



ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ & ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ»
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Α.Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΜΑ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ
ΑΠΟ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΓΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ Α.Μ.: 14012

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ , 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

ΣΧΟΛΗ:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΤΜΗΜΑ:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ & ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΜΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ:

ΓΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

A.M: 14012

ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ:

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η υποβολή διπλωματικής εργασίας αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Διπλώματος του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών.

*«Μία θεωρία μπορεί ν' αποδειχθεί
με το πείραμα, δεν υπάρχει όμως
δρόμος που να οδηγεί από το
πείραμα στη δημιουργία μιας
θεωρίας».*

*Άλμπερτ Αϊνστάιν
(1879-1955)*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να απευθύνω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους όσους με βοήθησαν με οποιονδήποτε άμεσο ή έμμεσο τρόπο όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Πρωτίστως θα αναφερθώ στην ευτυχή συγκυρία να συναντήσω τον καθηγητή κ. Π. Σαμαρά ο οποίος μου εμπιστεύτηκε την πρωτοποριακή ιδέα του για το θέμα της διπλωματικής, μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστούμε και τόσο εύστοχα και υπομονετικά με καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια.

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Ε. Παπαστεργιάδη για τη συμβολή του στην περάτωση των εργαστηριακών αναλύσεων και στον κ. Δ. Πετρίδη που αφιέρωσε πολύτιμο χρόνο να με καθοδηγήσει στη στατιστική ανάλυση για την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

Μεταξύ άλλων θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Α. Γκέρτση από το Perrotis College για τις κατευθύνσεις που έδωσε αναφορικά με το πειραματικό σχέδιο, για την παραχώρηση μέρους στο εργαστηριακό θερμοκήπιο της Αμερικάνικης Σχολής Θεσσαλονίκης αλλά και για όλο τον υλικότεχνικό εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε, προκειμένου να υλοποιηθεί το δεύτερο μέρος της διπλωματικής που συμπεριλάμβανε τη φύτευση και την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτικών ειδών.

Τέλος, όσες αναφορές και να κάνω δεν θα είναι αρκετές για να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου, προς την οικογένειά μου που πάντοτε έχει σταθεί δίπλα μου και έχει στηρίξει τις επιλογές μου με όλους τους δυνατούς τρόπους, ηθικά και υλικά.

Με εκτίμηση
Γκαραγκούνη Καλλιόπη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής διατριβής ήταν η διερεύνηση πιθανών εναλλακτικών τρόπων αξιοποίησης των υπολειμμάτων από θερμική επεξεργασία αποβλήτων. Τα εξεταζόμενα βιοεξανθρακωμάτων προέκυψαν έπειτα από θερμική επεξεργασία οργανικών, ζωικών αποβλήτων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε διακριτά στάδια. Αρχικά χαρακτηρίστηκε το είδος και η δομή των βιοεξανθρακωμάτων, στο δεύτερο στάδιο εξετάστηκε η χρήση κάθε βιοεξανθρακώματος σαν προσροφητικό μέσο και τέλος, στο τρίτο στάδιο, ελέγχθηκε η χρήση τους σαν μέσο λίπανσης του εδάφους.

Για την εξέταση και το χαρακτηρισμό των βιοεξανθρακωμάτων πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες αναλυτικές τεχνικές με τη σειρά που αναφέρονται:

- Ολική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (I.K.A ή C.E.C)
- Έλεγχος πορώδους (B.E.T)
- Μετρήσεις ζ – δυναμικού
- Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD)
- Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM)
- Φασματοσκοπία ενεργειακής διασποράς (EDS)
- Στοιχειακή ανάλυση CHNS
- Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των αφομοιούμενων ιχνοστοιχείων με τη μέθοδο DTPA.

Ο έλεγχος της προσροφητικής τους ικανότητας, πραγματοποιήθηκε σε υδατικά διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης διαφόρων ουσιών. Επιλέχθηκε να μελετηθεί η προσρόφηση σε διάλυμα μπλε του μεθυλενίου γιατί ως χρωστική ενδείκνυται η χρήση της για μια τέτοιου είδους παρατήρηση. Με τον ίδιο τρόπο μελετήθηκε η απόδοση της προσρόφησης σε διαλύματα φαινόλης, που αποτελεί έναν συνηθισμένο, επικίνδυνο οργανικό ρύπο, ο οποίος συναντάται στα υγρά απόβλητα αλλά και σε νερά χρήσης, οπότε η καλή απόδοση απομάκρυνσης θα σήμαινε ότι το συγκεκριμένο εξανθράκωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παρόμοιους σκοπούς. Τέλος, η προσρόφηση σε διάλυμα χουμικών ενώσεων μελετήθηκε διότι τα χουμικά είναι εν δυνάμει τοξικά επειδή δημιουργούν σύμπλοκα με μέταλλα και οργανοχλωριωμένες ενώσεις. Επιστημονικές έρευνες έδειξαν ότι κατά την χλωρίωση νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε χουμικές ενώσεις μπορεί να προκύψουν διάφορα καρκινογόνα παράγωγα γνωστά με τον όρο «παραπροϊόντα απολύμανσης». Οπότε, αν τα μελετούμενα βιοεξανθρακώματα λειτουργούσαν αποδοτικά με την προσρόφηση των χουμικών ενώσεων θα μπορούσε να προταθεί μια πιθανή χρήση τους για φίλτρανση του νερού.

Δημιουργήθηκαν οι καμπύλες αναφοράς για κάθε προσροφούμενη ουσία και σε χρόνο επτά ημερών εξετάστηκε σε καθημερινή βάση η απόδοση της προσρόφησης με την αναλυτική μέθοδο μέτρησης φασματοσκοπίας υπεριώδους ορατού (UV-VIS).

