μοντέλο (GLM – general linear model) το οποίο είναι μια διαδικασία ανάλυσης διακύμανσης.

3.1.1. Φυτρωτική ικανότητα - Αριθμός των φυτών ρόκας (N).

Πίνακας 3.2. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και φυτρωτική ικανότητα (αριθμός των φυτών ρόκας) (N).

General Linear Model: N versus Biochar; Υπόστρωμα; Χρώμα Biochar
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (no)
Υπόστρωμα	Fixed	3	(Έδαφος); (Τύρφη & Περλίτης); (Biosolid & Άμμος)
Χρώμα Biochar	Fixed	2	(Λευκό); (Μαύρο)

Στον **πίνακα 3.2.** παρουσιάζονται τα επίπεδα των παραγόντων. Ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα έχει τρία επίπεδα: (1:10), (1:2), (no, control). Ο παράγοντας υπόστρωμα τρία επίπεδα: (Έδαφος, τύρφη&περλίτης, biosolids&άμμος) και το χρώμα βιοεξανθρακώματος δυο επίπεδα (λευκό και μαύρο).

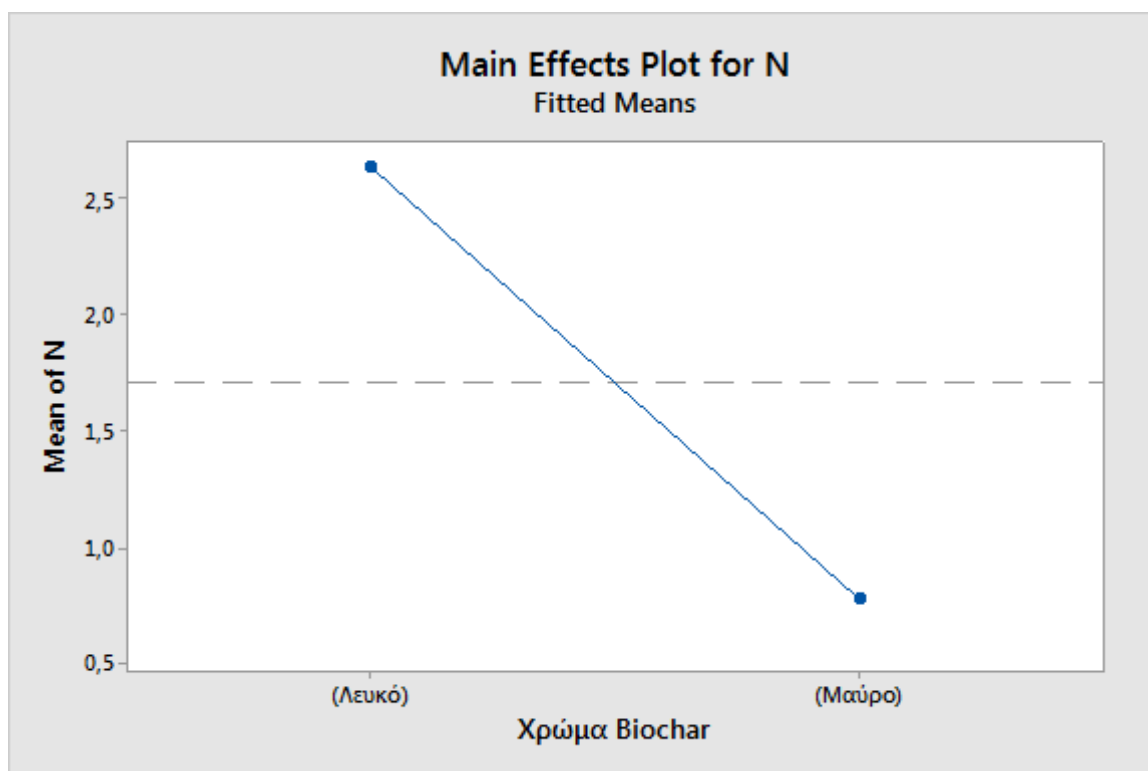
Πίνακας 3.3. Ανάλυση διακύμανσης για την φυτρωτική ικανότητα (N).

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value
Biochar	2	2,542	0,82%	2,542	1,271	0,95
Υπόστρωμα	2	0,542	0,17%	0,542	0,271	0,20
Χρώμα Biochar	1	124,69	40,26%	124,69	124,69	93,38
		4		4	4	
Biochar*Υπόστρωμα	4	2,542	0,82%	2,542	0,635	0,48
Biochar*Χρώμα Biochar	2	2,514	0,81%	2,514	1,257	0,94
Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	2	6,931	2,24%	6,931	3,465	2,60
Biochar*Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	4	1,736	0,56%	1,736	0,434	0,33
Error	12	168,25	54,32%	168,25	1,335	
	6	0		0		
Total	14	309,75	100,00%			
	3	0				

Source	P-Value
Biochar	0,389
Υπόστρωμα	0,817
Χρώμα Biochar	0,000
Biochar*Υπόστρωμα	0,753
Biochar*Χρώμα Biochar	0,393
Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	0,079
Biochar*Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	0,861
Error	
Total	

Απο την ανάλυση της διακύμανσης που παρουσιάζεται στον **πίνακα 3.3.**, παρατηρούμε ότι το χρώμα του βιοεξανθρακώματος, είναι ο μοναδικός στατιστικά σημαντικός παράγοντας ($p\text{-value} = 0,000 < 0,05$) επεξηγώντας το 40,26% της συνολικής διακύμανσης. Επομένως, τα διαφορετικά επίπεδα του παράγοντα (χρώμα βιοεξανθρακώματος) έχουν ισχυρή επίδραση στην φυτρωτική ικανότητα των φυτών (N) και κατ' επέκταση και στη βλαστικότητα των σπόρων.



Σχήμα 3.1. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για τον αριθμό (N) των φυτών ρόκας - φυτρωτική ικανότητα.

Πίνακας 3.4. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω των όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας (N).

Comparisons for N
Tukey Pairwise Comparisons: Χρώμα Biochar
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Χρώμα Biochar	N	Mean	Grouping
(Λευκό)	72	2,63889	A
(Μαύρο)	72	0,77778	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Πίνακας 3.5. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για τον αριθμό των φυτών (N).

Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Χρώμα Biochar	N	Mean	Grouping
(Λευκό)	72	2,63889	A
(Μαύρο)	72	0,77778	B

Means that do not share a letter are significantly different.

(Λευκό) > (Μαύρο)

Από το διάγραμμα των κυρίων δράσεων (**Σχήμα 3.1.**) και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**Πίνακας 3.4. και 3.5.**) φαίνεται ότι το λευκό χρώμα του βιοεξανθρακώματος σχετίζεται με το μεγαλύτερο αριθμό των φυτών (N).

3.1.2. Ύψος υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.6. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας (N).

General Linear Model: Ύψος versus Biochar; ... τρωμα; Χρώμα Biochar Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (no)
Υπόστρωμα	Fixed	3	(Έδαφος); (Τύρφη & Περλίτης); (Biosolid & Άμμος)
Χρώμα Biochar	Fixed	2	(Λευκό); (Μαύρο)

Στον **πίνακα 3.6.** παρουσιάζονται τα επίπεδα των παραγόντων. Ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα έχει τρία επίπεδα: (1:10), (1:2), (no, control). Ο παράγοντας υπόστρωμα τρία επίπεδα: (Έδαφος, τύρφη&περλίτης, biosolids&άμμος) και το χρώμα βιοεξανθρακώματος δυο επίπεδα (λευκό και μαύρο).

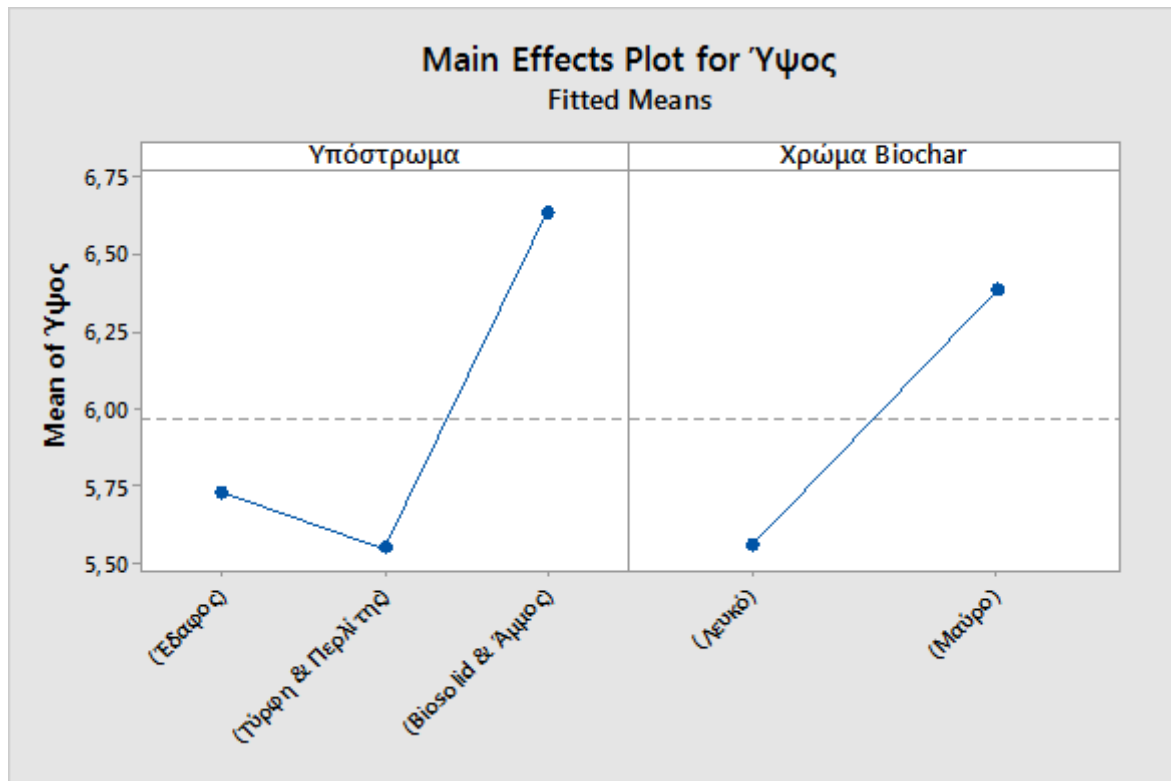
Πίνακας 3.7. Ανάλυση διακύμανσης για ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value
Biochar	2	9,170	4,34%	5,044	2,5221	1,65
Υπόστρωμα	2	20,365	9,64%	21,509	10,7545	7,04
Χρώμα Biochar	1	23,724	11,23%	15,909	15,9089	10,42
Biochar*Υπόστρωμα	4	0,578	0,27%	2,747	0,6868	0,45
Biochar*Χρώμα Biochar	2	5,676	2,69%	2,549	1,2745	0,83
Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	2	7,093	3,36%	8,531	4,2654	2,79
Biochar*Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	4	5,803	2,75%	5,803	1,4507	0,95
Error	91	138,933	65,74%	138,933	1,52673	
Total	108	211,342	100,00%			

Source	P-Value
Biochar	0,197
Υπόστρωμα	0,001
Χρώμα Biochar	0,002
Biochar*Υπόστρωμα	0,772
Biochar*Χρώμα Biochar	0,437
Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	0,066
Biochar*Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	0,439
Error	
Total	

Απο την ανάλυση της διακύμανσης που παρουσιάζεται στον **πίνακα 3.7.** παρατηρούμε ότι δυο παράγοντες είναι στατιστικά σημαντικοί, το υπόστρωμα ($p\text{-value} = 0,001 < 0,05$) και το χρώμα του βιοεξανθρακώματος ($p\text{-value} = 0,002 < 0,05$). Επομένως, τα διαφορετικά επίπεδα του παραγόντων (υπόστρωμα) και (χρώμα βιοεξανθρακώματος) έχουν επιδρούν στο ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.



Σχήμα 3.2. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.8. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.

Comparisons for 'Υψος'
Tukey Pairwise Comparisons: Υπόστρωμα
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Υπόστρωμα	N	Mean	Grouping
(Biosolid & Άμμος)	36	6,63064	A
(Εδαφος)	39	5,72815	B
(Τύρφη & Περλίτης)	34	5,54941	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Πίνακας 3.9. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.

Fisher Pairwise Comparisons: Υπόστρωμα Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Υπόστρωμα	N	Mean	Grouping
(Biosolid & Άμμος)	36	6,63064	A
(Έδαφος)	39	5,72815	B
(Τύρφη & Περλίτης)	34	5,54941	B

Means that do not share a letter are significantly different.

(Biosolid & Άμμος) > (Έδαφος) = (Τύρφη & Περλίτης)

Από το διάγραμμα των κυρίων δράσεων (**σχήμα 3.2.**) και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**Πίνακας 3.8 και 3.9**) προκύπτει ότι, το μεγαλύτερο ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών εμφανίζεται στο υπόστρωμα biosolids&άμμο. Τα υποστρώματα έδαφος και τύρφη & περλίτη, είναι ισότιμα.

Πίνακας 3.10. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.

Tukey Pairwise Comparisons: Χρώμα Biochar Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Χρώμα Biochar	N	Mean	Grouping
(Μαύρο)	41	6,38070	A
(Λευκό)	68	5,55811	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Πίνακας 3.11. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fisher για το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας.

Fisher Pairwise Comparisons: Χρώμα Biochar Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Χρώμα Biochar	N	Mean	Grouping
(Μαύρο)	41	6,38070	A
(Λευκό)	68	5,55811	B

Means that do not share a letter are significantly different.

(Μαύρο) > (Λευκό)

Από το διάγραμμα των κυρίων δράσεων (**σχήμα 3.2.**) και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**Πίνακας 3.10. και 3.11.**) προκύπτει ότι, το μεγαλύτερο ύψος των φυτών εμφανίζεται στο υπόστρωμα biosolids & άμμο και μαύρου χρώματος βιοεξανθράκωμα.

Το μαύρο χρώμα του βιοεξανθρακώματος σχετίζεται με το μεγαλύτερο ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.

3.1.3. Πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.12. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.

General Linear Model: Πλάτος versus Biochar; ... ωμα; Χρώμα Biochar Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (no)
Υπόστρωμα	Fixed	3	(Έδαφος); (Τύρφη & Περλίτης); (Biosolid & Άμμος)
Χρώμα Biochar	Fixed	2	(Λευκό); (Μαύρο)

Στον **πίνακα 3.12.** παρουσιάζονται τα επίπεδα των παραγόντων. Ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα έχει τρία επίπεδα: (1:10), (1:2), (no, control). Ο παράγοντας

υπόστρωμα τρια επίπεδα: (Έδαφος, τύρφη&περλίτης, biosolids&άμμος) και το χρώμα βιοεξανθρακώματος δυο επίπεδα (λευκό και μαύρο).

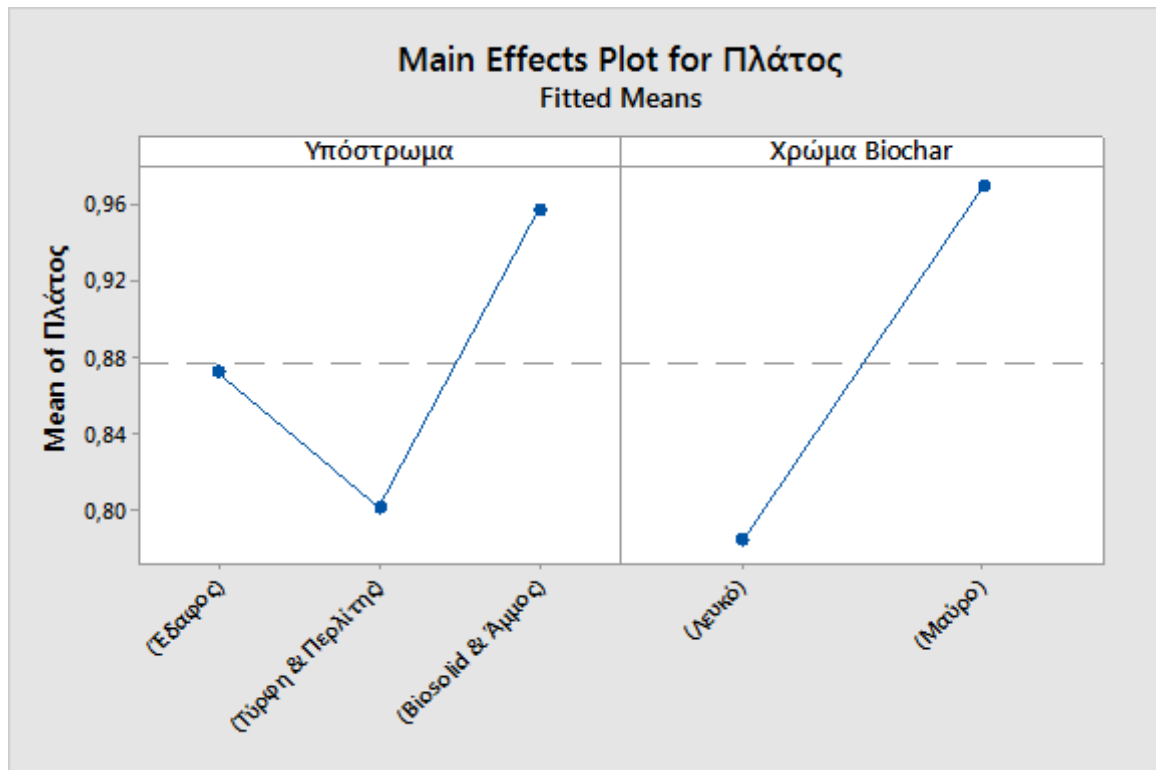
Πίνακας 3.13. Ανάλυση διακύμανσης για το πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value
Biochar	2	0,01489	0,34%	0,00920	0,004602	0,15
Υπόστρωμα	2	0,43214	9,78%	0,36593	0,182964	6,07
Χρώμα Biochar	1	0,95173	21,54%	0,79748	0,797479	26,46
Biochar*Υπόστρωμα	4	0,13827	3,13%	0,15274	0,038185	1,27
Biochar*Χρώμα Biochar	2	0,03494	0,79%	0,01796	0,008981	0,30
Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	2	0,11358	2,57%	0,11905	0,059524	1,97
Biochar*Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	4	0,05039	1,14%	0,05039	0,012598	0,42
Error	89	2,68278	60,71%	2,68278	0,030144	
Total	106	4,41873	100,00%			

Source	P-Value
Biochar	0,859
Υπόστρωμα	0,003
Χρώμα Biochar	0,000
Biochar*Υπόστρωμα	0,289
Biochar*Χρώμα Biochar	0,743
Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	0,145
Biochar*Υπόστρωμα*Χρώμα Biochar	0,795
Error	
Total	

Απο την ανάλυση της διακύμανσης που παρουσιάζεται στον **πίνακα 3.13.** παρατηρούμε οτι δυο παράγοντες είναι στατιστικά σημαντικοί, το υπόστρωμα ($p\text{-value} = 0,003 < 0,05$) και το χρώμα του βιοεξανθρακώματος ($p\text{-value} = 0,000 < 0,05$). Επομένως, τα διαφορετικά επίπεδα των παραγόντων (υπόστρωμα) και (χρώμα βιοεξανθρακώματος) επιδρούν στον πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.



Σχήμα 3.3. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.14. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.

Comparisons for Πλάτος
Tukey Pairwise Comparisons: Υπόστρωμα
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Υπόστρωμα	N	Mean	Grouping
(Biosolid & Άμμος)	36	0,957335	A
(Εδαφος)	37	0,871929	A B
(Τύρφη & Περλίτης)	34	0,800833	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Πίνακας 3.15. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.

Fisher Pairwise Comparisons: Υπόστρωμα Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Υπόστρωμα	N	Mean	Grouping
(Biosolid & Άμμος)	36	0,957335	A
(Έδαφος)	37	0,871929	B
(Τύρφη & Περλίτης)	34	0,800833	B

Means that do not share a letter are significantly different.

(Biosolid & Άμμος) > (Έδαφος) = (Τύρφη & Περλίτης)

Από το διάγραμμα των κυρίων δράσεων (**σχήμα 3.3.**) και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**πίνακες 3.14 και 3.15.**) προκύπτει ότι το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών εμφανίζεται στο υπόστρωμα biosolids & άμμο. Τα υποστρώματα έδαφος και τύρφη & περλίτη, είναι ισότιμα.

Πίνακας 3.16. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.

Tukey Pairwise Comparisons: Χρώμα Biochar Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Χρώμα Biochar	N	Mean	Grouping
(Μαύρο)	39	0,969767	A
(Λευκό)	68	0,783631	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Πίνακας 3.17. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας.

Fisher Pairwise Comparisons: Χρώμα Biochar Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Χρώμα Biochar	N	Mean	Grouping
(Μαύρο)	39	0,969767	A
(Λευκό)	68	0,783631	B

Means that do not share a letter are significantly different.

(Μαύρο) > (Λευκό)

Από το διάγραμμα των κυρίων δράσεων (**σχήμα 3.3.**) και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**πίνακας 3.16. και 3.17.**) προκύπτει ότι το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών εμφανίζεται στο υποστρώμα biosolids & άμμο και μαύρου βιοεξανθρακώματος.

Το μαύρο χρώμα του βιοεξανθρακώματος σχετίζεται με το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών.

Συνοπτικά,

- ο μεγαλύτερος αριθμός φυτών (N) ρόκας παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις βιοεξανθρακώματος λευκού χρώματος.
- το μεγαλύτερο ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών και το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις βιοεξανθρακώματος μαύρου χρώματος και υποστρώματος biosolid & άμμος.
- Στα υποστρώματα έδαφος και τύρφη & περλίτη, το ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών ρόκας είναι ισότιμο.
- το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις βιοεξανθρακώματος μαύρου χρώματος και υποστρώματος biosolid & άμμος.
- Στα υποστρώματα έδαφος και τύρφη & περλίτη, το πλάτος των φύλλων φυτών ρόκας είναι ισότιμο.

3.2. Αποτελέσματα ανάπτυξης των φυτών ρόκας από μετά τη μεταφύτευση έως τη συγκομιδή.

Στον πίνακα 3.18. που ακολουθεί παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα το σχέδιο του πειράματος.

3.2.1. Αριθμός των φυτών ρόκας (N).

Πίνακας 3.18. Σχέδιο του πειράματος σε μορφή πίνακα.

Tabulated Statistics: Biochar; Date

Rows: Biochar Columns: Date

	(10days)	(20days)	(30days)	(40days)	All
(1:10)	8	8	8	8	32
(1:2)	8	8	8	8	32
(No)	8	8	8	8	32
All	24	24	24	24	96

Cell Contents
Count

Στις στήλες παρουσιάζεται ο παράγοντας χρόνος (10 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, 20 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, κ.ο.κ.) και στις σειρές αναλογία πρόσμιξης του λευκού πλέον βιοεξανθρακώματος, στο υπόστρωμα (τύρφη&περλίτης). Οι επαναλήψεις σε κάθε συνδυασμένο επίπεδο είναι οκτώ.

Πίνακας 3.19. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και αριθμός των φυτών ρόκας (N).