Για τη μελέτη των αγρονομικών χαρακτηριστικών τους και της χρήση τους ως εδαφοβελτιωτικά, έγινε έλεγχος της απόδοσης τους ως λιπαντικά μέσα για τον εμπλουτισμό του εδάφους για την καλλιέργεια λαχανικών. Εξετάστηκε η ριζοβολία και η ανάπτυξη σε τρία φυτικά είδη και συγκεκριμένα εξετάστηκαν ποικιλίες λαχανικών, τομάτας, σπανακιού και μαρουλιού. Οι φυτεύσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνδυασμό του κάθε βιοεξανθρακώματος σε αναλογίες 0, 1:2 & 1:10 με τρία εμπορικά εδαφικά υποστρώματα: άμμο, περλίτη και τύρφη.

Από τη μελέτη της προσρόφησης, καλύτερο προσροφητικό υλικό αποδείχτηκε το βιοεξανθράκωμα από απόβλητο βιομηχανίας δέψης, το οποίο είχε υποστεί πυρόλυση σε ανοξικό κλίβανο για 12h ώρες (B12). Το συγκεκριμένο βιοεξανθράκωμα παρουσίασε τη μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια και το πιο αρνητικό ζ δυναμικό φορτίο. Σε αυτό προσμετρείται και το φορτίο που έφεραν οι προσροφητικές ουσίες, γιατί η απόδοση απομάκρυνσης για το μπλε του μεθυλενίου ήταν γύρω στο 40% ενώ για τα χουμικά ήταν 15% και για τη φαινόλη 2%.

Από το στατιστικό έλεγχο για τη ριζοβολία το καταλληλότερο εμπορικό υπόστρωμα ήταν η τύρφη σε συνδυασμό με το βιοεξανθράκωμα B12, πιθανότατα επειδή εμφάνισε μεγαλύτερη συγκέντρωση αφομοιώσιμων ιχνοστοιχείων έναντι των άλλων δύο και αυτό ωφέλησε την εκκίνηση της βλάστησης των σπόρων.

Η ανάπτυξη κρίθηκε μεμονωμένα για κάθε φυτικό είδος εξαιτίας των γενετικών καταβολών του. Η τομάτα και το σπανάκι ευδοκίμησαν στην τύρφη και είχαν υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης με την προσθήκη του βιοεξανθρακώματος από απόβλητα από βιομηχανίας δέψης που αδρανοποιήθηκαν στον ανοξικό πυρολιτικό κλίβανο, για 1h (B1) σε αναλογία 1:2. Το μαρούλι ευνοήθηκε από την προσθήκη του βιοεξανθρακώματος B12 στην άμμο, επίσης σε αναλογία 1:2.

ABSTRACT

The main goal of this diploma thesis was studying possible alternative ways of using biochars produced by heating treatment of organic, animal waste. The study was conducted in distinct stages. At first the type and structure of the biochars had to be specified, in the second stage the use of each biochar was examined as adsorbent and finally, in the third stage, their use as a soil fertilizer was tested. For the examination and characterization of biochars, the following analytical techniques were performed with the following order:

- Total cation exchange capacity (C.E.C)
- Pore control (BET)
- Measurements of ζ potential
- X-ray diffraction (XRD)
- Scanning electron microscopy (SEM)
- Energy dispersion spectroscopy (EDS)
- Elemental analysis of CHNS
- Determination of the concentration of assimilated trace elements by the DTPA method.

Controlling their adsorption capacity was carried out in aqueous solutions with a known concentration of various substances. It was chosen to study the adsorption in a methylene blue solution because as a pigment it is recommended to be used for such an observation. In the same way, the adsorption performance in phenol solutions has been studied, since phenol is a common, dangerous organic pollutant, which is found in both wastewater and water for use, so good removal efficiency would mean that the particular char can also be used for similar purposes. Finally, adsorption in solutions of humic compounds was studied, because humic substances are potentially toxic when they react with metals and organochlorine compounds. Scientific researches have shown that when chlorinating water with a high content of humic compounds, various carcinogenic derivatives known as "disinfecting by-products" can be produced. So if the studied biochars were efficient in the adsorption of the humic compounds, a possible water filtering use could be proposed.

Reference curves have been generated for each adsorbed substance and for seven days the adsorption performance was analyzed on a daily basis using the analytical method of ultraviolet-visible spectroscopy (UV-VIS).

For the study of their agronomic characteristics and their use as soil improvers, their performance has been checked as soil enriching fertilizers for growing vegetables. Rooting and growth were examined in three plant species and in particular tomatoes, spinach and lettuce. The plantings were carried out in combination of each bio-carbon in proportions of 0, 1:2 & 1:10 with three commercial soil substrates: sand, perlite and peat.

From the adsorption study, the best sorbent was found to be the biochar from a tannery waste which had been cracked in anoxic furnace for 12 hours (B12). This biochar showed the largest specific surface area and the most negative ζ potential charge. The charge of the adsorbents was also added, because the adsorption efficiency for methylene blue was around 40%, while for humic was 15% and for phenol 2%.

From the statistical test for rooting, the most suitable commercial substrate was peat in combination with biochar B12, probably because it showed a higher concentration of digestible trace minerals than the other two and this gave seed germination.

Growth was judged individually for each plant species due to its genetic origin. Tomato and spinach flourished on the peat and had a higher growth rate by adding the biochar from tannery industry waste that was inactivated in the anoxic pyrolytic furnace for 1 hour (B1) in a 1:2 ratio. Lettuce was favored by the addition of biochar B12 to the sand, also in a 1:2 ratio

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	10
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΖΩΙΚΩΝ ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΦΑΓΗΣ.....	14
3 ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ	14
3.1 ΤΡΟΠΟΙ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ	15
4 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	18
5 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ	21
5.1 ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ & ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ.....	21
5.2 ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ.....	22
5.3 ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ	22
5.3.1 ΙΣΟΘΕΡΜΟΣ FREUNDLICH	22
5.3.2 ΙΣΟΘΕΡΜΟΣ LANGMUIR.....	23
5.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ	23
6 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	23
7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	24
7.1 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ Β0, Β1, Β12	24
7.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ Β12, Β1, Β0	24
7.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (Β12, Β1, Β0)	24
7.3.1 ΟΛΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ (Ι.Α.Κ. ή C.E.C. CATION EXCHANGE CAPACITY).....	24
7.3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ (B.E.T)	25
7.3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ Β12, Β1, Β0.....	25
7.3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD).....	26
7.3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ (SEM) & ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ (EDS).....	27
7.3.6 ΥΓΡΗ ΠΕΨΗ ΜΕ ΦΟΥΡΝΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ	27
7.3.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ CHNS (ELEMENTAL ANALYSIS CHNS)	28
7.3.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΑΦΟΜΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DTPA ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΦΛΟΓΑ (AAS).....	29

7.4	ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B12, B1, B0)	29
7.4.1	ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ.....	29
7.4.2	ΠΕΙΡΑΜΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ (B12, B1, B0).....	30
7.5	ΡΙΖΟΒΟΛΙΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	31
7.5.1	ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΠΟΡΑΣ – ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	31
7.5.2	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ.....	31
7.5.3	ΥΛΙΚΑ: ΣΠΟΡΟΙ & ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ.....	32
7.5.4	ΈΝΑΡΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	34
7.6	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	36
8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ	36
8.1	ΜΕΛΕΤΗ ΟΛΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ (I.A.K ή C.E.C CATION EXCHANGE CAPACITY) ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ.....	36
8.2	ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΔΟΜΗΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ	37
8.3	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ	39
8.4	ΜΕΛΕΤΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ	41
8.5	ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ SEM/EDS.....	42
8.6	ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ CHNS.....	47
8.7	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΑΦΟΜΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DTPA & AAS	48
8.8	ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ	50
8.8.1	ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B1,B12,B0)	50
8.8.2	ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΦΑΙΝΟΛΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B1,B12,B0) .	51
8.8.3	ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B1,B12,B0) .	52
8.9	ΜΕΛΕΤΗ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ B12.....	53
8.9.1	ΜΕΛΕΤΗ ΙΣΟΘΕΡΜΗΣ FREUNDLICH ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΤΟ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B12.....	54
8.9.2	ΜΕΛΕΤΗ ΙΣΟΘΕΡΜΗΣ LANGMUIR ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΤΟ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B12.....	54
8.10	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ.....	55
8.10.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1, B0.....	59
8.11	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	61
8.11.1	ΦΥΤΙΚΟ ΕΙΔΟΣ ΣΠΑΝΑΚΙ.....	62
8.11.2	ΦΥΤΙΚΟ ΕΙΔΟΣ ΜΑΡΟΥΛΙ.....	64
8.11.3	ΦΥΤΙΚΟ ΕΙΔΟΣ ΤΟΜΑΤΑ	66
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	71
10	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	72

11	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	81

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1	ΕΙΔΟΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ & ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΚΑΥΣΗΣ [51]	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 2	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 3	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 4	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 5	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΕΔΑΦΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ Ι.Α.Κ. [91]	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ Ι.Α.Κ. ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ B12, B1, B0	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΓΚΟΥ & ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΟΡΩΝ (Β.Ε.Τ.)	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 8	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΙΔΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ & ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ [ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ (Β.Ε.Τ)]	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 9	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 10	pH ₀ ΑΡΧΙΚΟ pH ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ & pH _{pzc} ΙΣΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΟΠΟΥ ΤΟ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΙΝΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΟ	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 11	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΝΑ ΤΙΜΗ pH, ΟΙ ΣΚΟΥΡΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΕΙΝΑΙ Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 12	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ EDS	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 13	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ CHNS ΣΤΟ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 14	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 15	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΑΦΟΜΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ppm	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 16	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ppm) ΟΠΩΣ ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΣΤΟ SOIL AND PLANT ANALYSIS	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 17	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ B12- ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 18	ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	55

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1	ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ BIOCHAR (ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ROBINIA PSEUDOACACIAL ΣΤΟΥΣ 350°C ΓΙΑ 16 h; CHENG ET AL., 2006) ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΕΔΑΦΟΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΤΕΙ ΜΕ ΚΟΠΡΙΑ ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΑ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΑ (LEHMANN ET AL., 2005A)	15
ΣΧΗΜΑ 2	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (WWW.BIOCHAR-INTERNATIONAL.ORG)	18
ΣΧΗΜΑ 3	SURFER ΤΟΥ ΟΙΚΟΥ THERMO SCIENTIFIC	25
ΣΧΗΜΑ 4	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	26
ΣΧΗΜΑ 5	ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΟ ΑΚΤΙΝΩΝ-Χ, P ANALYTICAL, MODEL XPRT PRO MPD	27
ΣΧΗΜΑ 6	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΣΑΡΩΣΗΣ CARL ZEISS, MODEL EVO 50XVP	27
ΣΧΗΜΑ 8	ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΗΣ	28
ΣΧΗΜΑ 7	ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΦΟΥΡΝΟΥ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ MICROWAVE DIGESTION SYSTEM SPEEDWAVE TWO, BERGHOF ΜΕ ΚΛΕΙΣΤΑ ΔΟΧΕΙΑ DAP-60K	28
ΣΧΗΜΑ 9	ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΟΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΦΛΟΓΑΣ (AAS) PERKIN ELMER ANALYST 300	29
ΣΧΗΜΑ 10	SHAKING BATH SB-16 ΠΑΡΟΜΟΙΟ ΜΕ ΑΥΤΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ	30
ΣΧΗΜΑ 11	ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΥΡΦΗ (Α), ΑΜΜΟΣ (Β), ΠΕΡΛΙΤΗΣ (Γ)	32
ΣΧΗΜΑ 14	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ «ΤΕΜΑΧΙΟ»	34