General Linear Model: N versus Biochar; Date

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Date	Fixed	4	(10days); (20days); (30days); (40days)

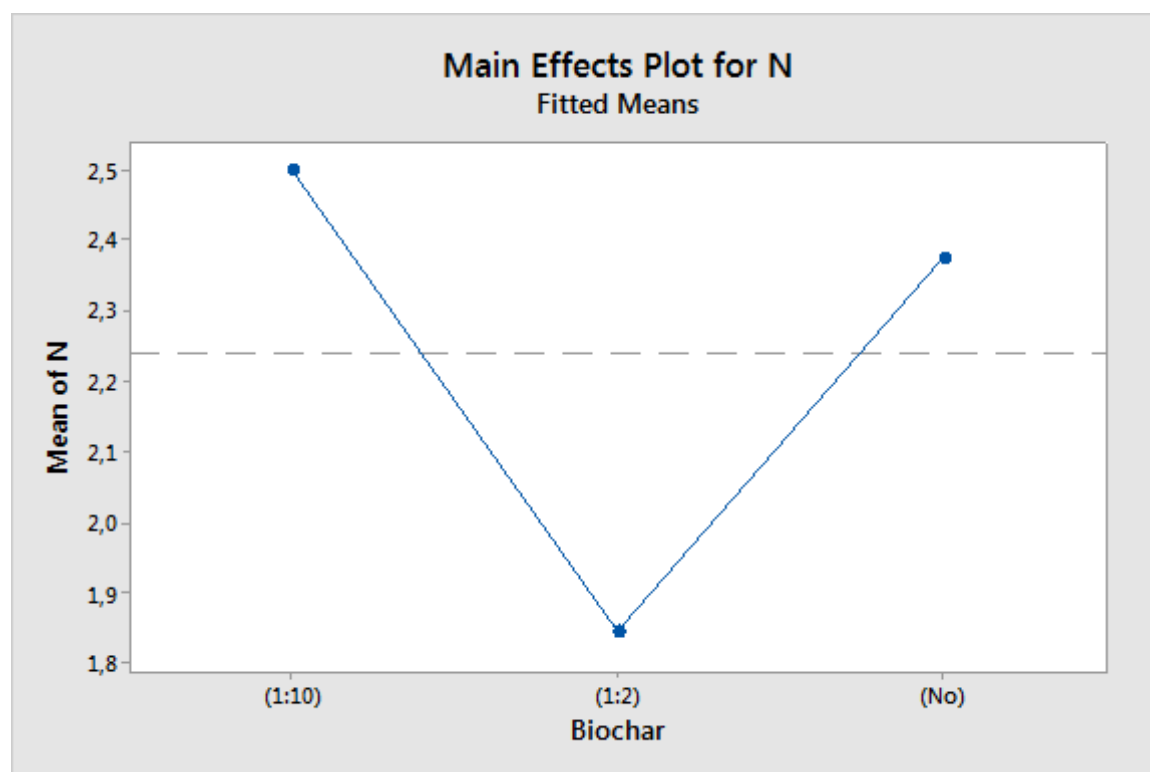
Στον πίνακα 3.19. παρουσιάζονται τα επίπεδα των παραγόντων. Ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα έχει τρία επίπεδα: (1:10), (1:2), (no, control) και ο παράγοντας χρόνος τέσσερα επίπεδα όπως παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα.

Πίνακας 3.20. Ανάλυση διακύμανσης για τον αριθμό των φυτών ρόκας (N).

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	7,7708	13,52%	7,7708	3,88542	6,71	0,002
Date	3	0,5312	0,92%	0,5312	0,17708	0,31	0,821
Biochar*Date	6	0,5625	0,98%	0,5625	0,09375	0,16	0,986
Error	84	48,6250	84,58%	48,6250	0,57887		
Total	95	57,4896	100,00%				

Απο την ανάλυση της διακύμανσης όπως παρουσιάζεται στον **πίνακα 3.20.** παρατηρούμε ότι το βιοεξανθράκωμα, είναι ο μοναδικός στατιστικά σημαντικός παράγοντας ($p\text{-value} = 0,002 < 0,05$) και τα διαφορετικά επίπεδα του, έχουν επίδραση στον αριθμό των φυτών (N).



Σχέδιο 3.4. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για τον αριθμό των φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.21. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας.

Comparisons for N
Fisher Pairwise Comparisons: Biochar
Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Biochar	N	Mean	Grouping
(1:10)	32	2,50000	A
(No)	32	2,37500	A
(1:2)	32	1,84375	B

Means that do not share a letter are significantly different.

(1:10) = (No) > (1:2)

Από το διάγραμμα των κυρίων δράσεων (**σχήμα 3.4.**) και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**πίνακας 3.21.**) προκύπτει ότι ο μεγαλύτερος αριθμός φυτών ρόκας εμφανίζεται στο επίπεδο βιοεξανθρακώματος (1:10) και στο επίπεδο απουσία βιοεξανθρακώματος, τα οποία είναι ισότιμα.

3.2.2. Ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.22. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.

General Linear Model: Ύψος φυτών versus Biochar; Date
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Date	Fixed	4	(10days); (20days); (30days); (40days)

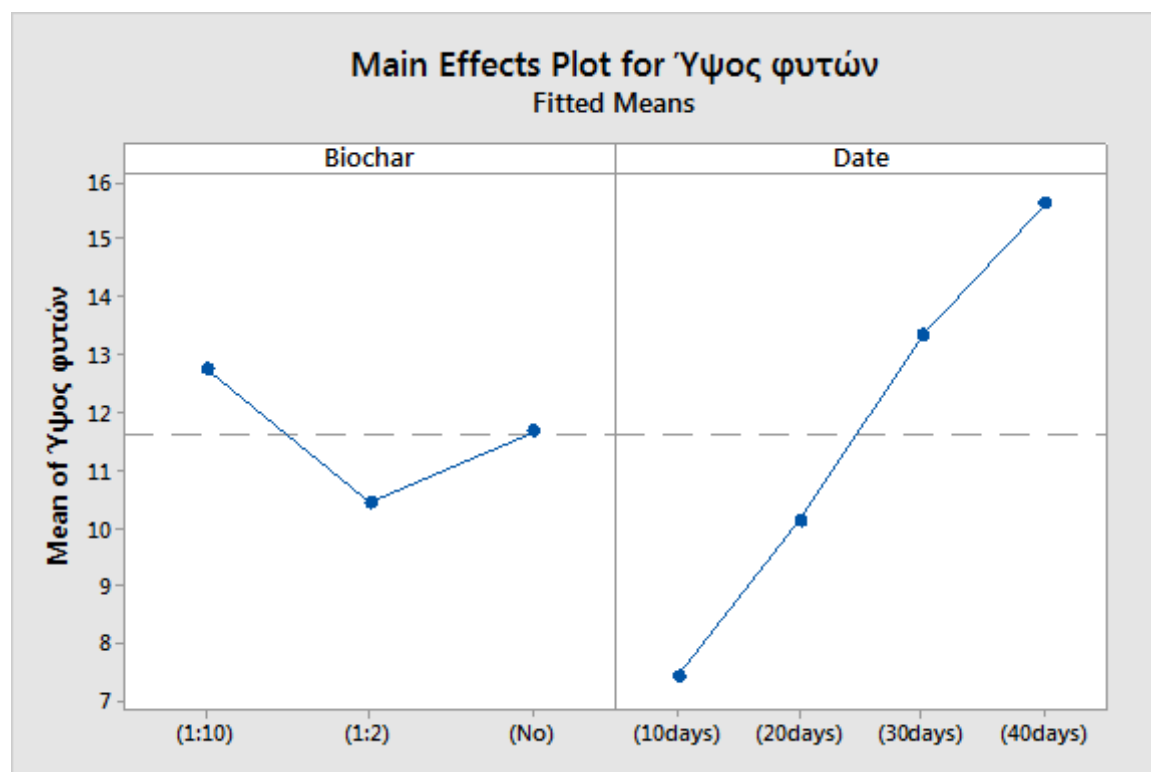
Στον **πίνακα 3.22.** παρουσιάζονται τα επίπεδα των παραγόντων. Ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα έχει τρία επίπεδα: (1:10), (1:2), (no, control). Ο παράγοντας υπόστρωμα τρία επίπεδα: (Έδαφος, τύρφη&περλίτης, biosolids&άμμος) και το χρώμα βιοεξανθρακώματος δυο επίπεδα (λευκό και μαύρο).

Πίνακας 3.23. Ανάλυση διακύμανσης για τον αριθμό των φυτών ρόκας (N).

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	86,00	6,23%	86,00	42,999	12,66	0,000
Date	3	928,54	67,26%	928,54	309,512	91,14	0,000
Biochar*Date	6	80,80	5,85%	80,80	13,466	3,97	0,002
Error	84	285,26	20,66%	285,26	3,396		
Total	95	1380,59	100,00%				

Απο την ανάλυση της διακύμανσης όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακας 3.23.** παρατηρούμε ότι οι παράγοντες βιοεξανθράκωμα ($p\text{-value} = 0,000 < 0,05$), χρόνος ($p\text{-value} = 0,000 < 0,05$) όπως και η αλληλεπίδραση τους ($p\text{-value} = 0,002 < 0,05$), είναι στατιστικά σημαντικοί και τα διαφορετικά επίπεδα τους έχουν ισχυρή επίδραση στον ύψος των φυτών.



Σχήμα 3.5. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.24. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας.

**Comparisons for Ύψος φυτών
Fisher Pairwise Comparisons: Biochar
Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence**

Biochar	N	Mean	Grouping
(1:10)	32	12,7647	A
(No)	32	11,6792	B
(1:2)	32	10,4479	C

Means that do not share a letter are significantly different.

(1:10) > (No) > (1:2)

Πίνακας 3.25. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για τον αριθμό των φυτών ρόκας.

**Fisher Pairwise Comparisons: Date
Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence**

Date	N	Mean	Grouping
(40days)	24	15,6106	A
(30days)	24	13,3510	B
(20days)	24	10,1297	C
(10days)	24	7,4311	D

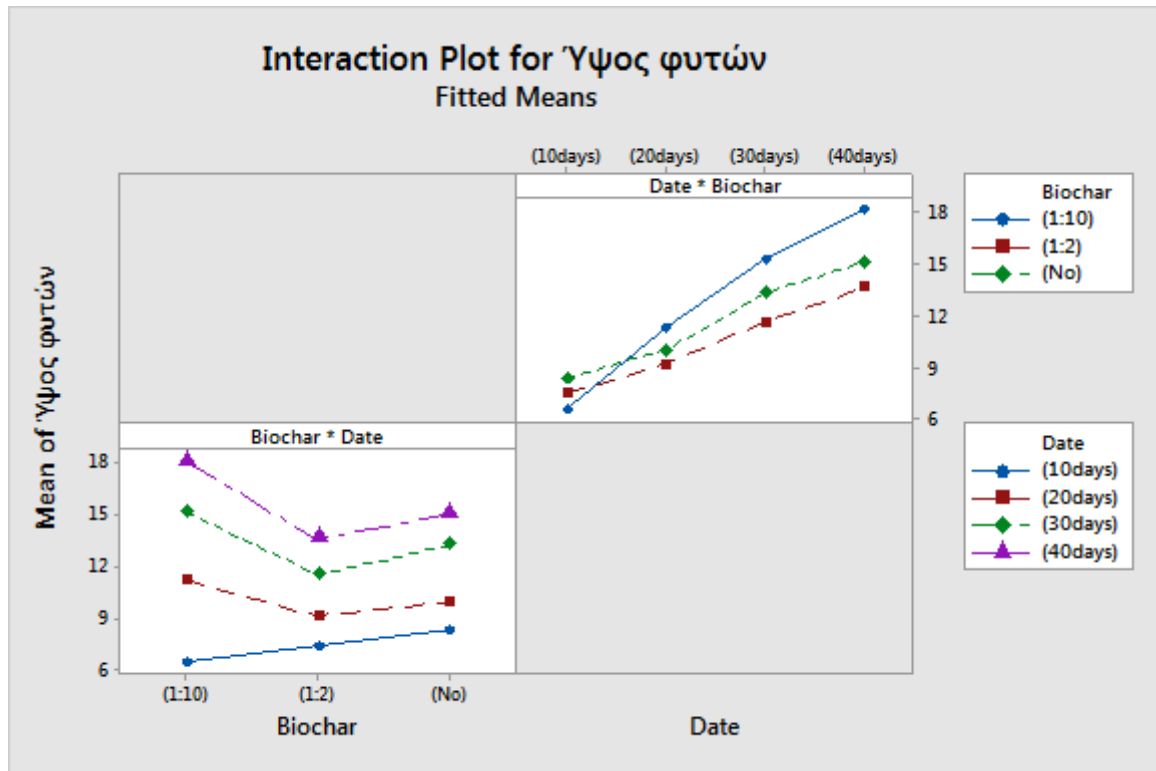
Means that do not share a letter are significantly different.

(40 days) > (30 days) > (20 days) > (10 days)

Από το διάγραμμα (**σχήμα 3.5.**) των κυρίων δράσεων και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**πίνακας 3.24 και 3.25.**) προκύπτουν τα εξής:

Το μεγαλύτερο ύψος των φυτών εμφανίζεται στο επίπεδο με προσθήκη βιοεξανθρακώματος 1:10. Το επίπεδο απουσία βιοεξανθρακώματος (μάρτυρας) εμφανίζει μεγαλύτερο ύψος φυτών από το επίπεδο βιοεξανθρακώματος 1:2.

Το ύψος των φυτών αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, με το μεγαλύτερο ύψος των φυτών να εμφανίζεται 40 ημέρες μετά από τη μεταφύτευση, το αμέσως μικρότερο ύψος φυτών 30 ημέρες μετά τη μεταφύτευση κ.ο.κ.



Σχήμα 3.6. Διάγραμμα αλληλεπιδράσεων α' τάξης (Χρόνος * επίπεδο βιοεξανθρακώματος) για το ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών ρόκας.

Από το διάγραμμα (**σχήμα 3.6.**) της αλληλεπίδρασης πρώτης τάξεως των παραγόντων (Biochar και date) προκύπτει ότι:

Στη μεταχείριση (1:10) παρατηρείται ταχεία μεταβολή στην αύξηση του ύψος των φυτών διαχρονικά.

Στις υπόλοιπες δυο μεταχειρίσεις (No, μάρτυρας) και (1:2) το ύψος των φυτών μεταβάλλεται το ίδιο καθώς είναι παράλληλα.

3.2.3. Πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.26. Παράγοντες και τα επίπεδα τους και πλάτος των φύλλων των φυτών.

General Linear Model: Πλάτος φύλλων versus Biochar; Date Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Date	Fixed	4	(10days); (20days); (30days); (40days)

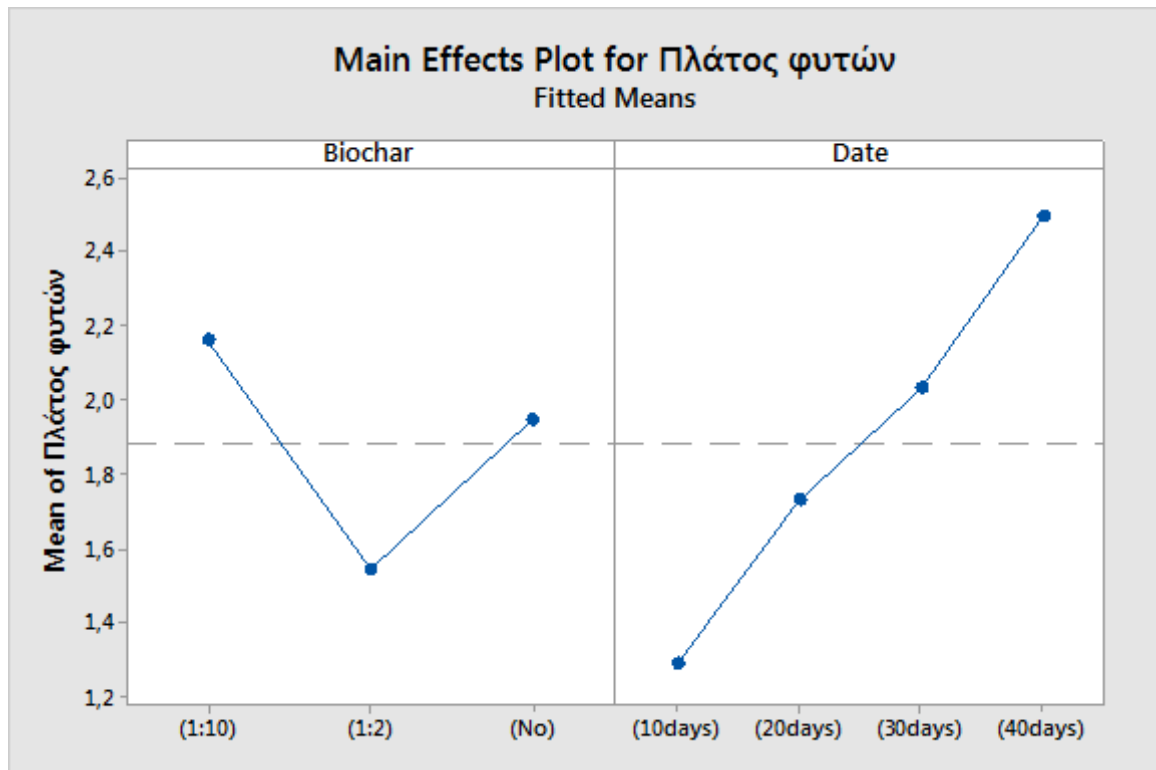
Στον **πίνακα 3.26.** παρουσιάζονται τα επίπεδα των παραγόντων. Ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα έχει τρία επίπεδα: (1:10), (1:2), (no, control). Ο παράγοντας υπόστρωμα τρία επίπεδα: (Έδαφος, τύρφη&περλίτης, biosolids&άμμος) και το χρώμα βιοεξανθρακώματος δυο επίπεδα (λευκό και μαύρο).

Πίνακας 3.27. Ανάλυση διακύμανσης για πλάτος των φύλλων των φυτών.

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	6,322	18,83%	6,322	3,16113	37,81	0,000
Date	3	18,527	55,18%	18,527	6,17563	73,86	0,000
Biochar*Date	6	1,701	5,07%	1,701	0,28351	3,39	0,005
Error	84	7,024	20,92%	7,024	0,08362		
Total	95	33,574	100,00%				

Απο την ανάλυση της διακύμανσης (**πίνακας 3.27.**) παρατηρούμε ότι οι παράγοντες βιοεξανθράκωμα ($p\text{-value} = 0,000 < 0,05$) και χρόνος ($p\text{-value} = 0,000 < 0,05$) όπως και η αλληλεπίδραση τους ($p\text{-value} = 0,005 < 0,05$), είναι στατιστικά σημαντικοί και τα διαφορετικά επίπεδα τους έχουν ισχυρή επίδραση στον πλάτος των φύλλων των φυτών.



Σχήμα 3.7. Διάγραμμα κυρίων δράσεων για το πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.

Πίνακας 3.28. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσω όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Tukey για τον αριθμό των φυτών ρόκας.

Comparisons for Πλάτος φυτών
Fisher Pairwise Comparisons: Biochar
Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

Biochar	N	Mean	Grouping
(1:10)	32	2,16205	A
(No)	32	1,94641	B
(1:2)	32	1,54287	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Πίνακας 3.29. Ομαδοποίηση πληροφοριών και σύγκριση μέσων όρων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Fischer για τον αριθμό των φυτών ρόκας.

Fisher Pairwise Comparisons: Date
Grouping Information Using Fisher LSD Method and 95% Confidence

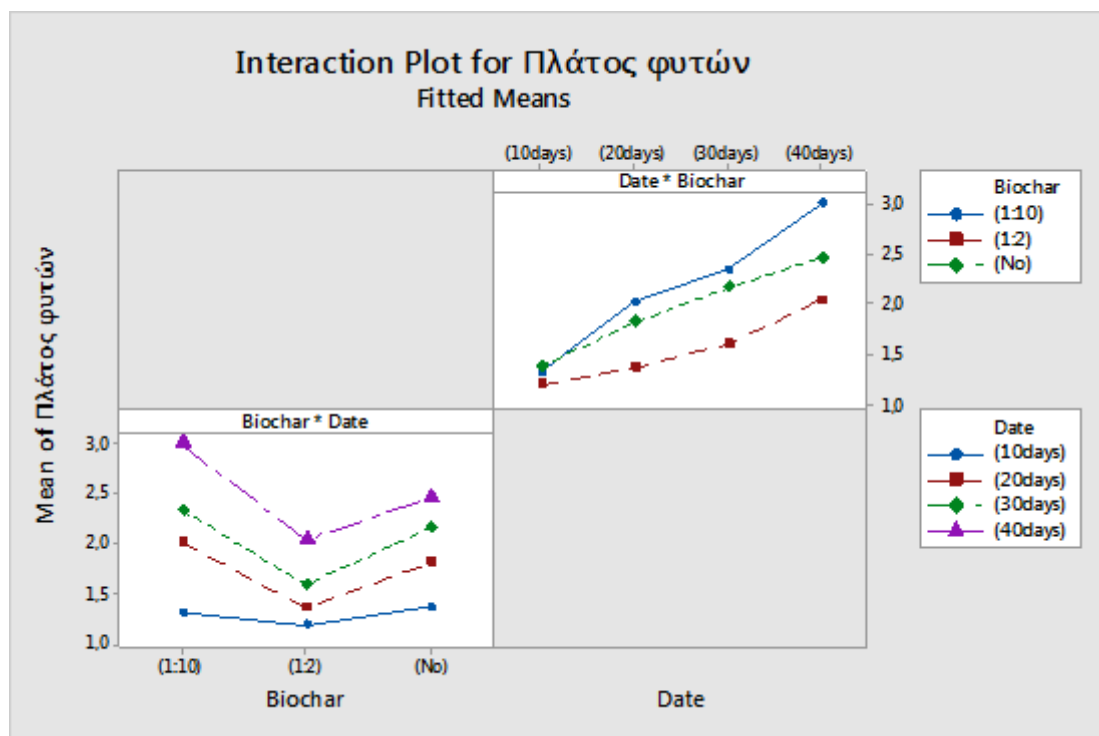
Date	N	Mean	Grouping
(40days)	24	2,49250	A
(30days)	24	2,02825	B
(20days)	24	1,72727	C
(10days)	24	1,28708	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Από το διάγραμμα των κυρίων δράσεων (**σχήμα 3.7.**) και τον έλεγχο σύγκρισης των μέσων όρων (**πίνακας 3.28. και 3.29.**) προκύπτουν τα εξής:

Το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών εμφανίζεται στο επίπεδο προσθήκης βιοεξανθρακώματος 1:10. Το επίπεδο απουσία βιοεξανθρακώματος εμφανίζει μεγαλύτερο πλάτος φύλλων από το επίπεδο βιοεξανθρακώματος 1:2.

Το πλάτος των φύλλων των φυτών αυξάνεται διαχρονικά, με το μεγαλύτερο πλάτος να εμφανίζεται 40 ημέρες μετά από τη μεταφύτευση.



Σχήμα 3.8. Διάγραμμα αλληλεπιδράσεων α' τάξης (Χρόνος * επίπεδο βιοεξανθρακώματος) για το πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.

Από το διάγραμμα της αλληλεπίδρασης πρώτης τάξεως των παραγόντων (Biochar και date) προκύπτει ότι:

Στη μεταχείριση (1:2) παρατηρείται βραδεία μεταβολή στην αύξηση του πλάτους των φύλλων των φυτών διαχρονικά.

Στη μεταχείριση (1:10) παρατηρείται ταχεία μεταβολή στην αύξηση του πλάτους των φύλλων φυτών διαχρονικά.

Συμπερασματικά,

Για να πετύχουμε μεγάλο ύψος του υπέργειου τμήματος φυτών καθώς και πλάτος φύλλων πρέπει να προσθέσουμε 1:10 βιοεξανθράκωμα και να αφήσουμε τα φυτά να αναπτυχθούν για 40 ημέρες σε υπόστρωμα (τύρφη&περλίτη).

Η προσθήκη βιοεξανθράκωματος 1:2 έχει αρνητική επίδραση στο ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών και το πλάτος των φύλλων τους.

3.3. Προσδιορισμός συγκεντρώσεων στους φυτικούς ιστούς των φυτών ρόκας.

Στο **πίνακα 3.30.** που ακολουθεί, παρουσιάζεται σε μορφή πίνακα το σχέδιο του πειράματος. Στις στήλες παρουσιάζεται ο παράγοντας φυτικός ιστός με δυο επίπεδα (υπέργειος) και (υπόγειος) και στις σειρές ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα. Έχουμε μια επανάληψη σε κάθε συνδυασμένο επίπεδο.

Πίνακας 3.30. Σχέδιο του πειράματος σε μορφή πίνακα.

Tabulated Statistics: Biochar; Φυτικός ιστός

Rows: Biochar Columns: Φυτικός ιστός

	(Υπέργειος)	(Υπόγειος)	All
(1:10)	1	1	2
(1:2)	1	1	2
(No)	1	1	2
All	3	3	6
Cell Contents Count			

Πίνακας 3.31. Παράγοντες και τα επίπεδα τους για το μακροθρεπτικό στοιχείο Mg.