ΣΧΗΜΑ 12	ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ B12 ΑΜΜΟΣ 1:10.....	34
ΣΧΗΜΑ 13	ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ B12 ΑΜΜΟΣ 1:2.....	34
ΣΧΗΜΑ 15	ΜΕΡΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΣΠΟΡΩΝ.....	35
ΣΧΗΜΑ 16	ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ.....	35
ΣΧΗΜΑ 17	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Ι.Α.Κ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ B12, B1 ΚΑΙ B0.....	37
ΣΧΗΜΑ 18	ΙΣΟΘΕΡΜΟΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B12.....	38
ΣΧΗΜΑ 19	ΙΣΟΘΕΡΜΟΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B1.....	38
ΣΧΗΜΑ 20	ΙΣΟΘΕΡΜΟΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B0.....	38
ΣΧΗΜΑ 21	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ Z- ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ pH.....	41
ΣΧΗΜΑ 22	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ΓΙΑ ΤΑ ΥΛΙΚΑ B12, B1 ΚΑΙ B0.....	42
ΣΧΗΜΑ 23	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΛΙΚΟΥ B12 ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΕΙΣ.....	43
ΣΧΗΜΑ 24	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΛΙΚΟΥ B1 ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΕΙΣ.....	43
ΣΧΗΜΑ 25	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΛΙΚΟΥ B0 ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΕΙΣ.....	43
ΣΧΗΜΑ 26	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	44
ΣΧΗΜΑ 27	ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΜΜΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ B12.....	45
ΣΧΗΜΑ 28	ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΜΜΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ B1.....	45
ΣΧΗΜΑ 29	ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΜΜΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ B0.....	46
ΣΧΗΜΑ 30	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΡΓΙΛΙΟΥ (Al), ΝΑΤΡΙΟΥ (Na), ΠΥΡΙΤΙΟΥ (Si) ΣΤΟ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B12 & B1.....	46
ΣΧΗΜΑ 31	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (% w/w) N, C, H, S ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ.....	48
ΣΧΗΜΑ 32	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΦΟΜΟΙΟΥΜΕΝΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1, B0.....	49
ΣΧΗΜΑ 33	ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ.....	50
ΣΧΗΜΑ 34	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΛΥΜΑ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ.....	50
ΣΧΗΜΑ 35	ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΦΑΙΝΟΛΗ.....	51
ΣΧΗΜΑ 36	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΛΥΜΑ ΦΑΙΝΟΛΗΣ.....	51
ΣΧΗΜΑ 37	ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΟΥΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ.....	52
ΣΧΗΜΑ 38	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΛΥΜΑ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ.....	52
ΣΧΗΜΑ 40	ΙΣΟΘΕΡΜΗ ΤΟΥ LANGMUIR ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ B12.....	54
ΣΧΗΜΑ 39	ΙΣΟΘΕΡΜΗ ΤΟΥ FREUNDLICH ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ B12.....	54
ΣΧΗΜΑ 41	ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ.....	56
ΣΧΗΜΑ 42	ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ.....	56
ΣΧΗΜΑ 43	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑ.....	57
ΣΧΗΜΑ 44	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΜΕ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ.....	57
ΣΧΗΜΑ 45	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΜΕ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ.....	58
ΣΧΗΜΑ 46	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ B12 ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΦΥΤΙΚΑ ΕΙΔΗ.....	59
ΣΧΗΜΑ 47	ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1 & B0.....	60
ΣΧΗΜΑ 48	ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1 & B0.....	60
ΣΧΗΜΑ 49	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΙΖΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1 & B0.....	61
ΣΧΗΜΑ 50	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ ΚΑΙ ΤΥΡΦΗΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1 ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΜΑΤΑ.....	61
ΣΧΗΜΑ 51	ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΑΝΑΚΙ.....	62
ΣΧΗΜΑ 52	ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΑΝΑΚΙ.....	62
ΣΧΗΜΑ 53	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΙΑ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΣΠΑΝΑΚΙ.....	63
ΣΧΗΜΑ 54	ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΜΕ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ.....	63
ΣΧΗΜΑ 55	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1 ΓΙΑ ΤΟ ΣΠΑΝΑΚΙ.....	64
ΣΧΗΜΑ 56	ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΡΟΥΛΙ.....	64
ΣΧΗΜΑ 57	ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΡΟΥΛΙ.....	65

ΣΧΗΜΑ 58 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΙΑ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΜΑΡΟΥΛΙ	65
ΣΧΗΜΑ 59 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ.....	66
ΣΧΗΜΑ 60 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1 ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΡΟΥΛΙ	66
ΣΧΗΜΑ 61 ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1	67
ΣΧΗΜΑ 62 ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1	67
ΣΧΗΜΑ 63 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ.....	68
ΣΧΗΜΑ 64 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1	68
ΣΧΗΜΑ 65 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1 ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΜΑΤΑ	69
ΣΧΗΜΑ 66 ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΠΙΒΙΩΝΤΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ ΑΠΟ ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗ	70
ΣΧΗΜΑ 67 ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΠΙΒΙΩΝΤΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ ΑΠΟ ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗ	70

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομάζα είναι μία ήπια, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη στο οργανικό και βιολογικό υλικό των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Η αξιοποίηση της αποτελεί ένα σημαντικό επίτευγμα [1].

Τα απόβλητα που παράγονται από ανθρώπινη δραστηριότητα και έχουν ενεργειακό περιεχόμενο αποτελούν υπολειμματικές μορφές βιομάζας. Ως υπολειμματική βιομάζα χαρακτηρίζονται τα αγροτικά υπολείμματα, τα δασικά υπολείμματα, τα βιομηχανικά απόβλητα και τα αστικά απορρίμματα [2].