General Linear Model: % Mg versus Biochar; Φυτικός ιστός
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

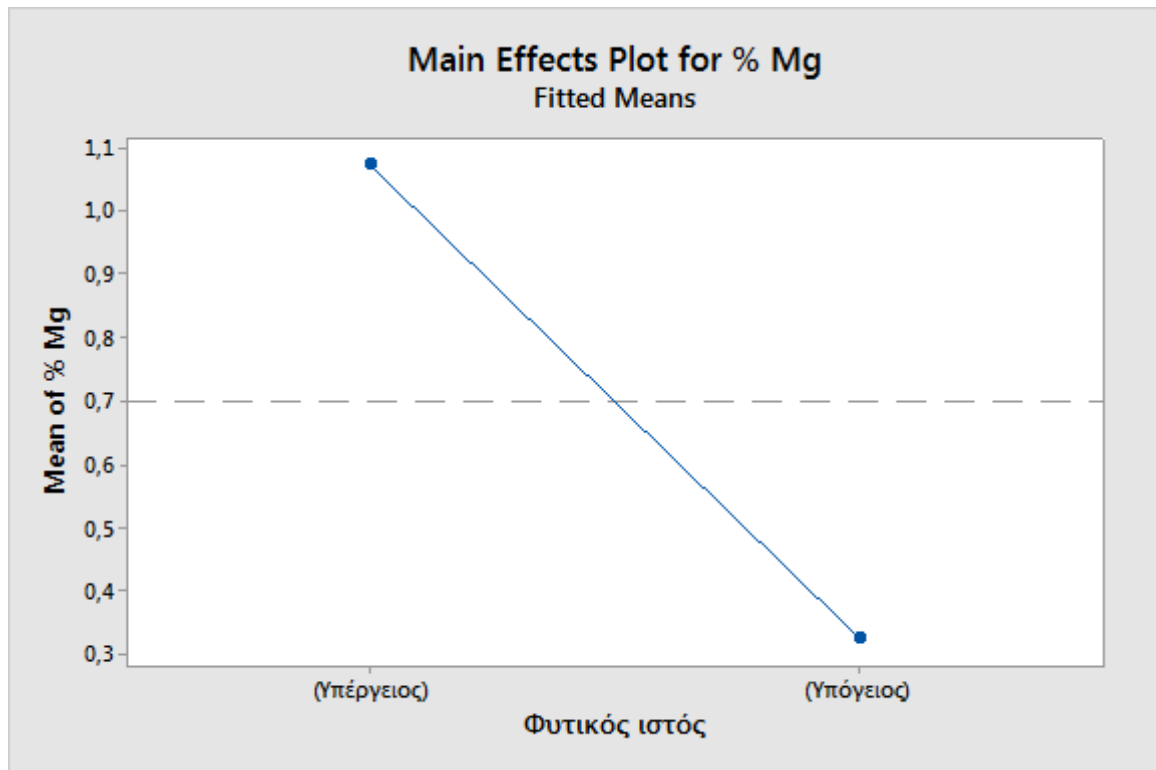
Στον **πίνακα 3.31.** παρουσιάζονται τα επίπεδα των παραγόντων. Ο παράγοντας βιοεξανθράκωμα έχει τρία επίπεδα: (1:10), (1:2), (no, control). Ο παράγοντας φυτικός ιστός έχει δυο επίπεδα (υπέργειος) και (υπόγειος).

Πίνακας 3.32. Ανάλυση διακύμανσης για το μακροθρεπτικό στοιχείο Mg.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	0,10428	0,05214	2,01	0,333
Φυτικός ιστός	1	0,83552	0,83552	32,13	0,030
Error	2	0,05200	0,02600		
Total	5	0,99181			

Απο την ανάλυση της διακύμανσης (**Πίνακας 3.32**) παρατηρούμε ότι ο παράγοντας ο φυτικός ιστός είναι ο μόνος στατιστικά σημαντικός παράγοντας ($p\text{-value} = 0,030 < 0,05$) και τα επίπεδα του έχουν επίδραση στη συγκέντρωση Mg στο φυτό.



Σχήμα 3.9. Διάγραμμα κυρίων δράσεων της συγκέντρωσης του μακροστοιχείου Mg στα δυο επίπεδα φυτικού ιστού (υπέργειο και υπόγειο).

Η συγκέντρωση Mg είναι μεγαλύτερη στον υπέργειο φυτικό ιστό, απ' ότι στον υπόγειο.

Το μοναδικό συστατικό το οποίο έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση στον υπέργειο απ' ότι στον υπόγειο φυτικό ιστό είναι το Mg.

Απο την ανάλυση της διακύμανσης για τα υπόλοιπα μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά καθώς και για τα βαρέα μέταλλα (παράρτημα Β), παρατηρούμε ότι ο φυτικός ιστός δεν είναι στατιστικά σημαντικός παράγοντας (p -value > 0,05) και τα επίπεδα του δεν έχουν επίδραση στη συγκέντρωση των υπολοίπων μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικά καθώς και των βαρέων μετάλλων στο φυτό, όπως φαίνεται στον **πίνακα 3.33.** που ακολουθεί.

Πίνακας 3.33. Αποτελέσματα τιμών p-value των μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων.

Στοιχεία		Παράγοντας	p - value
Μακροθρεπτικά	P	Βιοεξανθράκωμα	0,083
		Φυτικός ιστός	0,209
	K	Βιοεξανθράκωμα	0,121
		Φυτικός ιστός	0,183
	Ca	Βιοεξανθράκωμα	0,943
		Φυτικός ιστός	0,869
Μικροθρεπτικά	Fe	Βιοεξανθράκωμα	0,635
		Φυτικός ιστός	0,178
	Mn	Βιοεξανθράκωμα	0,166
		Φυτικός ιστός	0,057
	Cu	Βιοεξανθράκωμα	0,736
		Φυτικός ιστός	0,063
	Zn	Βιοεξανθράκωμα	0,094
		Φυτικός ιστός	0,344
Βορέα μέταλλα	Cd	Βιοεξανθράκωμα	0,165
		Φυτικός ιστός	0,743
	Ni	Βιοεξανθράκωμα	0,500
		Φυτικός ιστός	0,252
	Cr	Βιοεξανθράκωμα	0,345
		Φυτικός ιστός	0,138
	As	Βιοεξανθράκωμα	0,500
		Φυτικός ιστός	0,316
	Pb	Βιοεξανθράκωμα	0,500
		Φυτικός ιστός	0,423

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα.

Ο μεγαλύτερος αριθμός φυτών (N) ρόκας παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις με βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος.

Το μεγαλύτερο ύψος του υπεργείου τμήματος των φυτών και το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας, παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις με βιοεξανθράκωμα μαύρου χρώματος και υπόστρωμα biosolids & άμμος.

Από τη μεταφύτευση μέχρι και τη συγκομιδή των φυτών ρόκας παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Το μεγαλύτερο ύψος του υπεργείου τμήματος των φυτών και το μεγαλύτερο πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας, παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις με βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη & περλίτη (1:10).
- Ο μεγαλύτερος αριθμός φυτών ρόκας (N) εμφανίζεται στο επίπεδο βιοεξανθράκωματος βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη & περλίτη (1:10) και στο επίπεδο απουσία βιοεξανθράκωματος (μάρτυρας), τα οποία είναι ισότιμα.
- Η μεταχείριση με βιοεξανθράκωμα βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη & περλίτη (1:2) έχει αρνητική επίδραση στο ύψος του υπεργείου τμήματος των φυτών και το πλάτος των φύλλων των φυτών ρόκας.

Από την αλληλεπίδραση πρώτης τάξεως των παραγόντων (Βιοεξανθράκωμα και χρόνος) προκύπτει ότι:

- Στη μεταχείριση με βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη & περλίτης (1:10) παρατηρήθηκε ταχεία μεταβολή στην αύξηση του ύψους του υπεργείου τμήματος των φυτών ρόκας διαχρονικά.
- Στις μεταχειρίσεις χωρίς προσθήκη βιοεξανθράκωματος (μάρτυρας) και βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη & περλίτης (1:2) το ύψος του υπεργείου τμήματος των φυτών μεταβάλλεται το ίδιο.

- Στη μεταχείριση με βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη & περλίτης (1:2) παρατηρήθηκε βραδεία μεταβολή στην αύξηση του πλάτους των φύλλων των φυτών ρόκας διαχρονικά.
- Στη μεταχείριση με βιοεξανθράκωμα βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη & περλίτης (1:10) παρατηρήθηκε ταχεία μεταβολή στην αύξηση του πλάτους των φύλλων φυτών ρόκας διαχρονικά.

Επομένως, για να επιτευχθεί το μεγαλύτερο ύψος του υπεργείου τμήματος των φυτών καθώς και το μεγαλύτερο πλάτος φύλλων των φυτών ρόκας η καταλληλότερη μεταχείριση είναι: Βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη&περλίτης (1:10).

Η μεταχείριση βιοεξανθράκωμα βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : τύρφη&περλίτης (1:2) έχει αρνητική επίδραση στο ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών και στο πλάτος των φύλλων τους.

Ο **πίνακας 4.1.** που ακολουθεί μας δείχνει συνοπτικά τα αποτελέσματα του πειράματος. Στην πρώτη στήλη παρουσιάζονται οι μεταχειρίσεις αρχικά, στην εγκατάσταση του πειράματος. Στη δεύτερη στήλη παρουσιάζονται οι μεταχειρίσεις που επέζησαν μέχρι τη συγκομιδή των φυτών.

Πίνακας 4.1. Μεταχειρίσεις του πειράματος αρχικά και στη συγκομιδή.

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ		
	ΑΡΧΙΚΑ	ΣΥΓΚΟΜΗΔΗ
Λευκό χρώμα βιοεξανθράκωματος	Έδαφος (Μάρτυρας)	-
	Τύρφη & περλίτης (Μάρτυρας)	Τύρφη & περλίτης (Μάρτυρας)
	Biosolids & άμμος (Μάρτυρας)	-
	Βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : έδαφος (1:10)	-
	Βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : (Τύρφη & περλίτης) (1:10)	Βιοεξανθράκωμα : (Τύρφη & περλίτης) (1:10)
	Βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : (Biosolids & άμμος) (1:10)	-
	Βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : έδαφος (1:2)	-
	Βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : (Τύρφη & περλίτης) (1:2)	Βιοεξανθράκωμα : (Τύρφη & περλίτης) (1:2)
	Βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος : (Biosolids & άμμος) (1:2)	-
Μαύρο χρώμα βιοεξανθράκωματος	Έδαφος (Μάρτυρας)	-
	Τύρφη & περλίτης (Μάρτυρας)	-
	Biosolids & άμμος (Μάρτυρας)	-
	Βιοεξανθράκωμα μαύρου χρώματος : έδαφος (1:10)	-
	Βιοεξανθράκωμα μαύρου χρώματος : (Τύρφη & περλίτης) (1:10)	-
	Βιοεξανθράκωμα μαύρου χρώματος : (Biosolids & άμμος) (1:10)	-
	Βιοεξανθράκωμα μαύρου χρώματος : έδαφος (1:2)	-
	Βιοεξανθράκωμα μαύρου χρώματος : (Τύρφη & περλίτης) (1:2)	-
	Βιοεξανθράκωμα μαύρο : (Biosolids & άμμος) (1:2)	-

Απο την ανάλυση της διακύμανσης για τα υπόλοιπα μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά καθώς και για τα βαρέα μέταλλα, παρατηρούμε ότι ο παράγοντας φυτικός ιστός δεν είναι στατιστικά σημαντικός ($p\text{-value} > 0,05$) και τα επίπεδα του δεν έχουν επίδραση στη συγκέντρωση των υπολοίπων μακροθρεπτικών

και μικροθρεπτικών συστατικά καθώς και των βαρέων μετάλλων στο φυτό, όπως φαίνεται στον **πίνακα 3.33** που ακολουθεί.

Πίνακας 3.33. Αποτελέσματα τιμών p-value των μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων, στα οποία δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στον υπέργειο και υπόγειο φυτικό ιστό των φυτών ρόκας.

Συστατικά		Παράγοντας	p - value	
Μακροθρεπτικά	P	Βιοεξανθράκωμα	0,083	
		Φυτικός ιστός	0,209	
	K	Βιοεξανθράκωμα	0,121	
		Φυτικός ιστός	0,183	
	Ca	Βιοεξανθράκωμα	0,943	
		Φυτικός ιστός	0,869	
Μικροθρεπτικά	Fe	Βιοεξανθράκωμα	0,635	
		Φυτικός ιστός	0,178	
	Mn	Βιοεξανθράκωμα	0,166	
		Φυτικός ιστός	0,057	
	Cu	Βιοεξανθράκωμα	0,736	
		Φυτικός ιστός	0,063	
	Zn	Βιοεξανθράκωμα	0,094	
		Φυτικός ιστός	0,344	
	Βαρέα μέταλλα	Cd	Βιοεξανθράκωμα	0,165
			Φυτικός ιστός	0,743
Ni		Βιοεξανθράκωμα	0,500	
		Φυτικός ιστός	0,252	
Cr		Βιοεξανθράκωμα	0,345	
		Φυτικός ιστός	0,138	
As		Βιοεξανθράκωμα	0,500	
		Φυτικός ιστός	0,316	
Pb		Βιοεξανθράκωμα	0,500	
		Φυτικός ιστός	0,423	

Από τον προσδιορισμό των συστατικών προκύπτει ότι:

- Το μόνο συστατικό το οποίο έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση στον υπέργειο απ' ότι στον υπόγειο φυτικό ιστό είναι το **Mg** (p-value = 0,030 < 0,05) .
- Στις συγκεντρώσεις των υπολοίπων μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών στοιχείων καθώς και των βαρέων μετάλλων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο υπέργειο και υπόγειο φυτικό ιστό φυτών ρόκας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Καραγκούνη Καλλιόπη (2019). Διερεύνηση της αξιοποίησης υπολειμμάτων από θερμική επεξεργασία αποβλήτων. Διπλωματική διατριβή. Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης.

Παγουλάτου Μαριάνθη (2008). Μελέτη μιας νέας βακτηρίωσης της ρόκας. Πτυχιακή εργασία. ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα ΒΙΟΘΕΚΑ.

Παναγιωτόπουλος Π. Κυριάκος. Εδαφολογία. Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Γαρταγάνης (2008).

Σταμόπουλος Κ. Δημήτριος. Έντομα αποθηκών μεγάλων καλλιεργειών & λαχανικών. Θεσσαλονίκη, εκδόσεις ΖΗΤΗ (1999).

Douglas A. Skoug, F. James Holler, Timothy A. Newman. Αρχές ενόργανης ανάλυσης, ε' έκδοση, εκδόσεις Κωσταράκης, Αθήνα (2005).

Ξενόγλωσση

Abit, S.M.; Bolster, C.H.; Cai, P.; Walker, S.L. (2012). "Influence of feedstock and pyrolysis temperature of biochar amendments on transport of *Escherichia coli* in saturated and unsaturated soil". *Environmental Science and Technology*. 46 (15): 8097–8105.

Abit, S.M.; Bolster, C.H.; Cantrell, K.B.; Flores, J.Q.; Walker, S.L. (2014). "Transport of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, and microspheres in biochar-amended soils with different textures". *Journal of Environmental Quality*. 43: 371–378.

Biosolids Applied to Land: Advancing Standards and Practices. National Academy of Sciences. 2002. p. 22.

Bolster, C.H.; Abit, S.M. (2012). "Biochar pyrolyzed at two temperatures affects *Escherichia coli* transport through a sandy soil". *Journal of Environmental Quality*. 41: 124–133.

Cerutti, G., Bertolé, S., Casartelli, A., and D'amato, A. (1996). Nitrati e nitriti in ortaggi e aromatizzanti vegetali del commercio. *La difesa delle piante*, 19, 35-40.

Chesworth, Ward (2008). Encyclopedia of soil science (PDF). Dordrecht, The Netherlands.

Cornet A., Escadafal R., 2009. Is biochar "green"? CSFD Viewpoint. Montpellier, France. 8 pp.

Crow, W. T. "Organic Matter, Green Manures and Cover Crops For Nematode Management." University of Florida. The Institute of Food and Agricultural Sciences Feb. 2009 Web 10 Oct. 2009

Danoff-Burg, James A. (2017) "The terrestrial influence: geology and soils". Earth Institute Center for Environmental Sustainability.

Elad, Y.; Rav David, D.; Meller Harel, Y.; Borenshtein, M.; Kalifa Hananel, B.; Silber, A.; Graber, E.R. (2010). "Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent". *Phytopathology*. 100 (9): 913–921.

Fahey, J. W., Zalcmann, A. T., and Talalay, P. (2001). The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, 56(1), 5-51.

Frank, R. (1998). The use of biosolids from wastewater treatment plants in agriculture. *Environmental Management and Health*, 9(4), 165-169.

Gaunt, John L.; Lehmann, Johannes (2008). "Energy Balance and Emissions Associated with Biochar Sequestration and pyrolysis Bioenergy Production". *Environmental Sciences & Technologies*. 42 (11): 4152–4158. Bibcode:2008EnST...42.4152G. doi:10.1021/es071361i.

Glaser, Bruno; Lehmann, Johannes; Zech, Wolfgang (2002). "Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review". *Biology and Fertility of Soils*. 35.

Gohil, M.B. (2000). *Land Treatment of Waste Water*. New Age International. p. 6.

Gorham, E (1957). "The development of peatlands". *Quarterly Review of Biology*. 32: 145–66. doi:10.1086/401755.

Graber, E.R., Tsechansky, L., Gerstl, Z., Lew, B. (2011) High surface area biochar negatively impacts herbicide efficacy. *Plant and Soil*, 353:95-106

Holst, B., and Williamson, G. (2004). A critical review of the bioavailability of glucosinolates and related compounds. *Natural product reports*, 21(3), 425-447.

Hugron, Sandrine; Bussi eres, Julie; Rochefort, Line (2013). Tree plantations within the context of ecological restoration of peatlands: practical guide (PDF) (Report). Laval, Qu ebec, Canada: Peatland Ecology Research Group (PERG). Retrieved 22 February 2014.

Ibn Oaf, H.S. (2004). *Eruca vesicaria* (L.) Cav. In: Grubben, G.J.H. & Denton, O.A. (Editors). PROTA 2: Vegetables/L egumes. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands.

Ingham, E. (2015). Interview with Dr Elaine Ingham. <https://web.archive.org/web/20150217052426/http://www.needfire.info/home/interview-with-dr-elaine-ingham>. Extract 15/06-2018.

Jaiswal, A.K.; Elad, Y.; Graber, E.R.; Frenkel, O. (2014). "Rhizoctonia solani suppression and plant growth promotion in cucumber as affected by biochar pyrolysis temperature, feedstock and concentration". *Soil Biology and Biochemistry*. 69: 110–118.

Johannes Lehmann, John Gaunt, and Marco Rondon (2006). Biochar Sequestration In Terrestrial Ecosystems Mitigation and Adaptation Strategies for Global change 403, 404

Keck, A. S., and Finley, J. W. (2004). Cruciferous vegetables: cancer protective mechanisms of glucosinolate hydrolysis products and selenium. *Integrative Cancer Therapies*, 3(1), 5-12.

Koukounaras, A., Siomos, A. S., and Sfakiotakis, E. (2006). 1-Methylcyclopropene prevents ethylene induced yellowing of rocket leaves. *Postharvest biology and technology*, 41(1), 109-111.

Krinsley, D.H., Smalley, I.J. (1972). Sand. *American Scientist* 60, 286-291

Kuzyakov, Y. (2010). "Priming effects: Interactions between living and dead organic matter". *Soil Biology & Biochemistry*. 42 (9): 1363–1371.

Laird, David A. (2008). "The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality". *Journal of Agronomy*. Archived from the original on 15 May 2008.

Lehmann, J. (2007). A Handful of Carbon. *Nature*. 447, 143-144.

Lehmann, Johannes (2007a). "Bio-energy in the black"

Lehmann, Johannes (2007a). "Bio-energy in the black" (PDF). *Front Ecol Environ*. 5 (7). Retrieved 1 October 2011.

Lehmann, Johannes (2007b). "A handful of carbon". *Nature*. 447 (7141): 143–144. Bibcode:2007Natur.447..143L. doi:10.1038/447143a. Retrieved 11 January 2008.

Lehmann, Johannes, and Jose Pereira da Silva Jr., Christoph Steiner, Thomas Nehls, Wolfgang Zech, & Bruno Glaser. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, 249 *Plant & Soil* 343, 355.

McCarthy, David F. (2006). *Essentials of soil mechanics and foundations: basic geotechnics* (7th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

Meller Harel, Y., Elad, Y., Rav David, D., Borenstein, M., Schulcani, R., Lew, B., Graber, E.R. (2012) Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. *Plant and Soil*, 357:245-257.

Mohamedien S. (1995). Rocket cultivation in Egypt. *Rocket Genetic*, 61-62.

Pignone D. (1997). Present study of rocket genetic resources and conservation activities. In Padulosi S. & Pignone D. (ed.) *Rocket: A Mediterranean crop for the world*, pp. 2-12. International Plant Genetic Resources Institute, Legnaro, Italy, 13-14 December, 1996.

Ricigliano Kristin (2010). *Terra Pretas: Charcoal Amendments Influence on Relict Soils and Modern Agriculture*.

- Roberts M. (2000). Edible and medicinal flowers. New Africa Books Ltd.
- Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., and Todaro, E. (1999). A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(13), 1882-1888.
- Silber, A.; Levkovitch, I.; Graber, E. R. (2010). "pH-dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: Agronomic implications". *Environmental Science & Technology*. 44 (24): 9318–9323.
- Smith, S. R. (2009). Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1904), 4005-4041
- Solomon, Dawit, Johannes Lehmann, Janice Thies, Thorsten Schafer, Biqing Liang, James Kinyangi, Eduardo Neves, James Petersen, Flavio Luizao, and Jan Skjemstad, (2007). Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic carbon in Amazonian Dark Earths, *71 Geochimica et cosmochemica ACTA* 2285, 2286.
- Susan M. (2010). <https://wimastergardener.org/article/arugula/>. Extracted 28/05/2018.
- Taylor, Sterling A. & Ashcroft, Gaylen L. (1972). *Physical edaphology: the physics of irrigated and nonirrigated soils*. San Francisco, California: W.H. Freeman.
- Voroney, R. Paul & Heck, Richard J. (2007). "The soil habitat". In Paul, Eldor A. *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (PDF) (3rd ed.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. pp. 25–49.
- Wang, L.K; Shamma, N.K; Hung, Yung-Tse (2007). *Biosolids treatment processes*. Totowa, N.J: Humana Press.
- Wastewater engineering: treatment and reuse* (4th ed.). Metcalf & Eddy, Inc., McGraw Hill, USA. 2003. p. 1449.
- Winsley, Peter (2007). "Biochar and Bioenergy Production for Climate Change Mitigation" (PDF). *New Zealand Science Review*. 64 (5): 5

Yaniv Z. Schafferman D., Amar Z. (1998). Tradition, uses and biodiversity of rocket (Eruca Sativa, Brassicaceae) in Israel. Economy Botany 52:394-400.

Ιστοσελίδες στο διαδύκτιο

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, 1988 <http://www.fao.org/docrep/x5872e/x5872e00.htm#Contents>.
(Ανάκτηση 27/11/2018).

Παράρτημα Α. Πίνακες δεδομένων.

Αποτελέσματα μετρήσεων φυτών ρόκας.