Το βιοεξανθράκωμα είναι το στερεό προϊόν που προκύπτει έπειτα από θερμική αποδόμηση βιομάζας υπό συνθήκες πλήρους ή μερικής έλλειψης οξυγόνου [3]. Πρόκειται ουσιαστικά για εξανθρακωμένη οργανική ύλη που παραμένει σταθερή στο περιβάλλον. Τα χαρακτηριστικά του βιοεξανθρακώματος διαφοροποιούνται ανάλογα με την πρώτη ύλη που πυρολύεται και συνήθως χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό υπολειμματικού άνθρακα [4].

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν ενδιαφέρον μελέτες εφαρμογής του βιοεξανθρακώματος στο έδαφος με σκοπό την τροποποίηση, τον εμπλουτισμό του εδάφους με θρεπτικά και την αύξηση της γονιμότητας και της φυτικής παραγωγής [5]-[9].

Παράλληλα, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της χρήσης του στη γεωργία συμπεριλαμβάνοντας τις επιδράσεις στην κλιματική αλλαγή και στο οικοσύστημα του εδάφους, έχει ως αποτέλεσμα το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση του στα πεδία των περιβαλλοντικών επιστημών [10]-[15].

Από κάποιους ερευνητές υποστηρίζεται ότι θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ελάττωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Το υλικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσροφά ρύπους και να δεσμεύει CO₂, για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής [16]-[18].

Οι περισσότερες μελέτες έχουν γίνει με χρήση βιοεξανθρακώματος από φυτικά υπολείμματα και γεωργικά απόβλητα για την προσρόφηση οργανικών ρυπαντών [19]-[28], ενώ υπάρχουν και κάποιοι συγγραφείς που έχουν ερευνήσει την προσροφητική ικανότητα άλλων ειδών βιοεξανθρακωμάτων στο έδαφος, όπως το ξυλοκάρβουνο [29]-[30].

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα βιοεξανθρακώματα που μελετήθηκαν ήταν υπολείμματα «τέφρας» πυρολυτικών κλιβάνων που ήταν εγκατεστημένοι σε βιομηχανικό σφαγείο (B0) και σε φινιριστήριο - βαφείο γουναρικών (B12, B1). Τα συγκεκριμένα υπολείμματα θεωρούνται δύσκολα διαχειρίσιμα απόβλητα που δεν επιτρέπεται να αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα εντός των μονάδων παραγωγής και των οποίων η διάθεση έχει ένα υψηλό κόστος διότι χαρακτηρίζονται από τη νομοθεσία ως *επικίνδυνα υλικά κατηγορίας 1, 2 και 3 [31],[109].

Γνωρίζοντας ότι η προοδευτική εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής οδήγησε στην ανάγκη εμπλουτισμού του εδάφους με θρεπτικά συστατικά ώστε να παράγονται αποδοτικότερες σοδειές με βελτιωμένες ποικιλίες φυτών, εξετάστηκε η δυνατότητα χρήσης τους ως λιπαντικό του εδάφους.

Έρευνες βρήκαν ότι το βιοεξανθράκωμα είναι ικανό να αυξήσει την ικανότητα αποθήκευσης του άνθρακα στο έδαφος, να βελτιώσει τη γονιμότητα του εδάφους όπως και να διατηρήσει την ισορροπία του συστήματος στο έδαφος. Επίσης, θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν λίπασμα ή πρόσθετο για να αυξήσει την ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών διατηρώντας περισσότερα θρεπτικά συστατικά [32]-[35].

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερόμενες έρευνες εξετάστηκε και η πιθανή χρήση του ως προσροφητικό μέσο.

Η αργή πυρόλυση της βιομάζας σε υψηλή θερμοκρασία είναι μια χρησιμοποιούμενη μέθοδος παραγωγής ενεργού άνθρακα [36], η προσροφητική ικανότητα του οποίου εξαρτάται από τη δομή των πόρων και από τη χημική κατάσταση της επιφανείας του [37]-[38]. Από προγενέστερες μελέτες [39]-[40] είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία της πυρόλυσης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ειδική επιφάνεια του βιοεξανθρακώματος και αφού τα δυο από τα τρία εξεταζόμενα βιοεξανθρακώματα είχαν υποστεί πυρόλυση στους 700 – 800 °C για χρόνο 12h, θεωρητικά θα μπορούσαν να εμφανίσουν παρόμοια χαρακτηριστικά με πολύ χαμηλότερο κόστος αντί της χρήσης του ενεργού άνθρακα [41].

2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΖΩΙΚΩΝ ΥΠΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΦΑΓΗΣ

Τα ζωικά υποπροϊόντα ανεξαρτήτως προέλευσης αποτελούν απειλή για τη δημόσια υγεία και για αυτό κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το επίπεδο κινδύνου που τα χαρακτηρίζει.

Τα κρεατάλευρα είναι ένα παραπροϊόν των βιομηχανικών σφαγείων και των μονάδων επεξεργασίας κρεάτων. Παλαιότερα τα κρεατάλευρα χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή ζωοτροφών. Ωστόσο, με την έξαρση της επιδημίας της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας των βοοειδών, η προσθήκη κρεατάλευρων για τον εμπλουτισμό των ζωοτροφών με πρωτεΐνες στοχοποιήθηκε και περιορίστηκε [42]-[43].

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 1774/2002, επιβάλλεται μία νέα πρακτική στην επεξεργασία των ζωικών αποβλήτων, με την οποία απαγορεύεται η χρήση τους για εκτροφή των ζώων, εφόσον τα ζώα αυτά προορίζονται για κατανάλωση από ανθρώπους. Επομένως τεράστιες ποσότητες αποβλήτων που προηγουμένως χρησίμευαν ως ζωοτροφή, παραμένουν ανεκμετάλλευτες και το δυναμικό τους για παραγωγή ενέργειας θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη (1578 εκ. τόνοι) [44].

Σήμερα, το κρεατάλευρο επεξεργάζεται κυρίως μέσω της αποτέφρωσης σε ειδικούς κλιβάνους [111]. Σε μερικές Ευρωπαϊκές χώρες, ένα σημαντικό μέρος των αποβλήτων κρεατάλευρων οδηγείται σε εγκεκριμένους χώρους υγειονομικής ταφής. Η απόθεσή τους στο έδαφος ωστόσο μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση των εκπομπών των αέριων του θερμοκηπίου που παράγονται μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης που εμπεριέχουν [42], [45]-[46].

Οι νέες τεχνολογίες έχουν επεκτείνει πιθανές χρήσεις τους κυρίως στον τομέα παραγωγής ενέργειας με αναερόβια χώνευση ή παραγωγή βιοντίζελ [47].

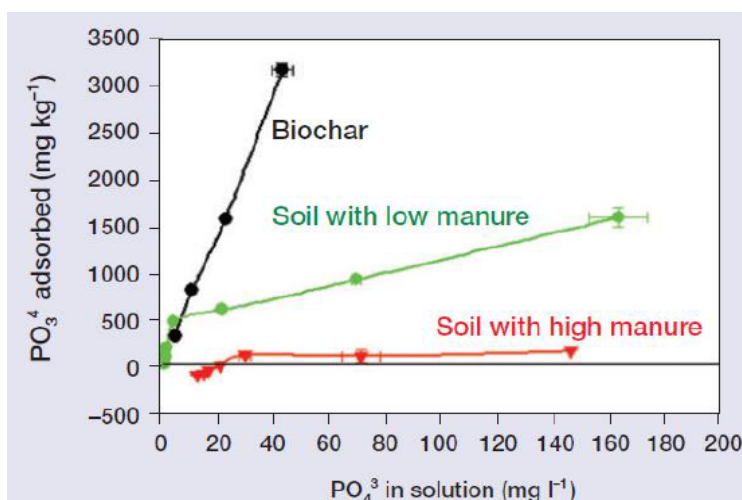
Οι θερμικές επεξεργασίες με ενεργειακή ανάκτηση αποτελούν εφαρμογές για τη διαχείριση των ζωικών υποπροϊόντων. Εξαιτίας της ανησυχίας για τις εκπομπές αέριων ρύπων που σχετίζονται με την καύση και την αποτέφρωση, έχουν προταθεί εναλλακτικές επιλογές, όπως η πυρόλυση και η αεριοποίηση. Δυνητικά πλεονεκτήματα των διεργασιών αυτών, συγκρινόμενα με την αποτέφρωση, είναι τα διαθέσιμα παραπροϊόντα από τις διεργασίες αυτές, δηλαδή το βιοαέριο, το βιοέλαιο και το βιοεξανθράκωμα. Η πυρόλυση των κρεατάλευρων καταδεικνύεται μια τεχνική βιώσιμη και τα προϊόντα της είναι δυνητικά χρήσιμα για ενεργειακούς σκοπούς. [42],[44],[48]-[50],[112]-[114].

3 ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ

Το βιοεξανθράκωμα, γνωστό και με το αγγλικό όρο biochar, είναι προϊόν ανθρακοποίησης της βιομάζας και περιέχει πτητικές ενώσεις, τέφρα και οργανικό άνθρακα με αποτέλεσμα να σχηματίζει σε υψηλό βαθμό αρωματικές ενώσεις. Με την πυρόλυση τα ανόργανα υλικά μετατρέπονται σε τέφρα, ενώ το οργανικό μέρος που περιλαμβάνει το ανθρακούχο υπόλειμμα είναι πλουσιότερο σε άνθρακα από την αρχική βιομάζα [51]. Μια από τις ιδιότητες του είναι ότι παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα στο περιβάλλον και ειδικά το βιοεξανθράκωμα που προέρχεται

από ξύλο διαθέτει μεγάλη χωρητικότητα στο να απορροφά ανιόντα και κατιόντα από διαλύματα, καθώς και μια ποικιλία από οργανικές πολικές και μη πολικές ενώσεις [52]. Η σταθερότητά του εξαρτάται από τον τύπο της βιομάζας που χρησιμοποιείται για την πυρόλυση, το χρόνο εφαρμογής, τις συνθήκες της διεργασίας αλλά και το έδαφος και το κλίμα. Ωστόσο, αν και είναι υψηλό το επίπεδο αντίστασης που παρουσιάζει στην αποικοδόμηση του είναι γνωστό ότι το βιοεξανθράκωμα θα μετατραπεί σε CO₂ διότι, διαφορετικά θα συσσωρευόταν πάνω από τις γεωλογικές κλίμακες και θα κυριαρχούσε στην οργανική ύλη του εδάφους [53].