A/A	Biochar	Υπόστρωμα	Χρώμα Biochar	N	Μέσο ύψος (cm)	Μέσο πλάτος φύλλων (cm)	Εύρος ύψους (cm)	Εύρος πλάτους (cm)
1	1:10	Έδαφος	Λευκό	1	3,500	0,575	0,0	0,4
2	1:10	Έδαφος	Λευκό	3	3,000	0,625	6,5	0,2
3	1:10	Έδαφος	Λευκό	4	6,150	0,825	7,0	0,6
4	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	4,300	0,825	1,6	0,6
5	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	5,400	0,550	1,8	0,5
6	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	5,200	1,025	4,6	0,6
7	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	4,050	0,800	5,1	0,7
8	1:10	Έδαφος	Λευκό	2	6,850	0,850	0,5	0,5
9	1:2	Έδαφος	Λευκό	3	4,530	0,700	2,1	0,5
10	1:2	Έδαφος	Λευκό	5	5,240	0,750	4,5	0,1
11	1:2	Έδαφος	Λευκό	2	5,650	0,300	2,3	0,6
12	1:2	Έδαφος	Λευκό	1	1,100	0,400	0,0	0,3
13	1:2	Έδαφος	Λευκό	3	6,070	0,875	0,6	0,8
14	1:2	Έδαφος	Λευκό	3	6,170	0,875	1,2	0,4
15	1:2	Έδαφος	Λευκό	2	5,350	0,950	1,7	0,5
16	1:2	Έδαφος	Λευκό	1	7,400	0,875	0,0	0,4
17	no	Έδαφος	Λευκό	4	3,950	0,800	1,6	0,7
18	no	Έδαφος	Λευκό	2	7,400	1,125	1,8	1,0
19	no	Έδαφος	Λευκό	5	6,440	0,875	4,2	0,4
20	no	Έδαφος	Λευκό	0	*	*	*	*

21	no	Έδαφος	Λευκό	2	3,450	0,425	2,9	0,2
22	no	Έδαφος	Λευκό	3	4,370	0,950	5,4	0,9
23	no	Έδαφος	Λευκό	1	8,000	0,950	0,0	0,5
24	no	Έδαφος	Λευκό	5	4,780	0,850	2,4	0,9
25	1:10	Έδαφος	Μαύρο	2	3,750	0,900	3,5	0,2
26	1:10	Έδαφος	Μαύρο	3	6,170	0,840	2,5	0,5
27	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	7,300	0,950	0,0	0,5
28	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	5,500	0,900	0,0	0,2
29	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	7,900	*	0,0	*
30	1:10	Έδαφος	Μαύρο	1	6,500	1,150	0,0	0,8
31	1:10	Έδαφος	Μαύρο	3	5,070	0,900	4,9	0,4
32	1:10	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	0,0	0,0
33	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	7,500	1,080	0,0	0,7
34	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	7,000	0,850	0,0	0,4
35	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	6,000	0,900	0,0	0,2
36	1:2	Έδαφος	Μαύρο	2	5,850	0,870	0,9	0,3
37	1:2	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	*	*
38	1:2	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	0,0	*
39	1:2	Έδαφος	Μαύρο	1	9,000	*	0,0	*
40	1:2	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	*	*
41	no	Έδαφος	Μαύρο	3	4,670	1,080	3,5	0,7
42	no	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	*	*
43	no	Έδαφος	Μαύρο	1	6,500	1,125	0,0	0,5
44	no	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	*	*
45	no	Έδαφος	Μαύρο	3	4,500	0,817	0,5	0,4

46	no	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	0,0	0,0
47	no	Έδαφος	Μαύρο	1	7,500	1,130	0,0	0,7
48	no	Έδαφος	Μαύρο	0	*	*	0,0	*
49	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,100	0,725	2,3	0,2
50	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,570	0,800	1,1	0,3
51	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	4	4,375	0,700	2,6	0,3
52	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,950	0,975	2,5	0,4
53	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,370	0,775	3,0	0,4
54	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	6,300	0,775	1,0	0,4
55	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	1	5,000	0,700	0,0	0,3
56	1:10	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	4	4,975	0,725	2,0	0,6
57	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	6,300	0,700	1,4	0,3
58	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	5	6,420	0,600	3,0	0,3
59	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	6,630	0,600	0,7	0,3
60	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	1	6,200	0,900	0,0	0,7
61	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,750	0,925	4,5	0,6
62	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,870	0,575	4,0	0,4
63	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,670	0,850	2,5	0,5
64	1:2	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,400	0,700	0,4	0,3
65	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	4	5,475	0,850	6,1	0,5
66	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	2	5,800	0,850	0,6	0,5
67	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,570	0,675	0,6	0,4
68	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,430	0,800	2,1	0,3
69	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	7,530	1,050	2,5	0,9
70	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	5	6,160	0,725	1,4	0,2

71	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	4,870	0,550	1,6	0,1
72	no	Τύρφη & περλίτης	Λευκό	3	5,230	0,575	3,6	0,4
73	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	0,0	*
74	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	4,800	0,700	0,0	0,3
75	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
76	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
77	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
78	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,700	0,830	0,0	0,3
79	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	7,000	0,900	0,0	0,3
80	1:10	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
81	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
82	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
83	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	6,000	0,875	0,0	0,3
84	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	4,100	0,800	0,0	0,0
85	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
86	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
87	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
88	1:2	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
89	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
90	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,600	0,900	0,0	0,2
91	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	6,200	0,950	0,0	0,5
92	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,100	0,900	0,0	0,6
93	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	2	5,550	0,925	0,9	0,6
94	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	1	5,900	0,800	0,0	0,0
95	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*

96	no	Τύρφη & περλίτης	Μαύρο	0	*	*	*	*
97	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	6,225	0,800	0,9	0,7
98	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	4,700	0,725	0,0	0,4
99	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	6,200	1,100	0,0	1,1
100	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	5	5,900	0,850	2,2	0,5
101	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	7,030	0,900	3,9	0,3
102	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	0	*	*	*	*
103	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	0	*	*	*	*
104	1:10	Biosolids & άμμος	Λευκό	2	3,950	0,575	1,9	0,4
105	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	6,500	0,700	3,4	0,3
106	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	7,200	0,875	0,0	0,5
107	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	5,600	0,850	0,0	0,5
108	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	4,675	0,875	5,9	0,8
109	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	4,375	0,675	3,7	0,4
110	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	5,730	0,775	3,8	0,4
111	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	7,170	1,050	2,9	0,9
112	1:2	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	7,100	0,750	0,0	0,5
113	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	5	5,740	0,650	2,7	0,5
114	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	4	6,875	0,775	1,9	0,4
115	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	2	5,500	0,550	1,8	0,5
116	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	4,970	0,850	3,9	0,5
117	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	5	5,440	0,725	1,5	0,6
118	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	0	*	*	*	*
119	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	3	6,600	0,975	5,5	0,8
120	no	Biosolids & άμμος	Λευκό	1	7,500	1,200	0,0	0,7

121	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	7,900	1,100	0,0	1,0
122	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,400	1,400	0,0	1,4
123	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
124	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	5,700	0,770	0,0	0,4
125	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
126	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
127	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	4,300	1,540	0,0	0,8
128	1:10	Biosolids & άμμος	Μαύρο	2	7,300	1,110	4,2	0,9
129	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
130	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
131	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	9,600	*	0,0	*
132	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,000	1,280	0,0	0,8
133	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	9,300	1,400	0,0	0,8
134	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	7,800	1,067	0,0	1,0
135	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,900	1,240	0,0	0,9
136	1:2	Biosolids & άμμος	Μαύρο	2	6,250	0,925	3,5	1,3
137	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	3	6,670	0,810	2,0	0,7
138	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
139	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
140	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	8,200	1,050	0,0	0,7
141	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	5,600	0,900	0,0	0,4
142	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*
143	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	1	7,350	1,160	0,0	0,3
144	no	Biosolids & άμμος	Μαύρο	0	*	*	*	*

Αποτελέσματα μετρήσεων φυτών ρόκας (από τη μεταφύτευση μέχρι και τη συγκομιδή).

A/A	Biochar	Date	N	Μέσο ύψος (cm)	Μέσο πλάτος φύλλων (cm)
1	1:10	1η μέτρηση	1	5,700	1,200
2	1:10	1η μέτρηση	3	6,150	1,440
3	1:10	1η μέτρηση	3	4,700	0,816
4	1:10	1η μέτρηση	2	6,300	1,366
5	1:10	1η μέτρηση	3	6,930	1,541
6	1:10	1η μέτρηση	3	7,266	0,962
7	1:10	1η μέτρηση	1	8,600	1,800
8	1:10	1η μέτρηση	4	6,525	1,335
9	1:2	1η μέτρηση	2	7,500	1,250
10	1:2	1η μέτρηση	2	6,600	1,340
11	1:2	1η μέτρηση	3	6,900	1,033
12	1:2	1η μέτρηση	1	6,800	0,975
13	1:2	1η μέτρηση	2	6,850	1,142
14	1:2	1η μέτρηση	2	7,100	0,890
15	1:2	1η μέτρηση	1	9,600	1,500
16	1:2	1η μέτρηση	2	7,900	1,370
17	no	1η μέτρηση	3	7,466	1,650
18	no	1η μέτρηση	2	10,000	1,290
19	no	1η μέτρηση	3	8,866	1,386
20	no	1η μέτρηση	3	6,800	1,318
21	no	1η μέτρηση	3	8,700	1,615
22	no	1η μέτρηση	3	7,600	1,180
23	no	1η μέτρηση	2	9,133	1,269
24	no	1η μέτρηση	2	8,360	1,222
25	1:10	2η μέτρηση	1	10,600	2,528
26	1:10	2η μέτρηση	3	9,600	1,883
27	1:10	2η μέτρηση	3	9,550	1,963
28	1:10	2η μέτρηση	2	10,750	1,500
29	1:10	2η μέτρηση	3	10,700	2,482
30	1:10	2η μέτρηση	3	13,866	1,853
31	1:10	2η μέτρηση	1	13,400	2,157
32	1:10	2η μέτρηση	4	11,350	1,735
33	1:2	2η μέτρηση	2	9,050	1,395
34	1:2	2η μέτρηση	2	8,550	1,425
35	1:2	2η μέτρηση	3	7,400	1,147
36	1:2	2η μέτρηση	1	8,700	1,075
37	1:2	2η μέτρηση	2	8,850	1,388
38	1:2	2η μέτρηση	2	8,100	1,107

39	1:2	2η μέτρηση	1	14,100	1,662
40	1:2	2η μέτρηση	2	8,700	1,666
41	no	2η μέτρηση	2	8,133	1,780
42	no	2η μέτρηση	2	11,750	1,680
43	no	2η μέτρηση	3	10,666	1,870
44	no	2η μέτρηση	3	8,650	1,584
45	no	2η μέτρηση	3	10,666	2,088
46	no	2η μέτρηση	2	9,050	1,500
47	no	2η μέτρηση	2	10,633	2,335
48	no	2η μέτρηση	2	10,300	1,652
49	1:10	3η μέτρηση	1	14,800	2,740
50	1:10	3η μέτρηση	3	13,000	2,380
51	1:10	3η μέτρηση	3	13,550	2,291
52	1:10	3η μέτρηση	2	13,700	2,072
53	1:10	3η μέτρηση	3	14,330	2,820
54	1:10	3η μέτρηση	3	17,450	2,005
55	1:10	3η μέτρηση	1	18,800	2,427
56	1:10	3η μέτρηση	4	15,950	1,970
57	1:2	3η μέτρηση	2	11,850	1,752
58	1:2	3η μέτρηση	2	10,650	1,650
59	1:2	3η μέτρηση	3	9,800	1,545
60	1:2	3η μέτρηση	1	10,800	1,116
61	1:2	3η μέτρηση	2	11,650	1,630
62	1:2	3η μέτρηση	2	9,233	1,294
63	1:2	3η μέτρηση	1	17,400	1,854
64	1:2	3η μέτρηση	2	11,350	1,896
65	no	3η μέτρηση	2	11,130	2,152
66	no	3η μέτρηση	2	14,900	1,800
67	no	3η μέτρηση	3	14,466	2,170
68	no	3η μέτρηση	3	12,500	2,415
69	no	3η μέτρηση	3	12,433	2,273
70	no	3η μέτρηση	2	13,450	1,938
71	no	3η μέτρηση	2	15,533	2,588
72	no	3η μέτρηση	2	11,700	1,900
73	1:10	4η μέτρηση	1	17,600	3,050
74	1:10	4η μέτρηση	3	18,850	3,300
75	1:10	4η μέτρηση	3	16,950	2,720
76	1:10	4η μέτρηση	2	15,550	3,080
77	1:10	4η μέτρηση	3	18,900	2,870
78	1:10	4η μέτρηση	3	19,430	2,600
79	1:10	4η μέτρηση	1	21,600	3,700
80	1:10	4η μέτρηση	4	16,025	2,600

81	1:2	4η μέτρηση	2	14,450	2,020
82	1:2	4η μέτρηση	2	11,750	2,200
83	1:2	4η μέτρηση	2	11,770	2,090
84	1:2	4η μέτρηση	1	11,880	1,440
85	1:2	4η μέτρηση	2	13,800	2,350
86	1:2	4η μέτρηση	2	11,900	1,760
87	1:2	4η μέτρηση	1	19,700	2,030
88	1:2	4η μέτρηση	2	13,650	2,380
89	no	4η μέτρηση	2	12,570	2,290
90	no	4η μέτρηση	2	17,200	2,080
91	no	4η μέτρηση	2	17,330	2,220
92	no	4η μέτρηση	2	12,770	2,940
93	no	4η μέτρηση	3	14,970	2,680
94	no	4η μέτρηση	2	16,250	2,300
95	no	4η μέτρηση	2	17,300	2,600
96	no	4η μέτρηση	2	12,460	2,520

Προσδιορισμός συγκεντρώσεων στους φυτικούς ιστούς

Μακροθρεπτικά συστατικά

Biochar	Φυτικός ιστός	% Mg	% P	% K	% Ca
1:10	Υπέργειος	0,985	0,519	2,421	1,746
1:2	Υπέργειος	1,377	0,531	2,865	1,302
no	Υπέργειος	0,853	0,177	1,093	2,993
1:10	Υπόγειος	0,354	0,730	1,988	2,256
1:2	Υπόγειος	0,368	0,864	1,652	2,158
no	Υπόγειος	0,254	0,173	0,894	1,150

Μικροθρεπτικά συστατικά

Biochar	Φυτικός ιστός	(mg/kg) Fe	(mg/kg) Mn	(mg/kg) Cu	(mg/kg) Zn
1:10	Υπέργειος	117,004	32,769	41,694	105,449
1:2	Υπέργειος	119,214	40,314	41,386	107,338
no	Υπέργειος	141,418	33,166	43,523	148,852
1:10	Υπόγειος	240,087	19,508	36,677	111,718
1:2	Υπόγειος	316,786	31,734	33,011	88,404
no	Υπόγειος	152,372	12,396	30,465	131,450

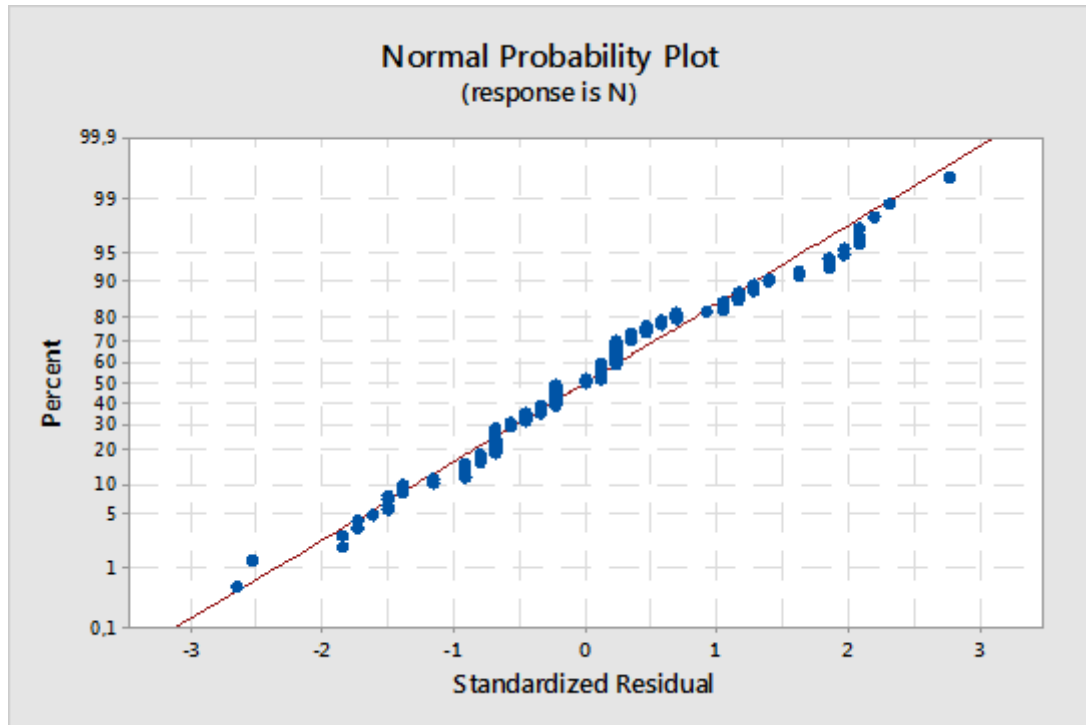
Βαρέα μέταλλα

Biochar	Φυτικός ιστός	(mg/kg) Cd	(mg/kg) Ni	(mg/kg) Cr	(mg/kg) As	(mg/kg) Pb
1:10	Υπέργειος	*	*	3,180	*	*
1:2	Υπέργειος	1,022	*	4,004	*	*
no	Υπέργειος	*	*	1,579	*	*
1:10	Υπόγειος	0,075	2,268	10,094	1,335	*
1:2	Υπόγειος	0,723	*	19,295	6,343	3,234
no	Υπόγειος	0,477	0,884	4,934	*	*

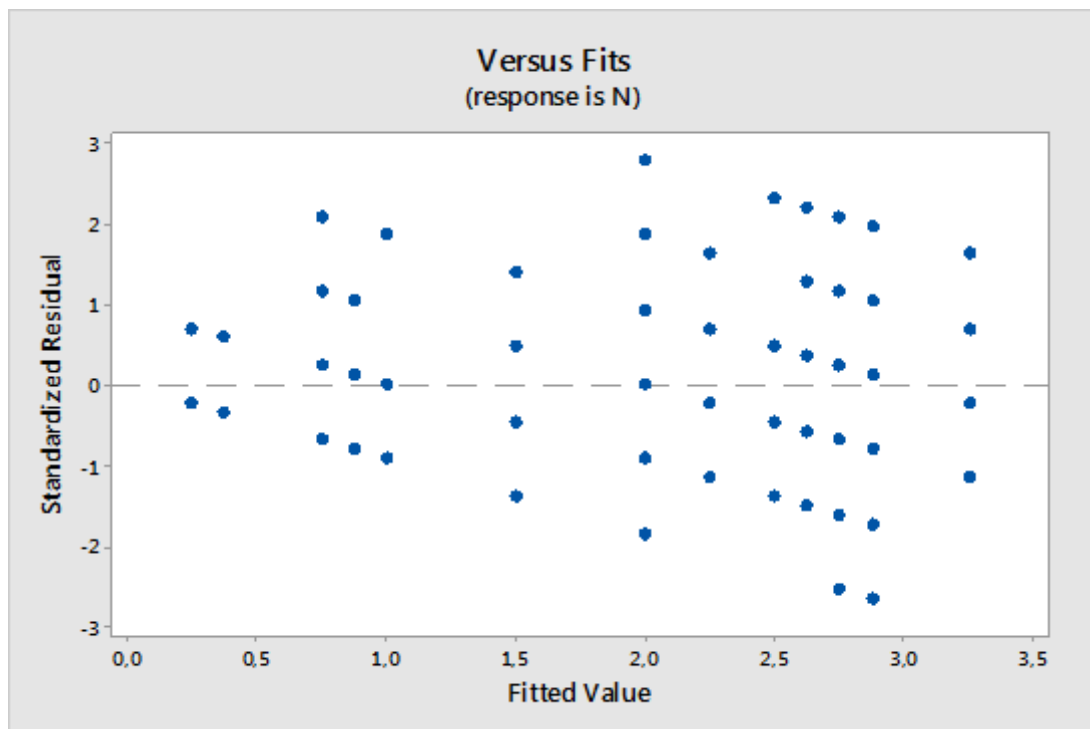
Παράρτημα Β.

Διαγράμματα κανονικότητας και ομοιογένειας 3-way ANOVA.

Αριθμός των φυτών (N).

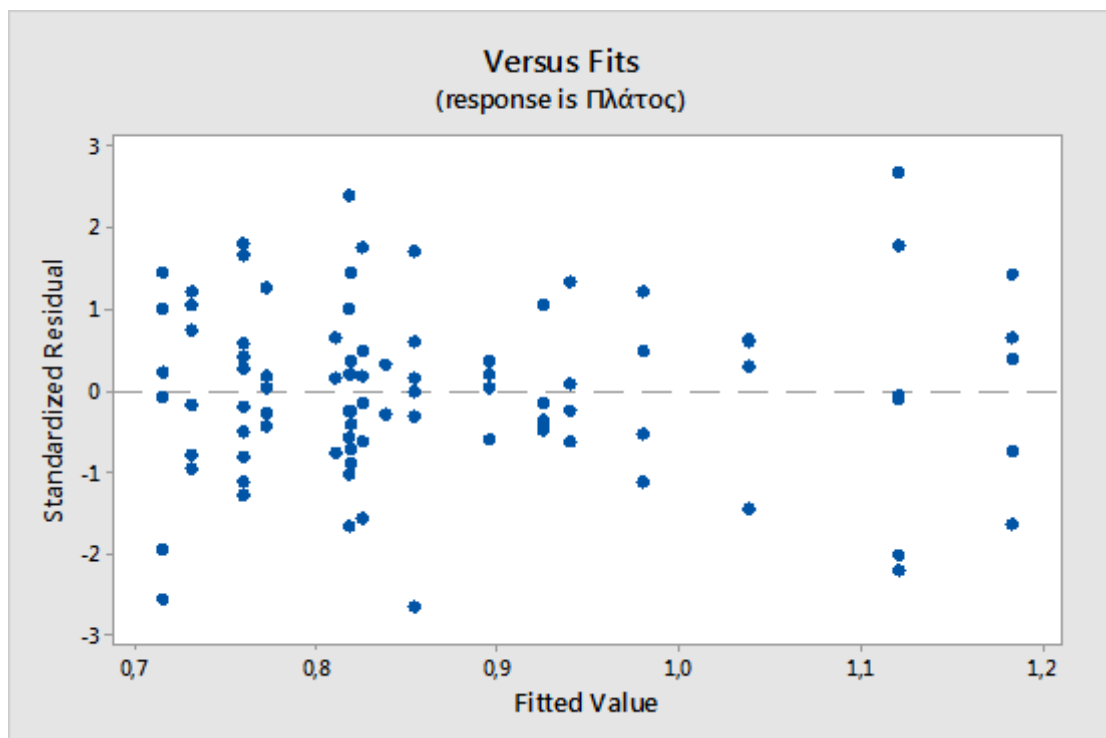
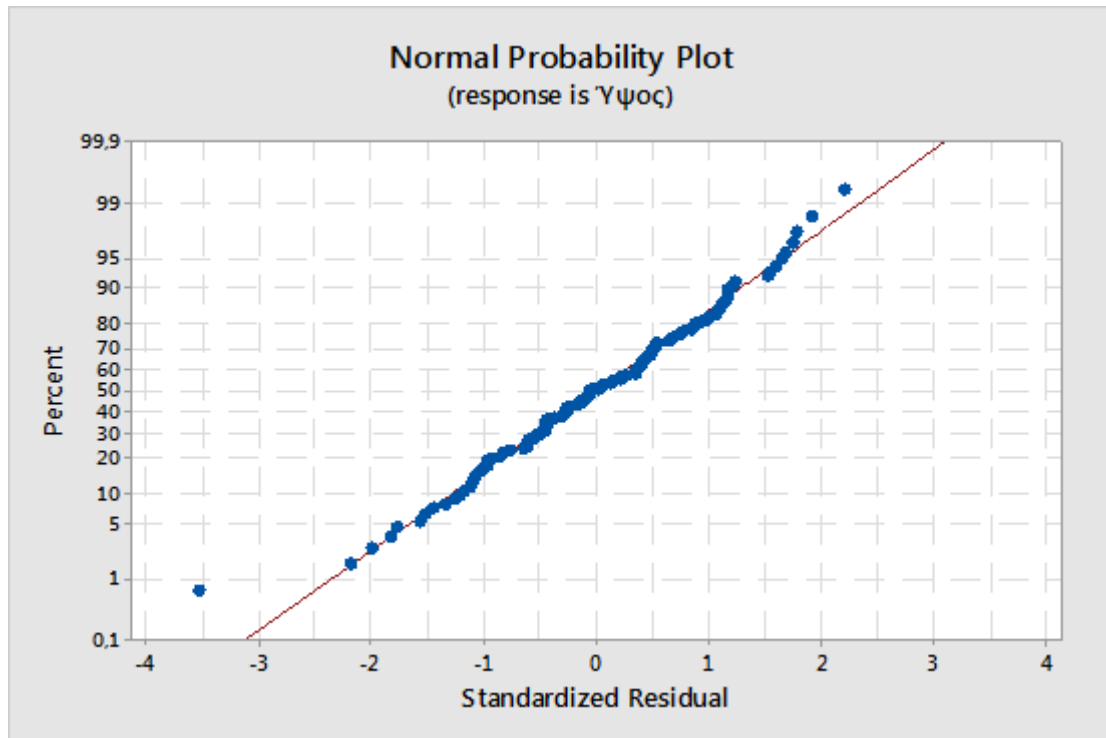


Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι τα υπολείματα ακολουθούν κανονική κατανομή.