Η χρήση βιοεξανθρακώματος μπορεί να βοηθήσει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, αφού μπορεί να δεσμεύσει τον άνθρακα καθώς και να βελτιώσει ιδιότητες του εδάφους. Επειδή καθίσταται ανέφικτο να επέμβουμε στην ορυκτολογία ενός συγκεκριμένου εδάφους μπορούμε να ενεργήσουμε με την προσθήκη βιοεξανθρακώματος για να



Σχήμα 1 Προσρόφηση φωσφόρου σε biochar (παραγόμενο από *Robinia pseudoacacia* στους 350°C για 16 h; Cheng et al., 2006) σε σύγκριση με έδαφος που έχει εμπλουτιστεί με κοπριά βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα (Lehmann et al., 2005a)

διαφοροποιηθεί η περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη. Η αύξηση της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης στο έδαφος δρα συνεργατικά με την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί τα κατιόντα σε ανταλλάξιμη και διαθέσιμη για τα φυτά μορφή. Το βιοεξανθράκωμα εξαιτίας της μεγαλύτερης αρνητικά φορτισμένης περιοχής στην επιφάνεια των μορίων του και της μεγαλύτερης πυκνότητας φόρτισης, διαθέτει την ιδιότητα να απορροφά κατιόντα ανά μονάδα άνθρακα, ενώ παράλληλα εμφανίζει και ικανότητα προσρόφησης φωσφόρου που είναι ανιόν (Σχήμα 1). Οπότε με την εφαρμογή του στο έδαφος αυξάνονται τα θρεπτικά στοιχεία και το βιοδιαθέσιμο φώσφορο που δύνανται να αυξήσουν την ανάπτυξη του φυτού [53]-[54].

Επιπλέον, έχει αποδειχθεί πως το βιοεξανθράκωμα βοηθά στη θωράκιση των καλλιεργειών από τις αρρώστιες κάνοντας τις καλλιέργειες πιο ανθεκτικές [55]-[56].

3.1 ΤΡΟΠΟΙ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ

Το βιοεξανθράκωμα αποτελείται από δύο μέρη το οργανικό και το ανόργανο. Τα σωματίδια του πυρολυτικού βιοεξανθρακώματος δεν έχουν την τάση να σχηματίζουν συσσωματώματα. Το μέγεθος των σωματιδίων του βιοεξανθρακώματος εξαρτάται από την κοκκομετρία της τροφοδοσίας, την φθορά τους από το σύστημα του αντιδραστήρα και από τις συνθήκες λειτουργίας του αντιδραστήρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή ενέργειας σε κατάλληλους λέβητες ή κλιβάνους, καθώς και για την παρασκευή ενεργού άνθρακα, όταν διαθέτει το κατάλληλο μέγεθος πόρων και μεγάλη ειδική επιφάνεια [51].

Ως στερεό βιοκαύσιμο

Η πυρόλυση βιομάζας σε θερμοκρασίες μεταξύ 300 - 700 °C παράγει εξανθράκωμα και πτητικά αέρια μέρος των οποίων μπορεί να συμπυκνωθεί σε έλαιο το οποίο χρησιμοποιείται στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Το βιοεξανθράκωμα που παράγεται από ταχεία πυρόλυση υπό υψηλή πίεση χαρακτηρίζεται από μικρό μέγεθος σωματιδίων, έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε πτητικά και μεγάλη θερμογόνο δύναμη, γεγονός που βοηθά στο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο [31],[58]-[59].

Ως οικοδομικό υλικό

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια χρήσης μορφών υπολειμματικής βιομάζας, στη δημιουργία γεωυλικών που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά, προδίδοντας στις κατασκευές το πλεονέκτημα του χαμηλότερου βάρους [60].

Στη βιομηχανία τσιμέντου και την οδοποιία γίνεται χρήση της τέφρας του πυθμένα κλιβάνου ως οικοδομικό υλικό και παράλληλα εξετάζεται η αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας σαν ένα συστατικό του τσιμέντου ή σκυροδέματος. Με κατάλληλες διατάξεις για τη συλλογή των καπναερίων υποβοηθείται η μείωση των επιπέδων σκόνης στις γύρω περιοχές και λειτουργεί ως υποκατάστατο της τσιμεντοβιομηχανίας που ακολουθεί διεργασίες για τον εμπλουτισμό του τσιμέντου σε μεταλλικά συστατικά και ιχνοστοιχεία, τα οποία διαφορετικά θα είχαν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον [61]-[62].

Ως προσροφητικό υλικό

Έκτος από τον ενεργό άνθρακα που είναι ο πιο το διαδεδομένο προσροφητικό υλικό, εκτεταμένες είναι και οι μελέτες περί αξιοποίησης των βιοεξανθρακωμάτων για την παραγωγή απορροφητικών μέσων, με παρόμοιες ιδιότητες. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί αποδεικνύουν ότι το εξανθράκωμα είναι εξίσου ικανό και δύναται να τροποποιηθεί η μορφή της δομής του ώστε να βελτιστοποιηθούν οι προσροφητικές του ικανότητες, αν διαφοροποιηθούν ορισμένα στάδια της πυρόλυσης. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία πυρόλυσης, αυξάνεται και ο βαθμός ανθρακοποίησης του εξανθρακώματος, αυξάνοντας κι αυτό με τη σειρά του την ειδική επιφάνεια και μειώνοντας την άμορφη οργανική ύλη. Η μεγάλη ειδική επιφάνεια και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων καθιστούν το βιοεξανθράκωμα ικανό να προσροφά οργανικούς και ανόργανους ρύπους του εδάφους και έτσι να βρίσκει εφαρμογές σε προβλήματα αποκατάστασης ρυπασμένων εδαφών. Συμβάλει στην ελάττωση της βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων και έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει ζιζανιοκτόνα [31], [59], [63].

Ως εφαρμογή στο έδαφος

Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε ανόργανα στοιχεία εξετάζεται η αξιοποίηση των τεφρών που παράγονται σε συστήματα καύσης ως βελτιωτικά εδαφών. Το υπόλειμμα της τέφρας αφού υποστεί μία προ-επεξεργασία, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας καύσης και την ποιότητα της βιομάζας που υπόκειται σε καύση, είναι κατάλληλο για ποικίλες περιβαλλοντικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, η τέφρα από βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο συστατικό στην παραγωγή αγροτικής κομπόστας, με επιπλέον όφελος τη μείωση των εκπομπών σκόνης από μία τέτοια διεργασία [42], [64].