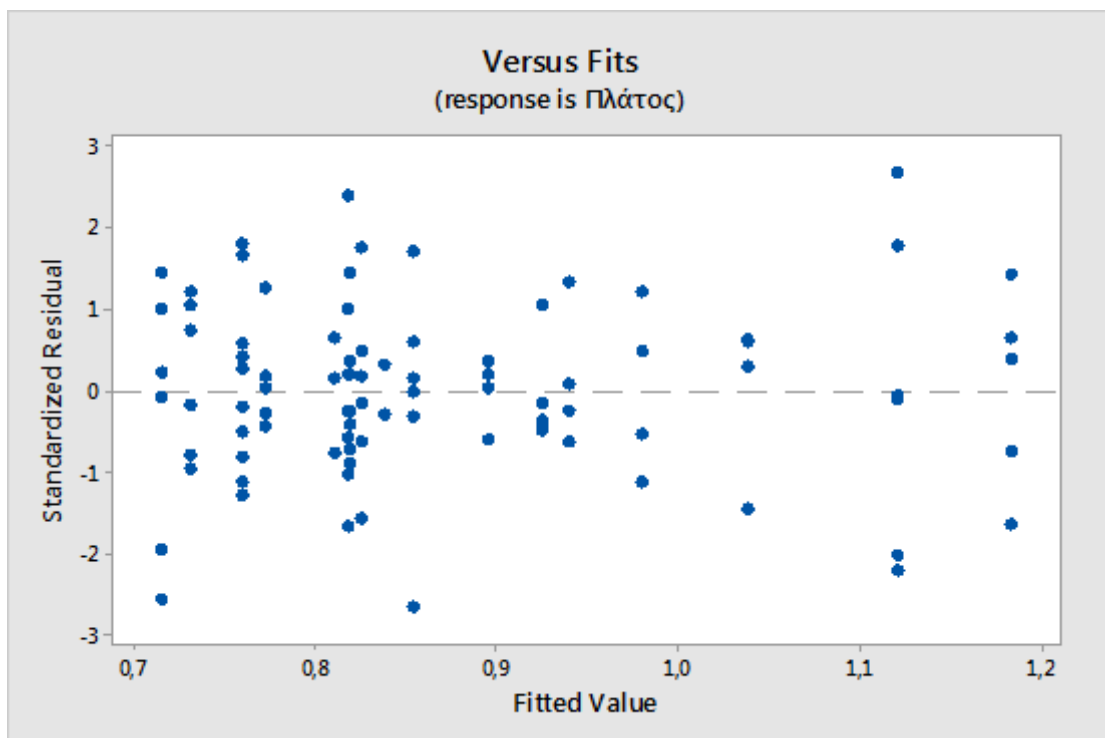
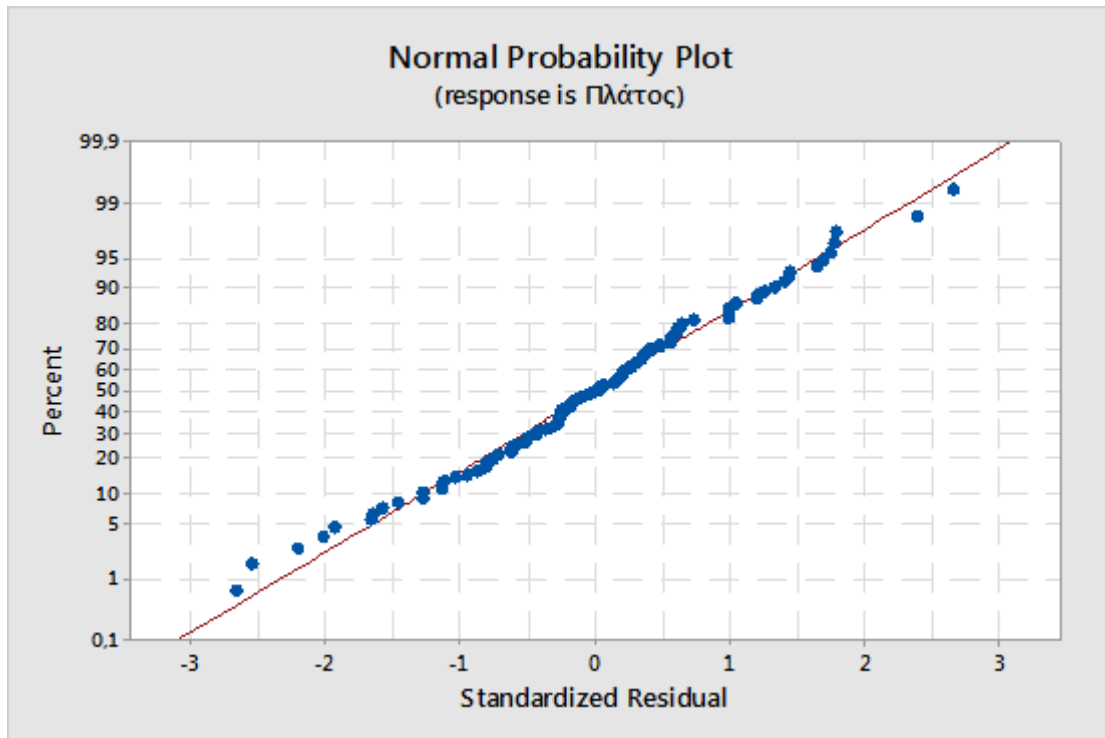


Δεν παρατηρείται κάποια τάση, άρα ισχύει η ομοιογένεια στις διακυμάνσεις των υπολειμμάτων.

Ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών.



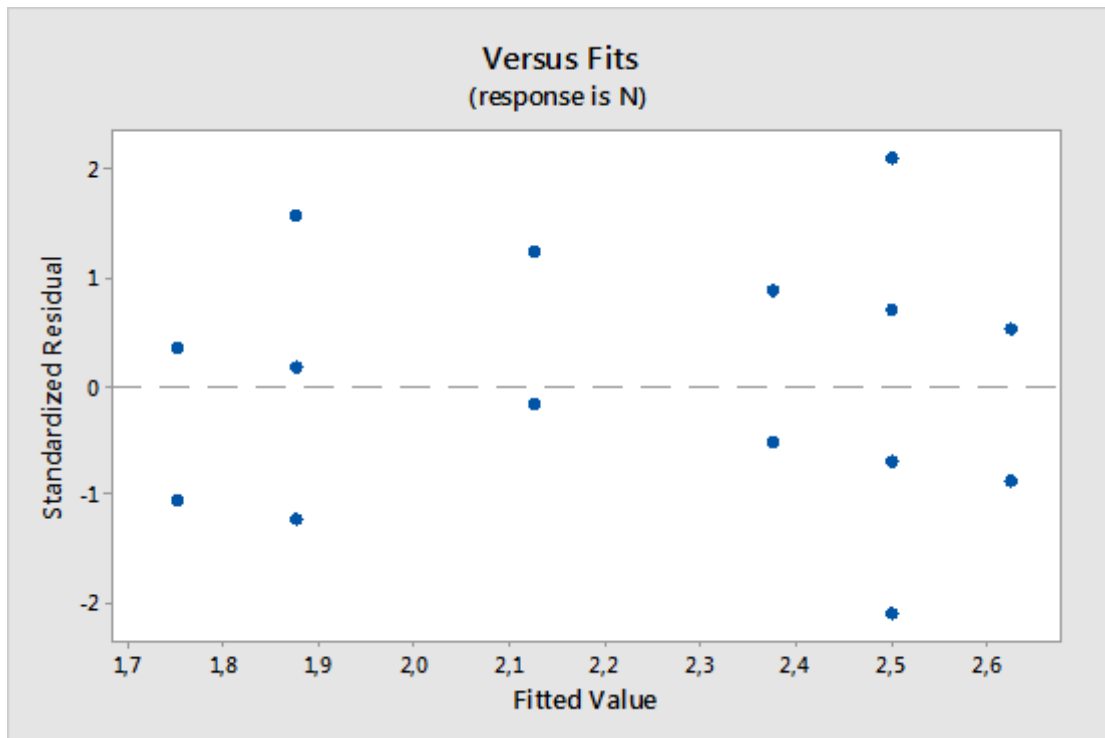
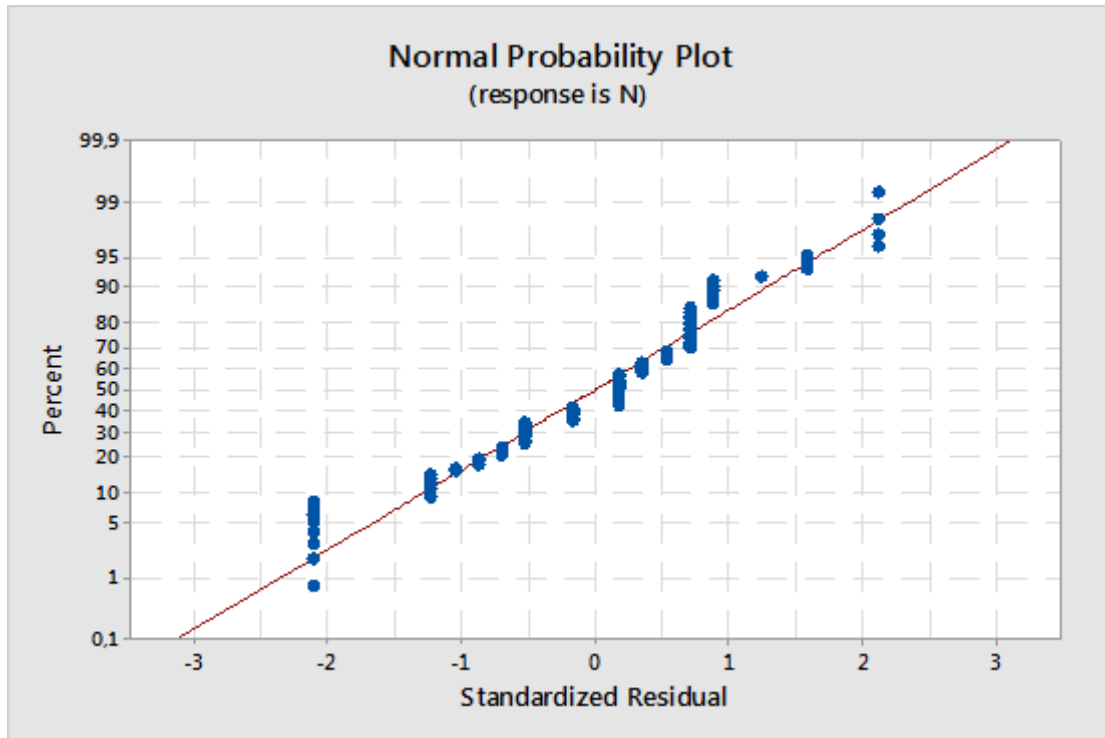
Πλάτος των φύλλων των φυτών.



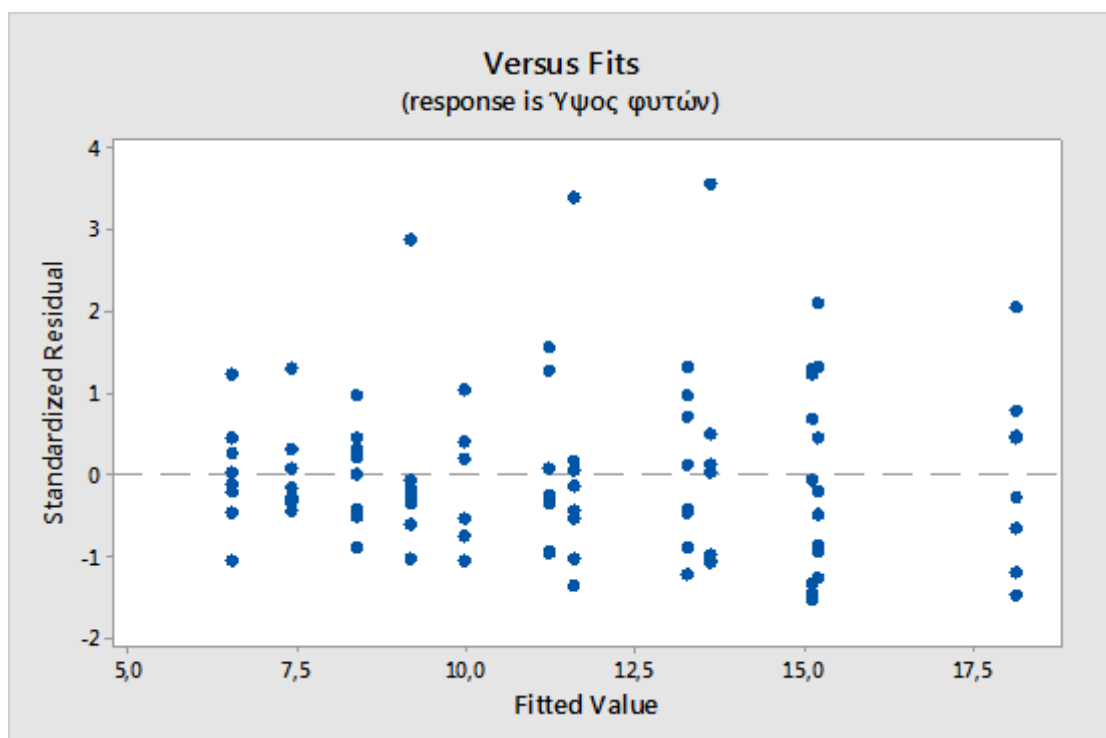
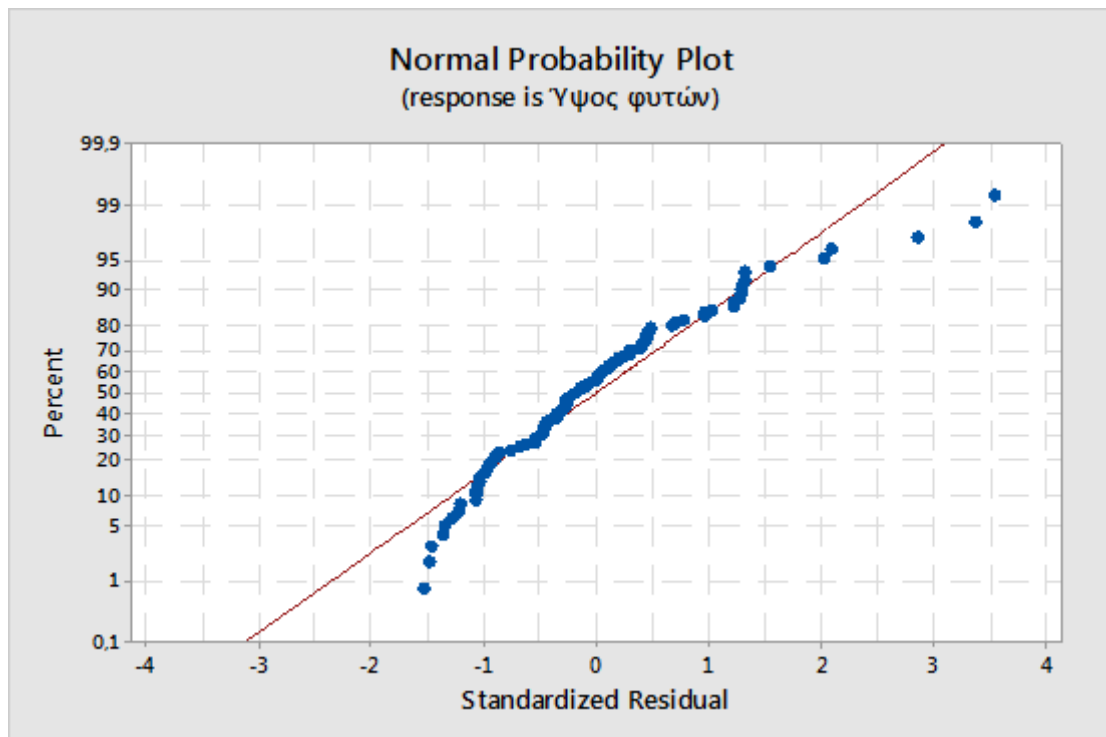
Διαγράμματα κανονικότητας και ομοιογένειας 2-way ANOVA

(Αποτελέσματα από τη μεταφύτευση μέχρι τη συγκομιδή).

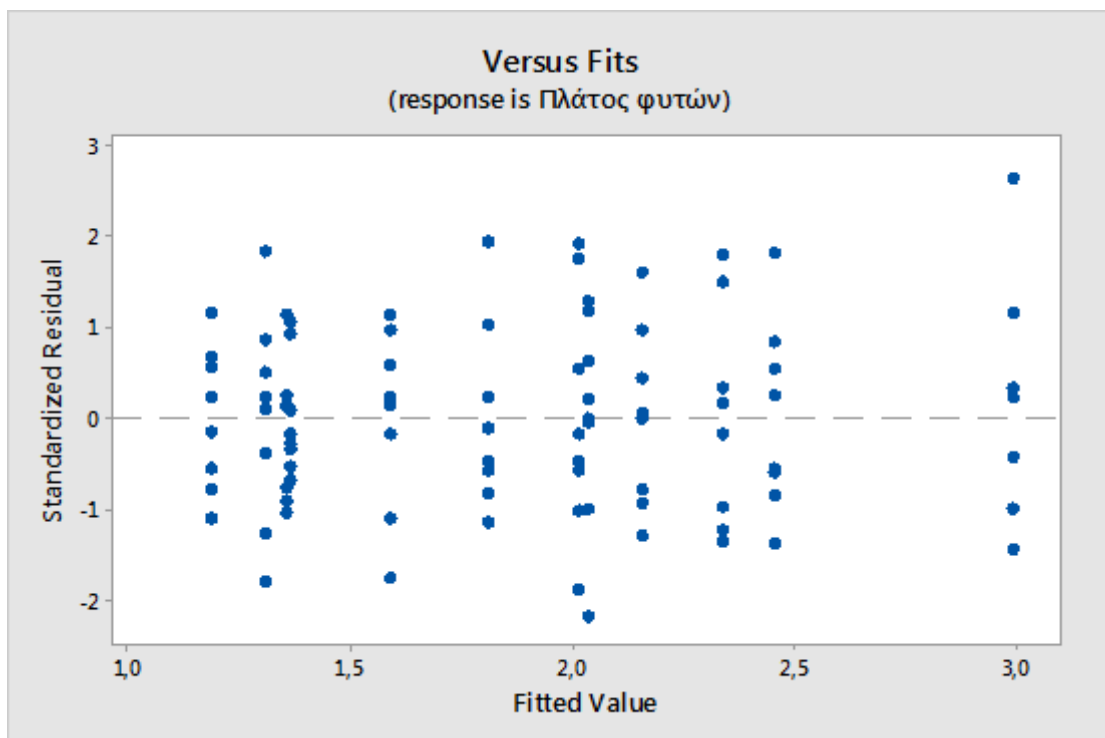
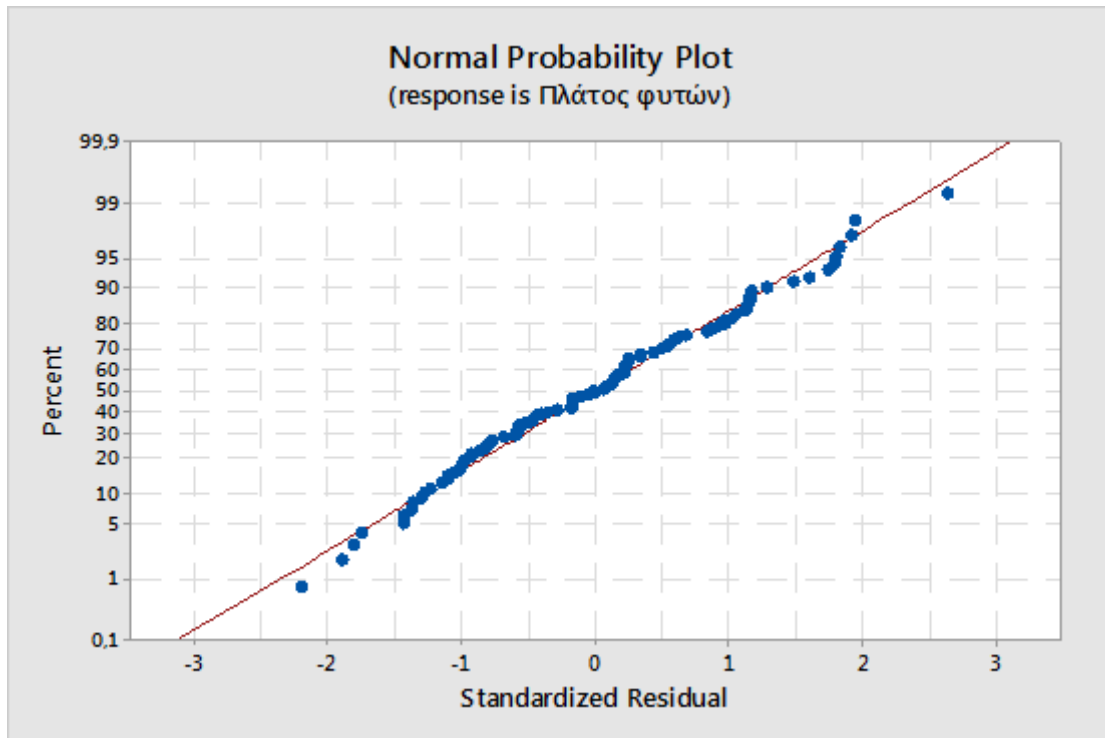
Αριθμός των φυτών (N).



Ύψος του υπέργειου τμήματος των φυτών.



Πλάτος των φύλλων των φυτών.

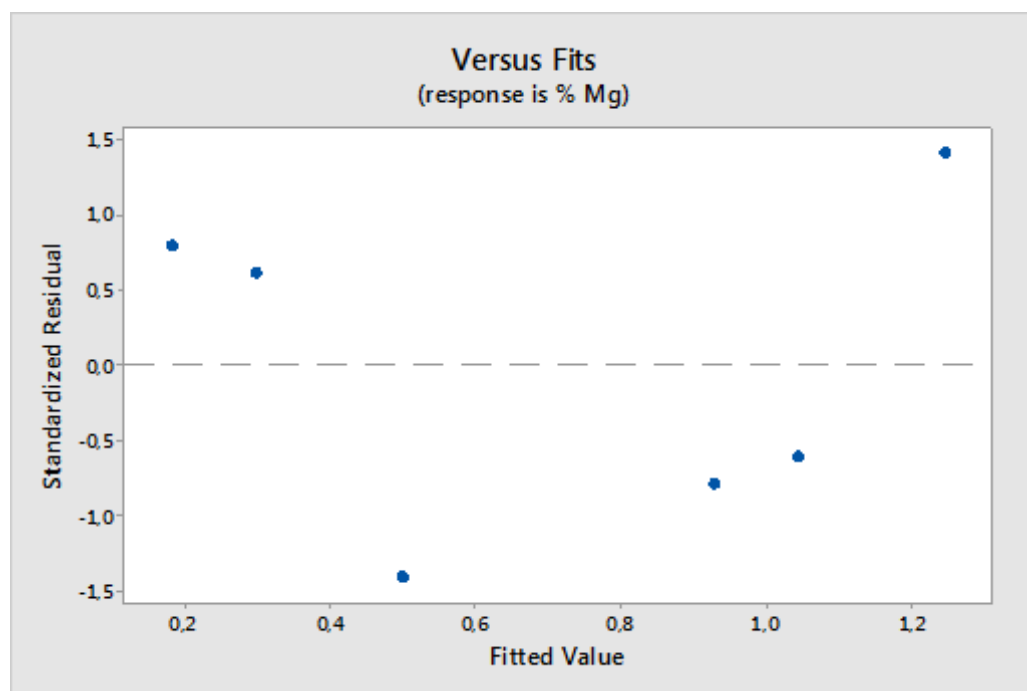
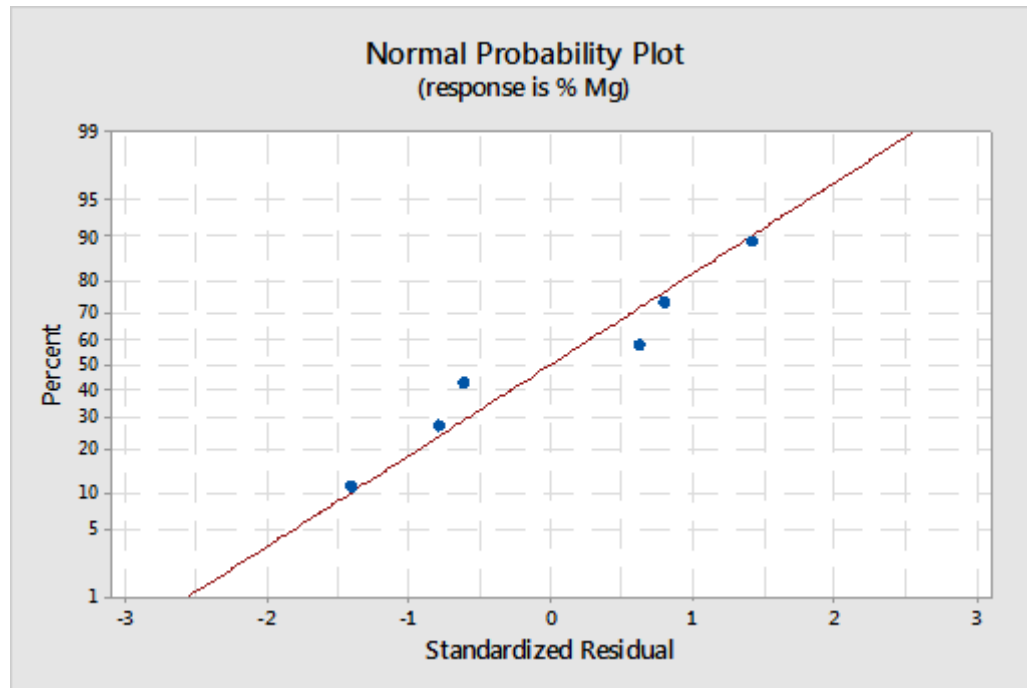


Διαγράμματα κανονικότητας και ομοιογένειας 2-way ANOVA

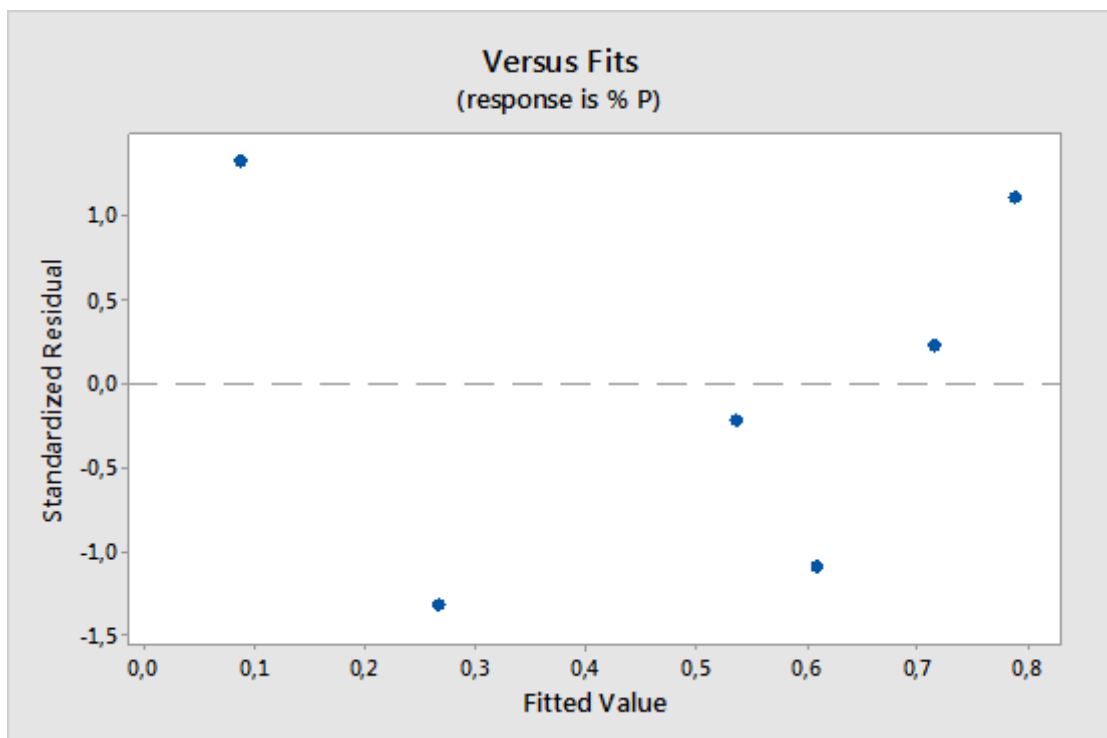
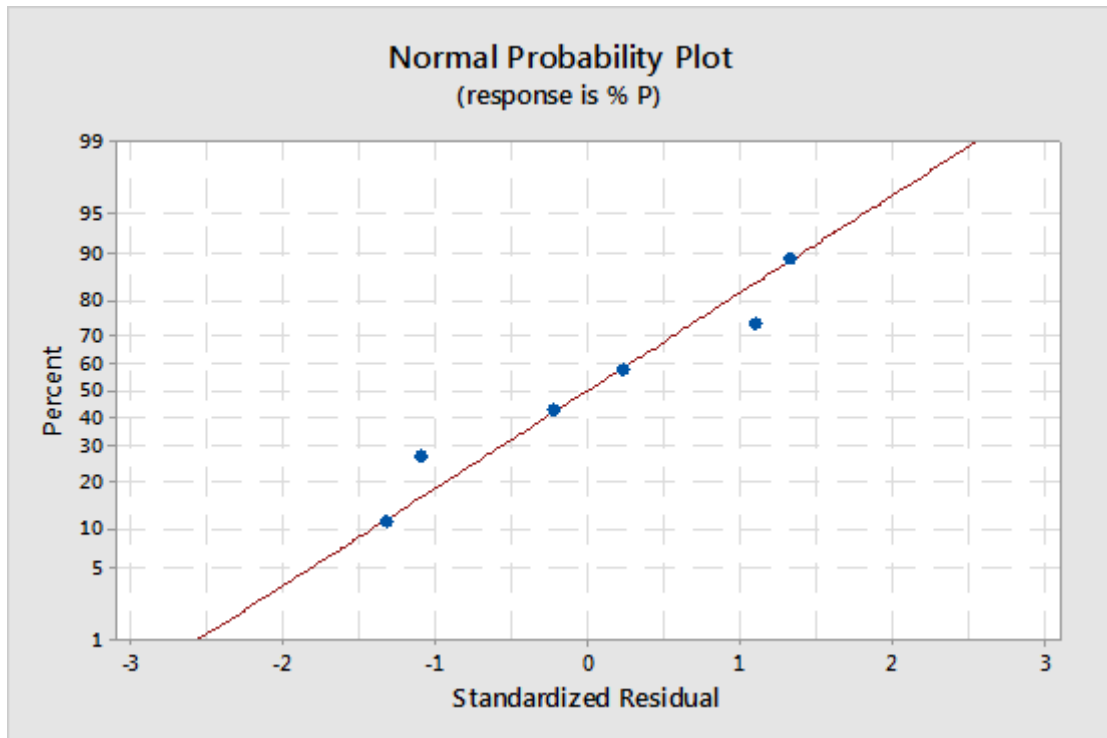
(Προσδιορισμός συγκεντρώσεων στους φυτικούς ιστούς).

Μακροθρεπτικά στοιχεία.

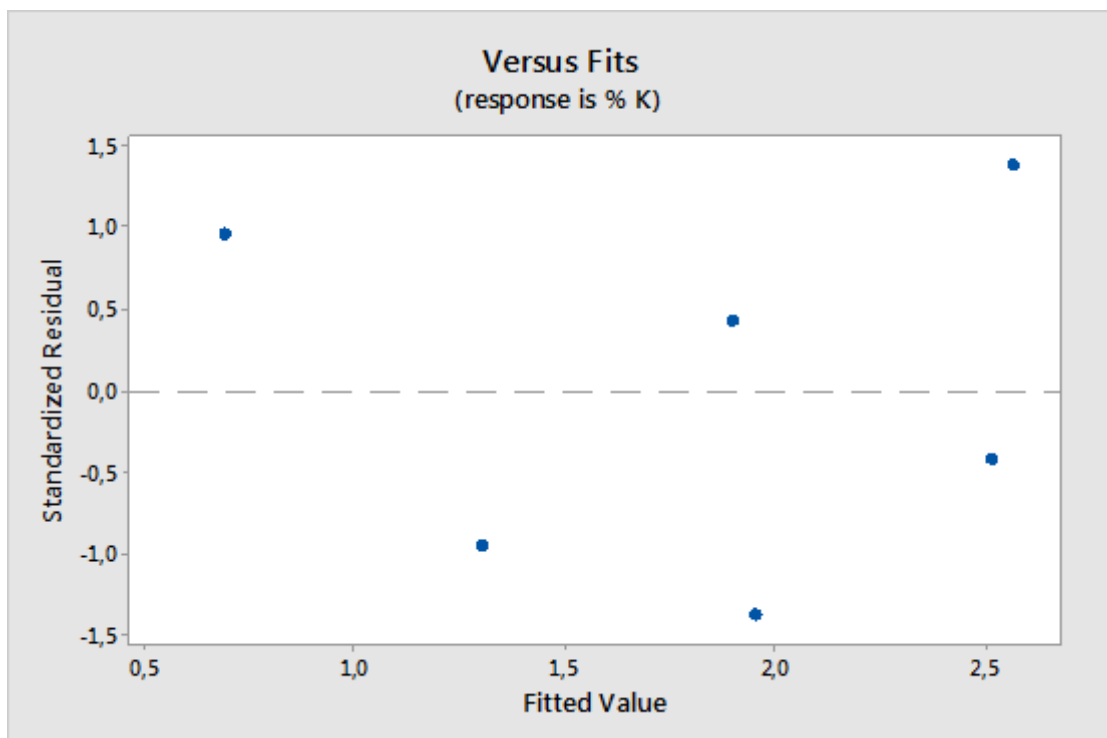
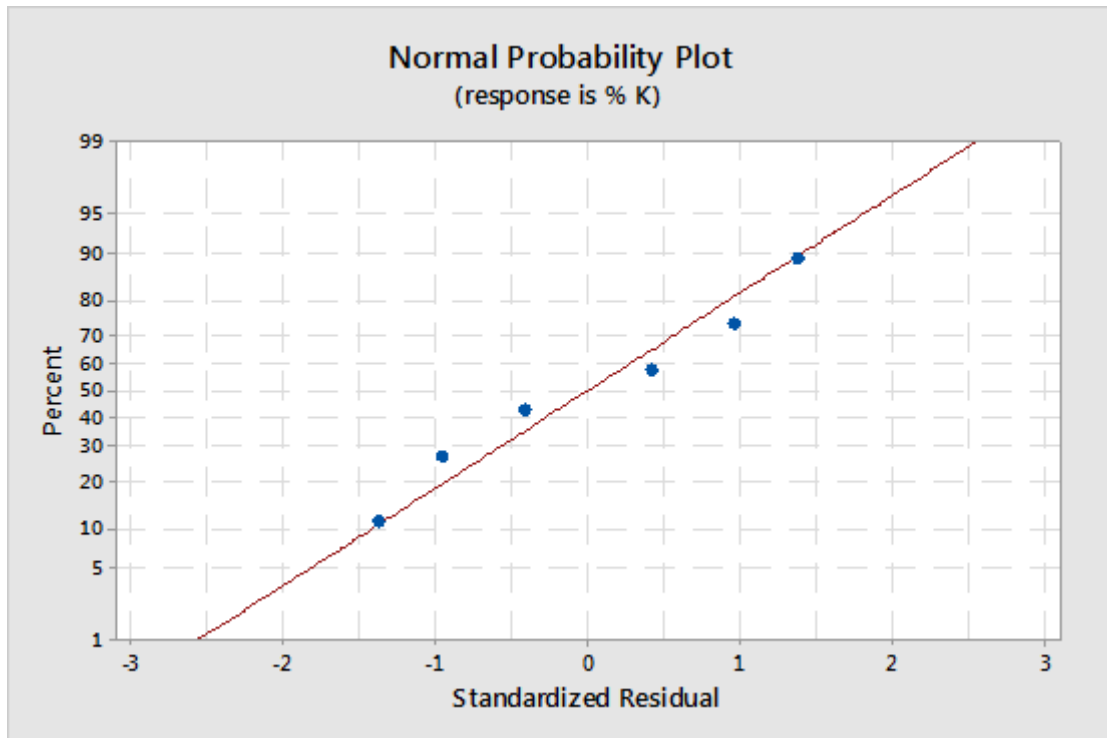
(Mg)



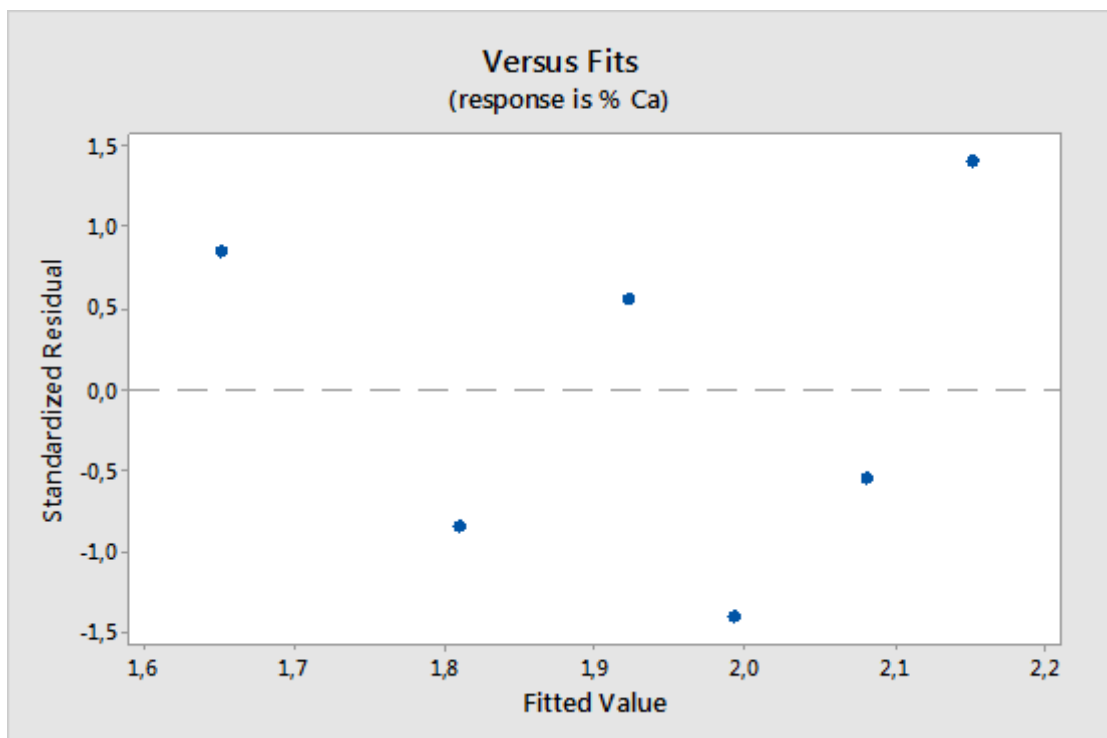
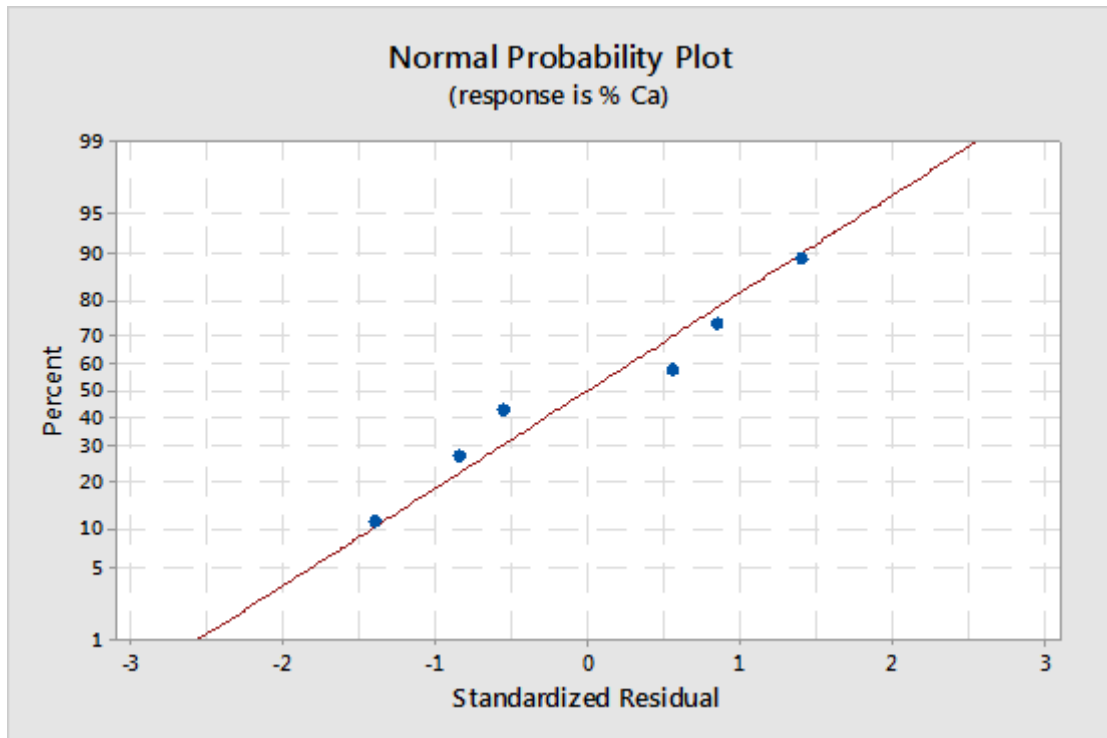
(P)



(K)

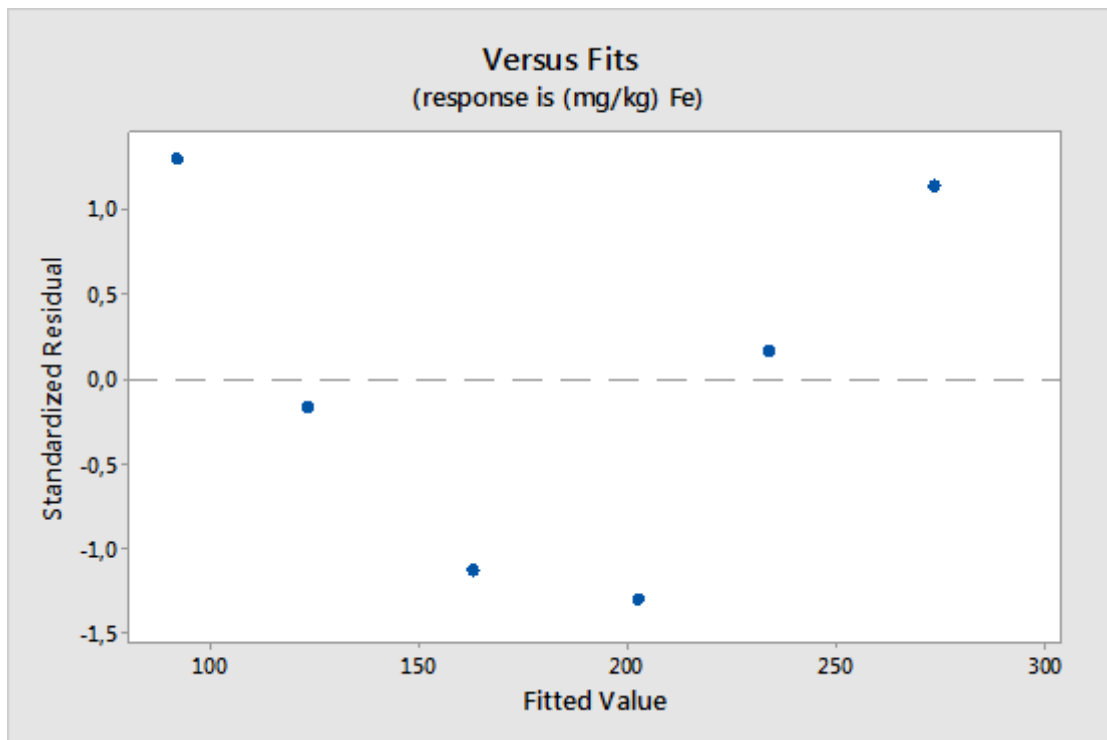
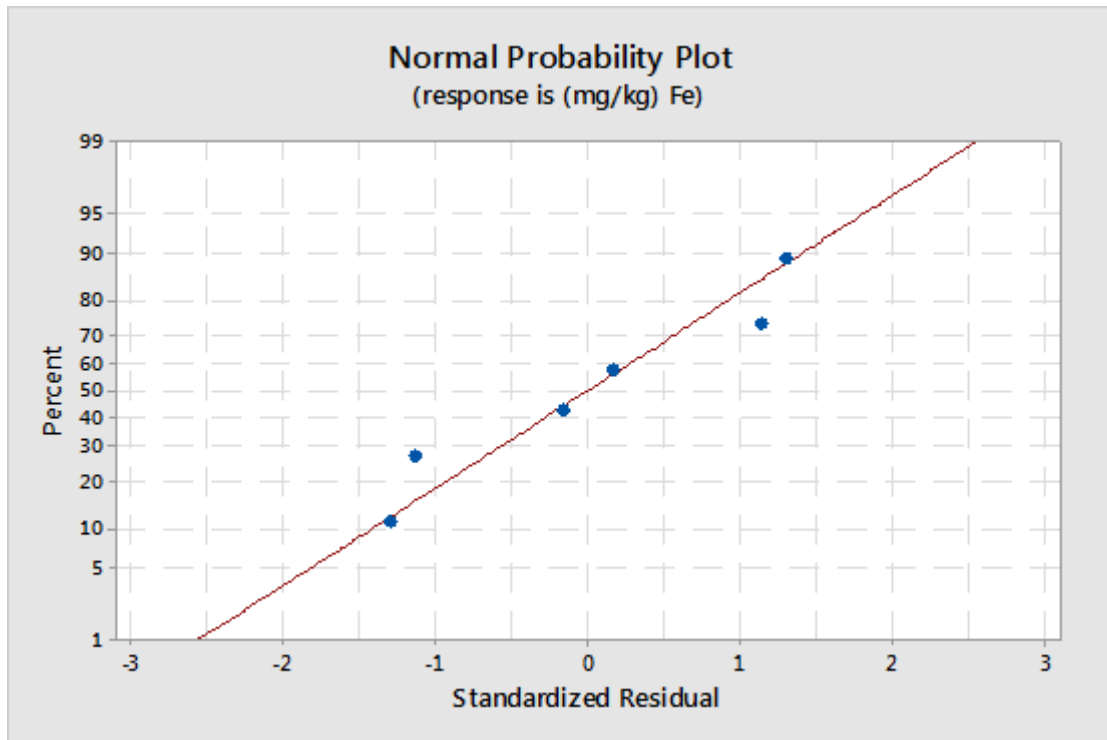


(Ca)

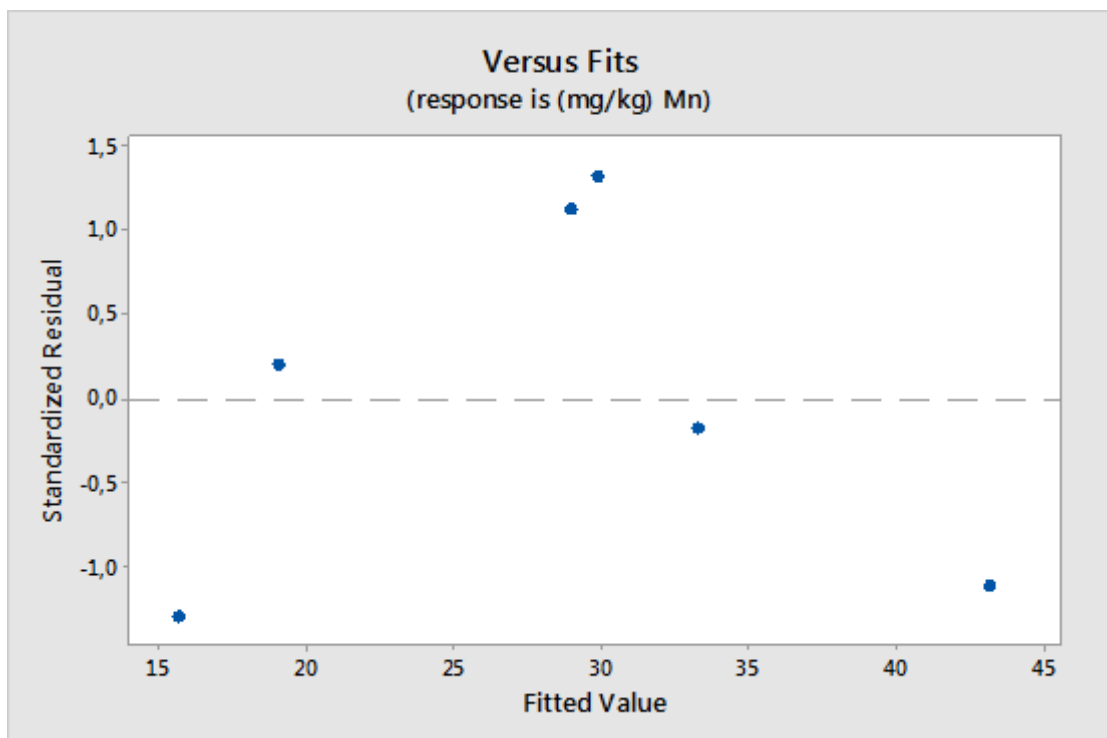
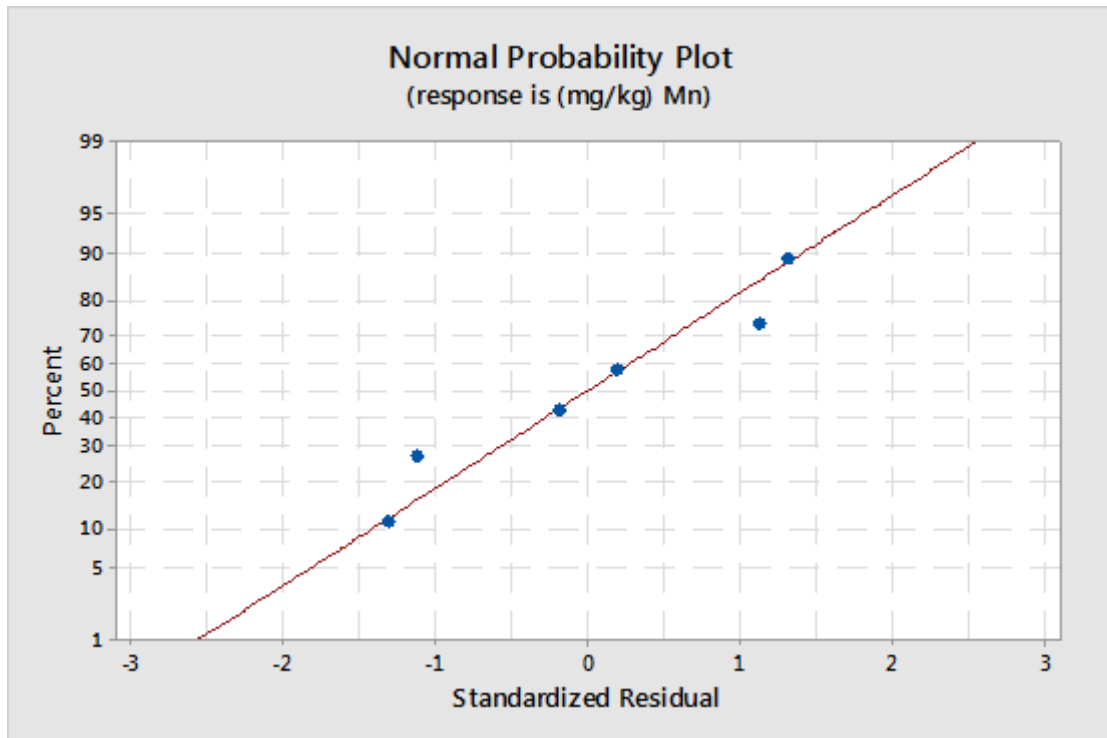


Μικροθρεπτικά στοιχεία

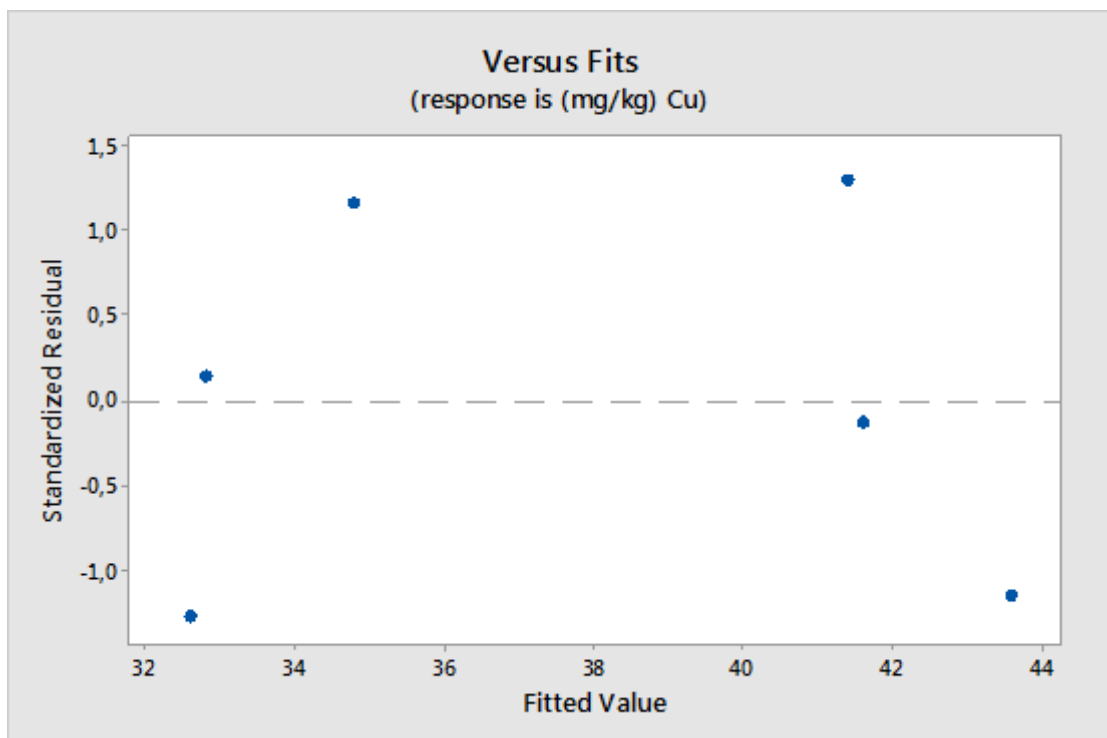
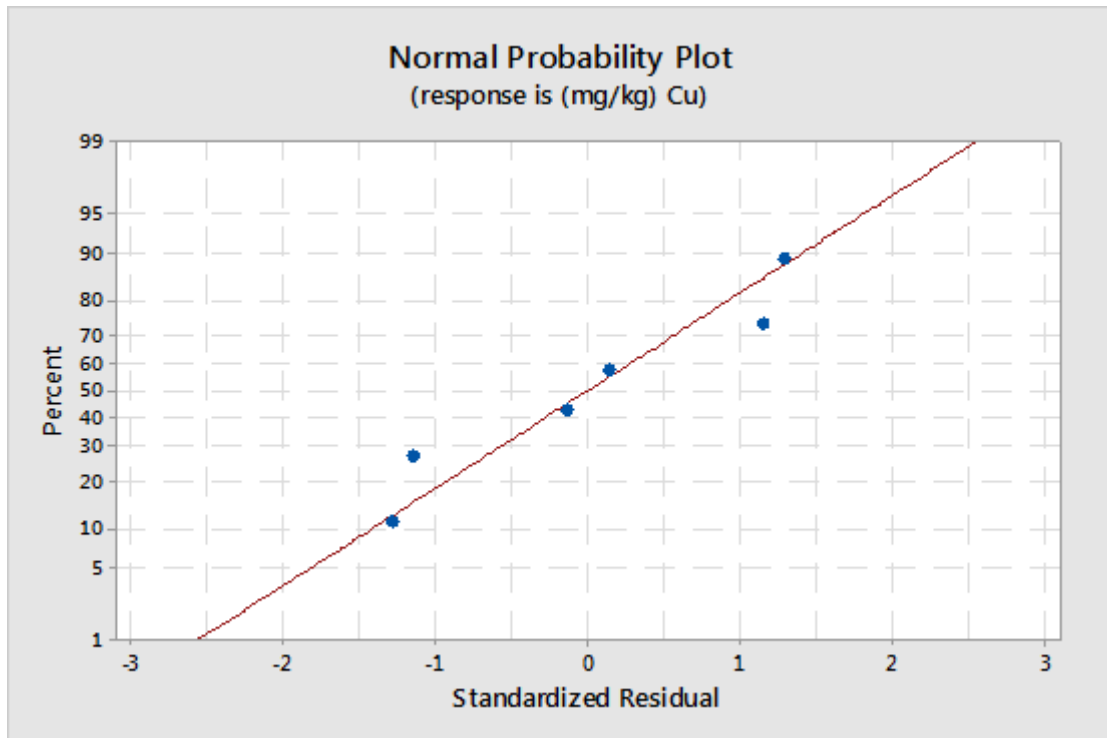
(Fe)



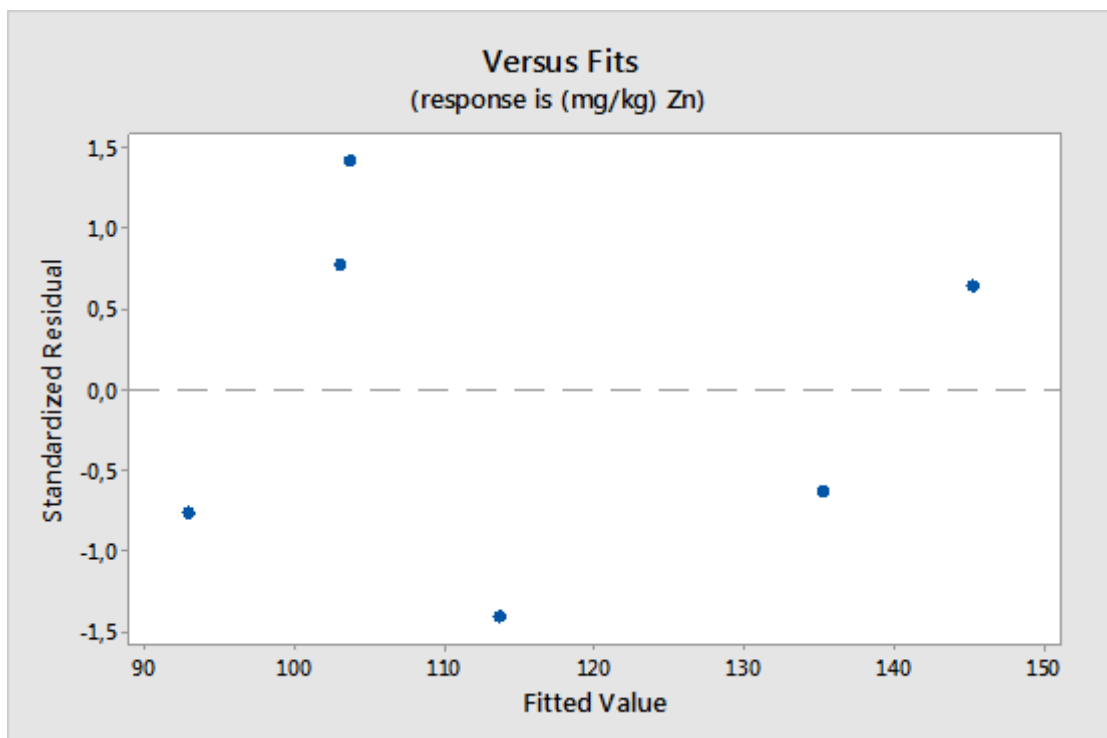
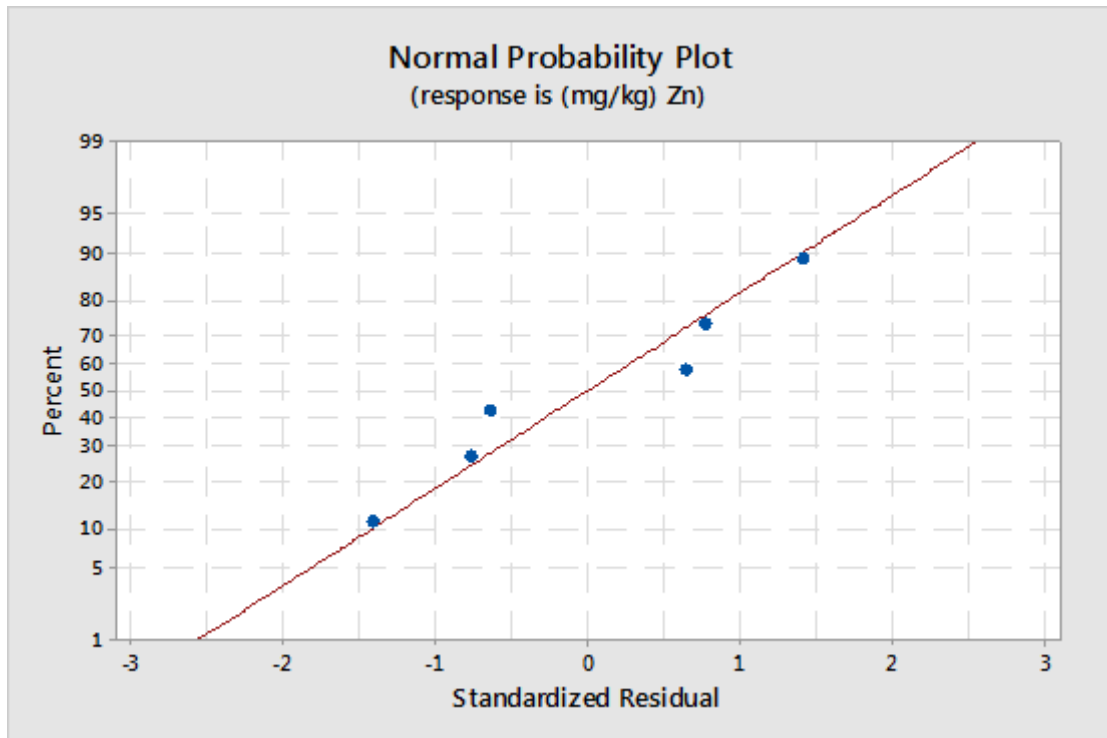
(Mn)



(Cu)

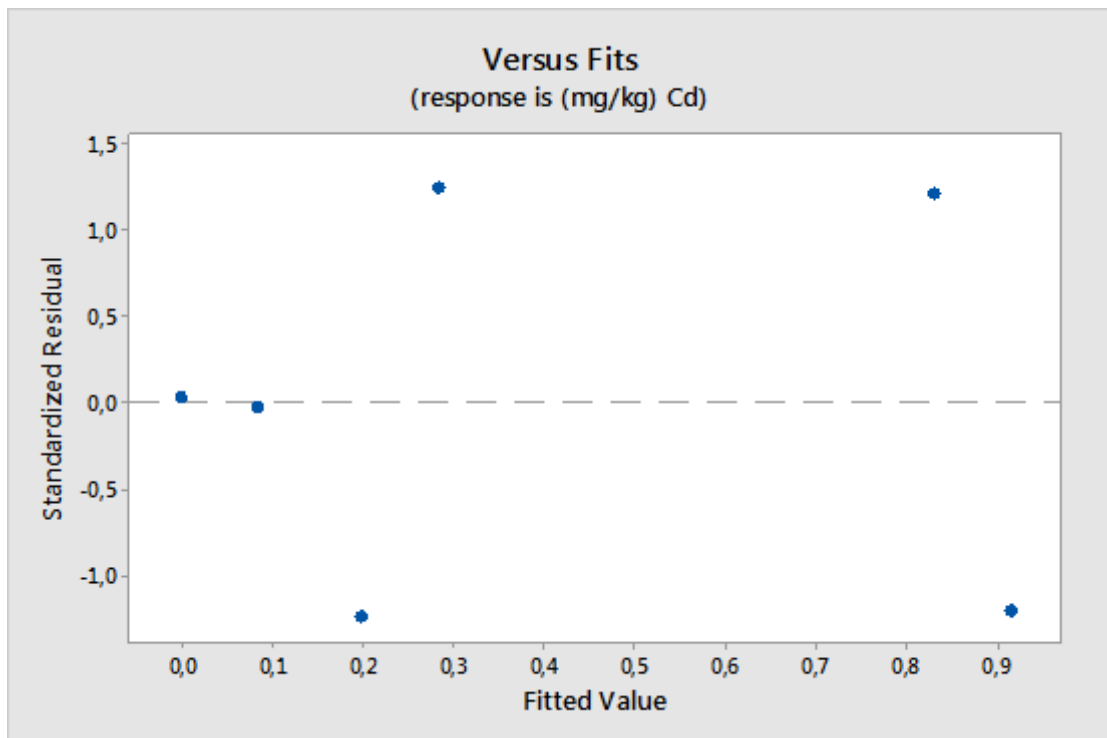
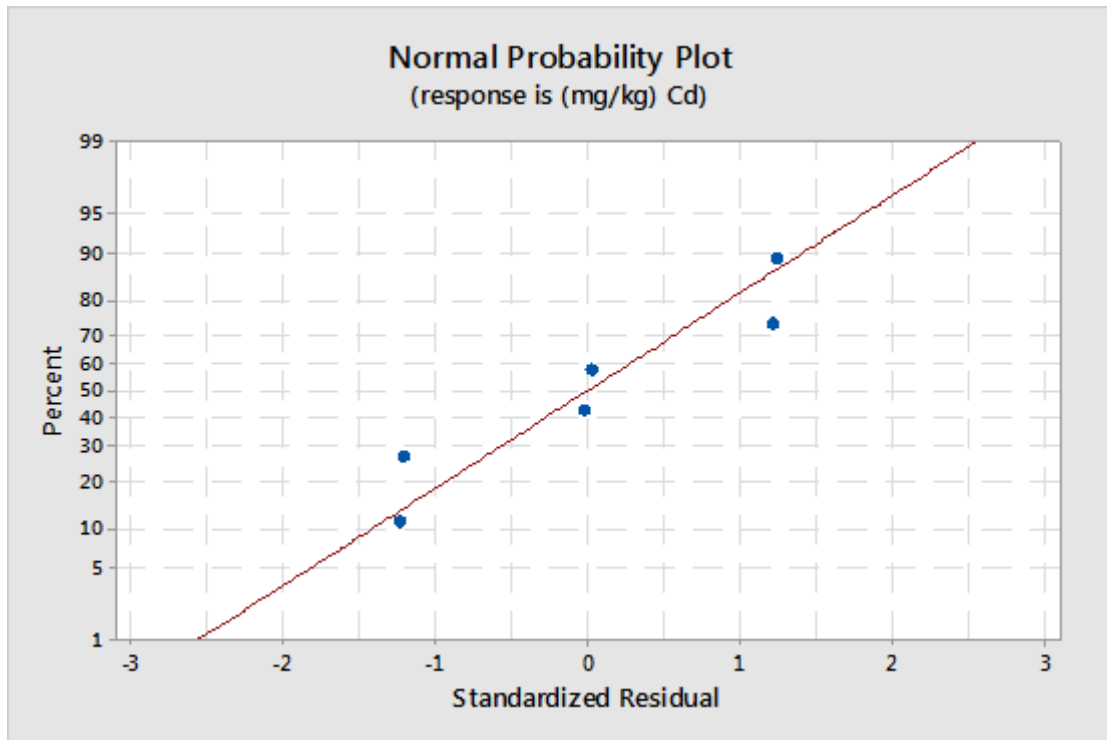


(Zn)

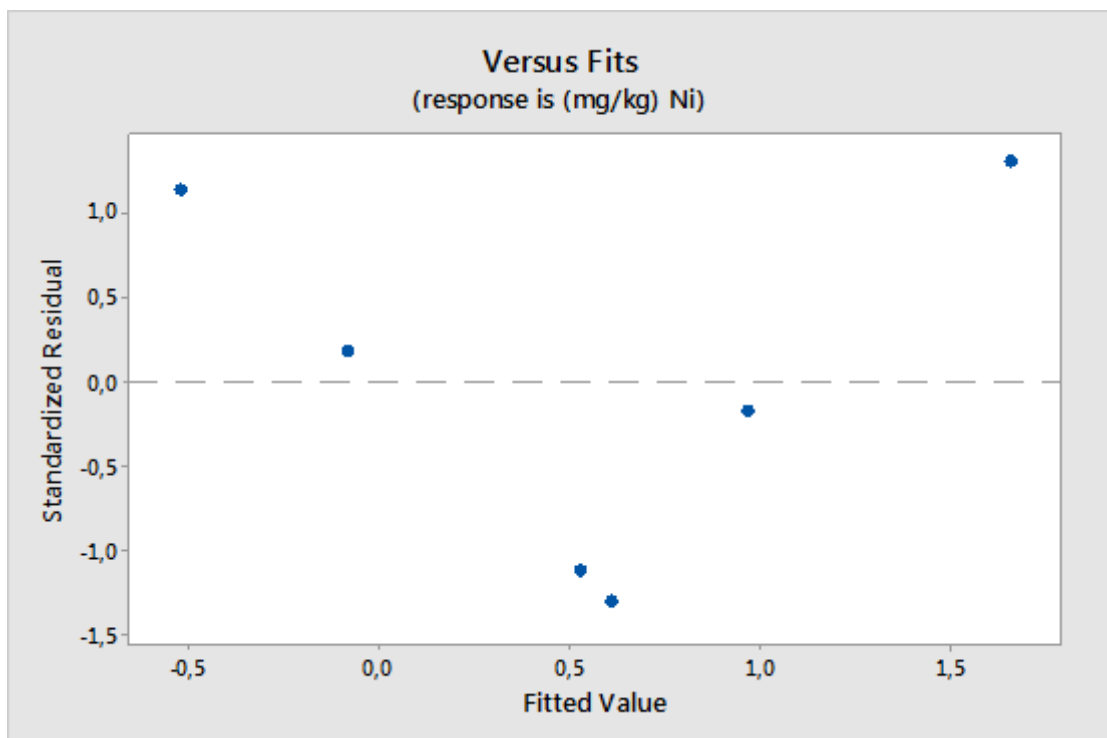
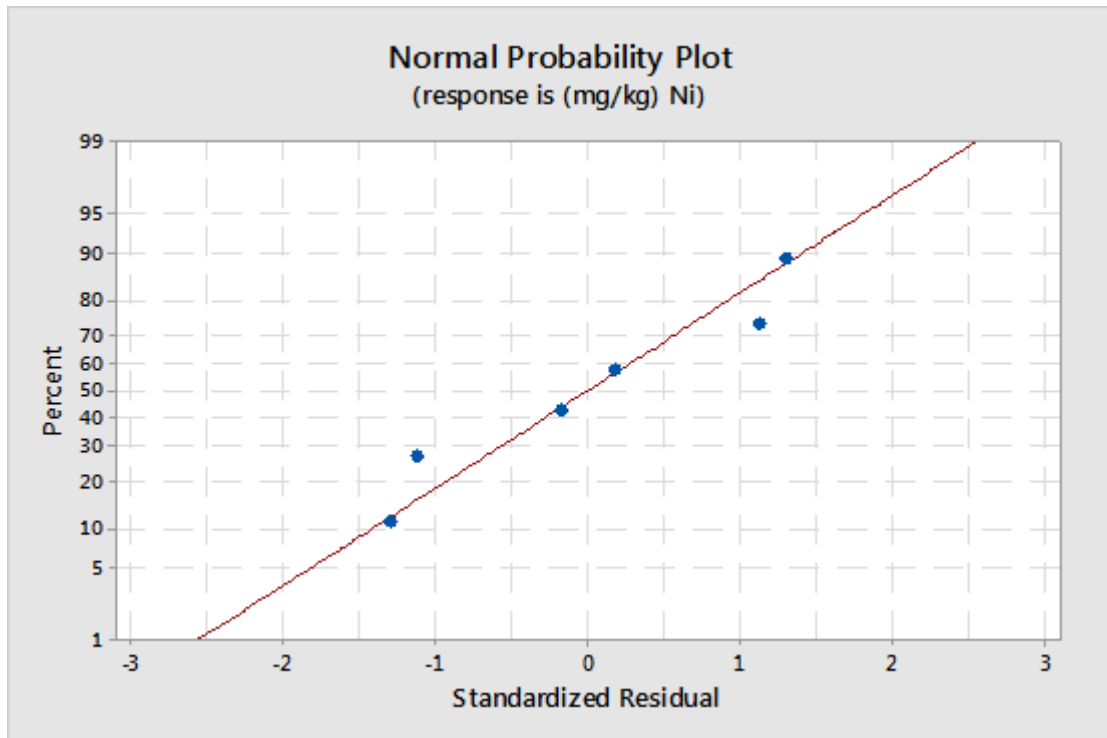


Βαρέα μέταλλα

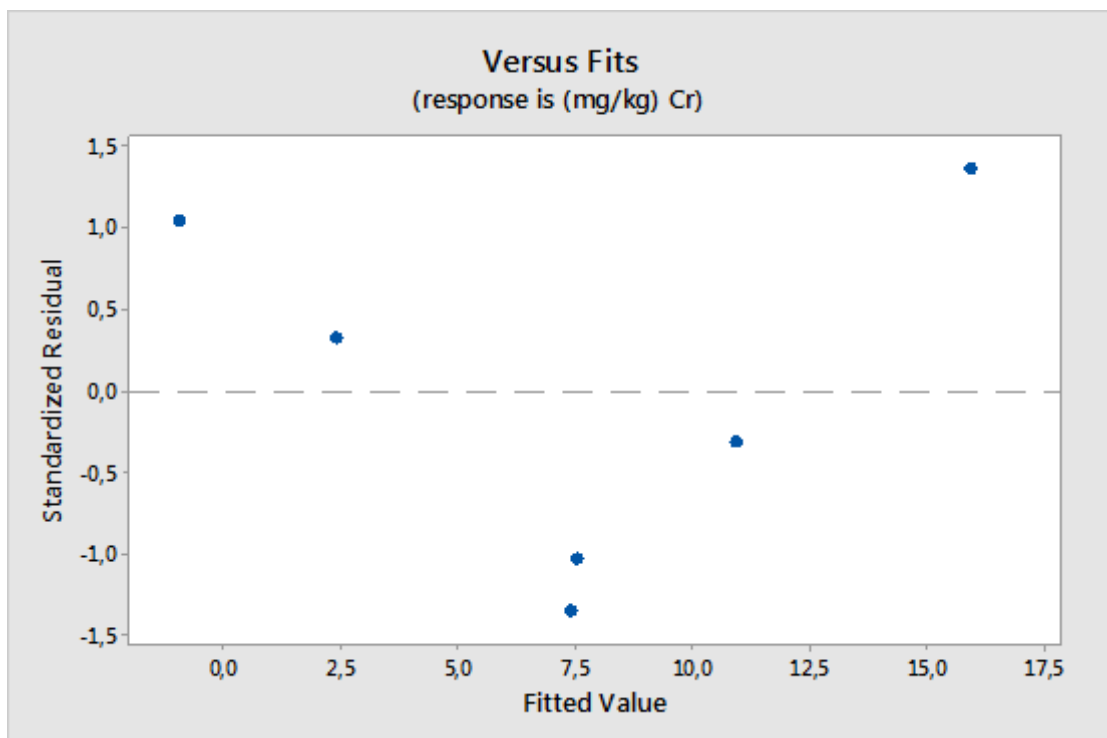
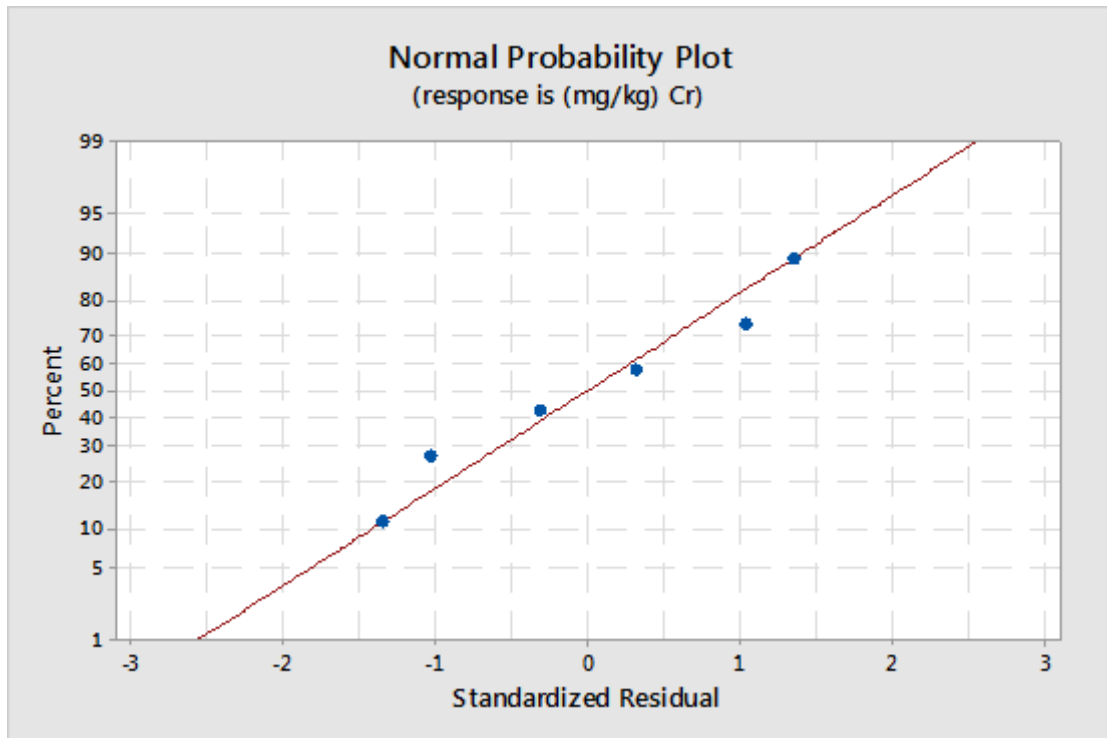
(Cd)



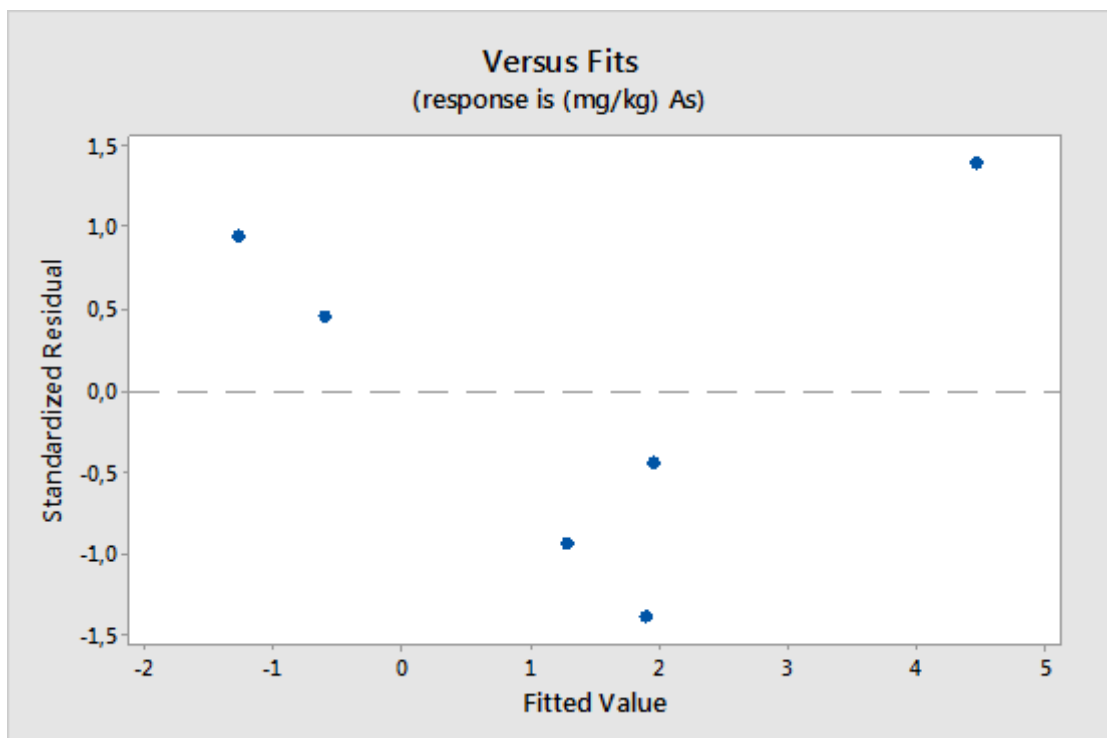
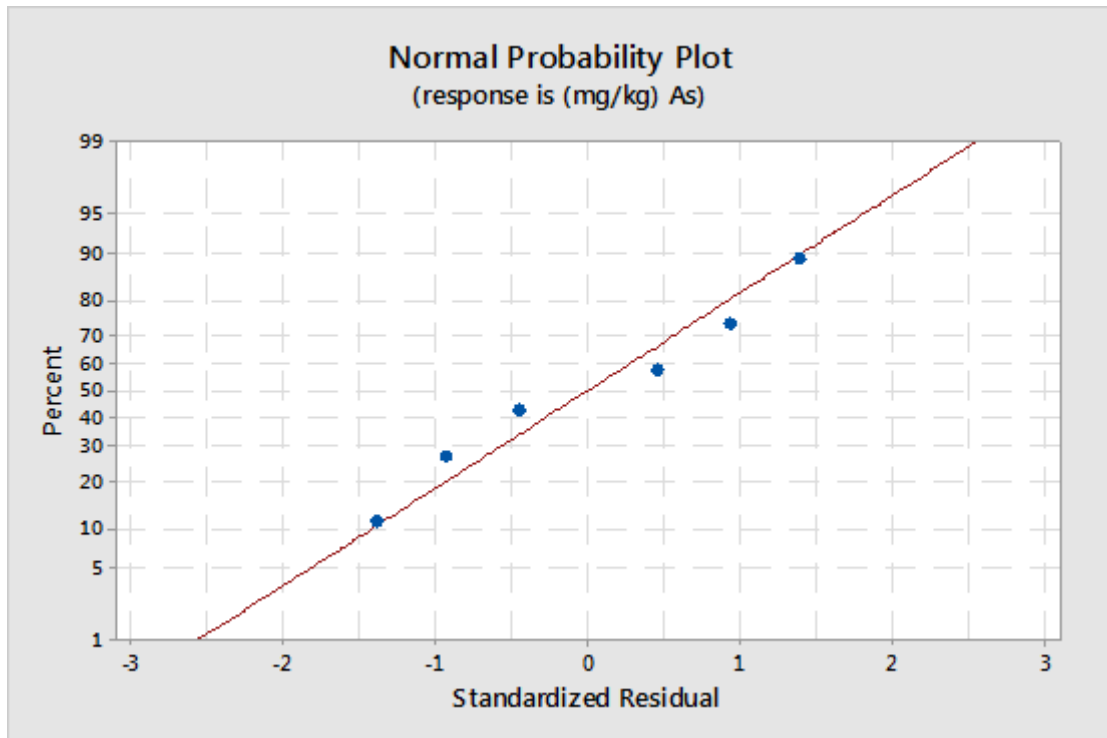
(Ni)



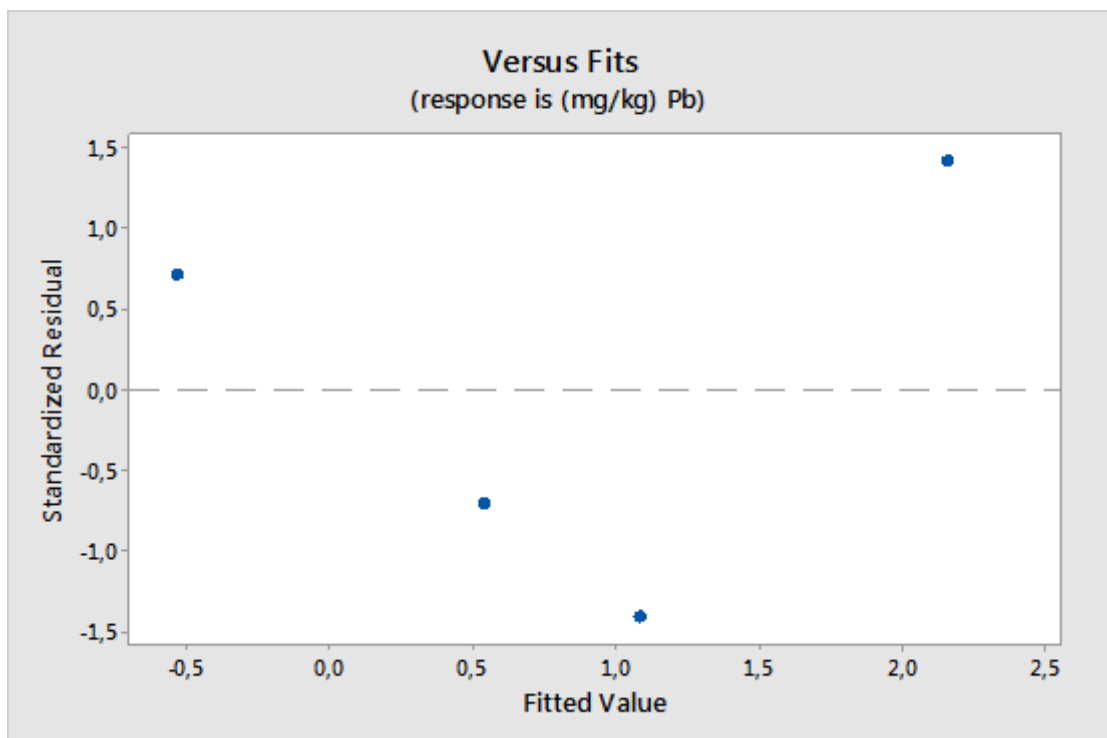
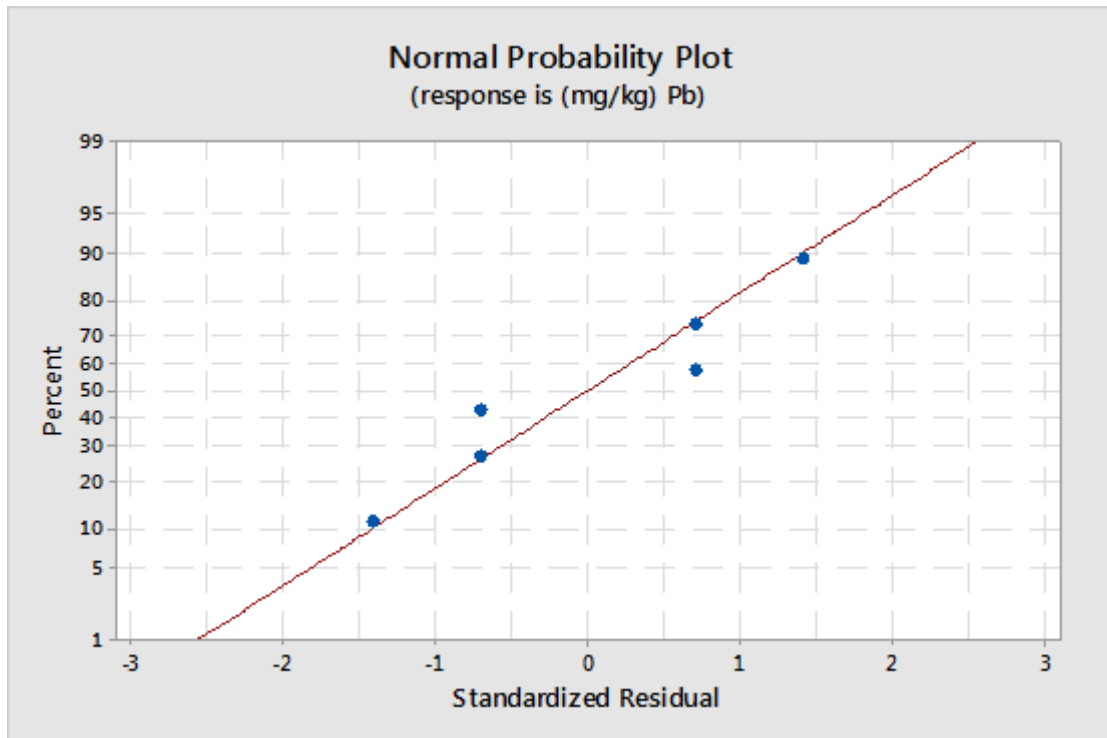
(Cr)



(As)



(Pb)



Πίνακες (analysis of variance, factor information) μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών στοιχείων και βαρέων μετάλλων.

Μακροθρεπτικά συστατικά.

(P)

General Linear Model: % P versus Biochar; Φυτικός ιστός
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	0,32026	0,16013	11,00	0,083
Φυτικός ιστός	1	0,04860	0,04860	3,34	0,209
Error	2	0,02911	0,01456		
Total	5	0,39797			

(K)

General Linear Model: % K versus Biochar; Φυτικός ιστός
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	2,0464	1,0232	7,26	0,121
Φυτικός ιστός	1	0,5673	0,5673	4,03	0,183
Error	2	0,2819	0,1409		
Total	5	2,8957			

(Ca)

General Linear Model: % Ca versus Biochar; Φυτικός ιστός
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	0,13002	0,06501	0,06	0,943
Φυτικός ιστός	1	0,03792	0,03792	0,04	0,869
Error	2	2,15682	1,07841		
Total	5	2,32476			

Μικροθρεπτικά συστατικά

(Fe)

General Linear Model: (mg/kg) Fe versus Biochar; Φυτικός ιστός
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	5076	2538	0,58	0,635
Φυτικός ιστός	1	18327	18327	4,15	0,178
Error	2	8825	4412		
Total	5	32228			

(Mn)

General Linear Model: (mg/kg) Mn versus Biochar; Φυτικός ιστός
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	189,58	94,79	5,01	0,166
Φυτικός ιστός	1	302,62	302,62	16,00	0,057
Error	2	37,82	18,91		
Total	5	530,01			

(Cu)

General Linear Model: (mg/kg) Cu versus Biochar; Φυτικός ιστός Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	5,862	2,931	0,36	0,736
Φυτικός ιστός	1	116,600	116,600	14,30	0,063
Error	2	16,311	8,155		
Total	5	138,773			

(Zn)

General Linear Model: (mg/kg) Zn versus Biochar; Φυτικός ιστός Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	1932,6	966,29	9,68	0,094
Φυτικός ιστός	1	150,7	150,67	1,51	0,344
Error	2	199,6	99,82		
Total	5	2282,9			

Βαρέα μέταλλα.

(Cd)

General Linear Model: (mg/kg) Cd versus Biochar; Φυτικός ιστός **Factor Information**

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	0,75972	0,37986	5,04	0,165
Φυτικός ιστός	1	0,01067	0,01067	0,14	0,743
Error	2	0,15061	0,07530		
Total	5	0,92100			

(Ni)

General Linear Model: (mg/kg) Ni versus Biochar; Φυτικός ιστός **Factor Information**

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	1,307	0,6534	1,00	0,500
Φυτικός ιστός	1	1,656	1,6559	2,53	0,252
Error	2	1,307	0,6534		
Total	5	4,269			

(Cr)

General Linear Model: (mg/kg) Cr versus Biochar; Φυτικός ιστός Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	71,33	35,67	1,90	0,345
Φυτικός ιστός	1	108,89	108,89	5,80	0,138
Error	2	37,55	18,78		
Total	5	217,77			

(As)

General Linear Model: (mg/kg) As versus Biochar; Φυτικός ιστός Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	11,183	5,591	1,00	0,500
Φυτικός ιστός	1	9,825	9,825	1,76	0,316
Error	2	11,183	5,591		
Total	5	32,191			

(Pb)

General Linear Model: (mg/kg) Pb versus Biochar; Φυτικός ιστός Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	(1:10); (1:2); (No)
Φυτικός ιστός	Fixed	2	(Υπέργειος); (Υπόγειος)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	3,486	1,743	1,00	0,500
Φυτικός ιστός	1	1,743	1,743	1,00	0,423
Error	2	3,486	1,743		
Total	5	8,716			

Παράρτημα Γ

Φωτογραφίες από την πειραματική διαδικασία



Εικόνα 7. Τοποθέτηση των σποριών σε συνθήκες υδρονέφωσης.



Εικόνα 8. Σπορείο φυτών ρόκας στο οποίο έχει εφαρμοσθεί το βιοεξανθράκωμα λευκού χρώματος ως μίγμα με άλλα πληρωτικά υλικά.



Εικόνα 9. Ανάπτυξη φυτών ρόκας σε σπορεία εκτός συνθηκών υδρονέφωσης.



Εικόνα 10. Προετοιμασία υποστρώματος που προορίζεται για τη μεταφύτευση των φυτών ρόκας.



Εικόνα 11. Συγκομισμένα και καθαρισμένα από υπολείματα υποστρώματος φυτά ρόκας.



Εικόνα 12. Διαχωρισμός φυτικών ιστών των φυτών ρόκας τα οποία προορίζονται για αποξήρανση σε κλίβανο.



Εικόνα 13. Άλεση των αποξηραμένων φυτικών ιστών και προετοιμασία των δειγμάτων που προορίζονται για πέψη.



Εικόνα 14. Αναλυτικός ζυγός.



Εικόνα 15. Προετοιμασία των δειγμάτων για τη διαδικασία της πέψης.



Εικόνα 16. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της πέψης είναι το speedwavetwo, DAP-60K της BerghofProducts + InstrumentsGmbH.