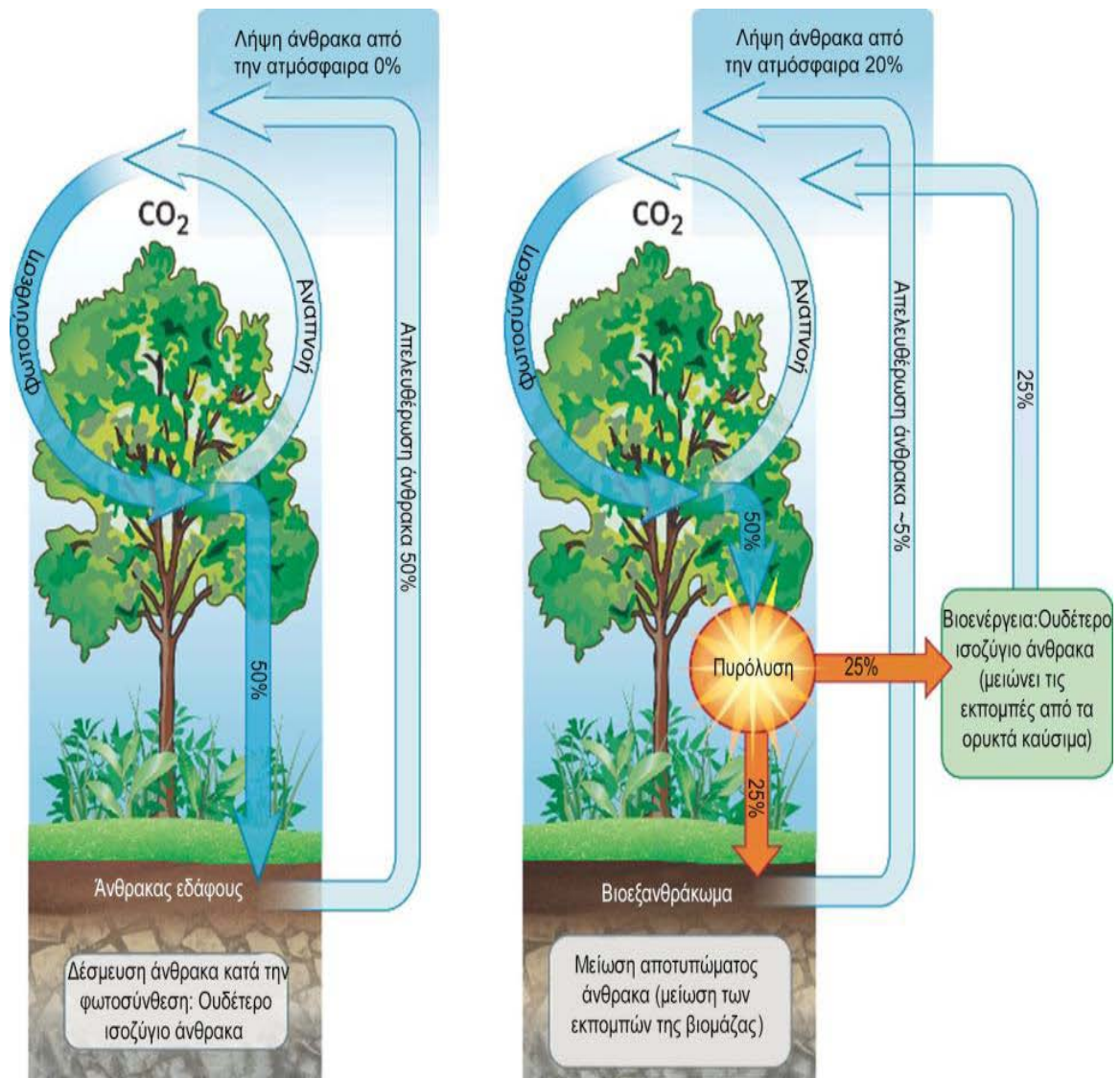
Η τέφρα από βιομάζα συμπεριφέρεται παρόμοια με τα βιομηχανικά λιπάσματα του εμπορίου, και η ποσότητά της για χρήση εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας, το έδαφος και τα επιπρόσθετα

λιπάσματα. Ειδικά σε φυτά τα οποία είναι ευαίσθητα σε χλώριο, η χρήση της τέφρας από βιομάζα μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της συγκέντρωσης του χλωρίου, που προσφέρεται στο έδαφος μέσω των λιπασμάτων. Επίσης, η τέφρα από ξυλώδη βιομάζα, όπως τα δασικά υπολείμματα, κρατά σταθερά τα επίπεδα φωσφόρου στο έδαφος και χρησιμοποιείται ως φιλικότερη λύση των λιπασμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο, στις περιπτώσεις όπου απαιτείται η αύξηση του pH του εδάφους [42],[65]-[67].

Το βιοεξανθράκωμα όταν χρησιμοποιείται για τη λίπανση του εδάφους βελτιώνει τη σύστασή και τη γονιμότητα του εδάφους, τη φυτοανάπτυξη και γενικά την αγροτική παραγωγικότητα. Έχει παρατηρηθεί, ανεξάρτητα από τις ασταθείς κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν, ότι με την προσθήκη του βιοεξανθρακώματος στο έδαφος αυξάνεται η συγκέντρωση καλίου στον ιστό του φυτού καθώς και η συνολική ποσότητα αζώτου, άνθρακα, φωσφόρου και καλίου στο έδαφος συγκρινόμενα με τις κανονικές συνθήκες. Η εφαρμογή του βιοεξανθρακώματος στο έδαφος είναι ικανή να αυξήσει τη γονιμότητα του και την απόδοση των καλλιεργειών γιατί έχει την ικανότητα να συγκρατεί τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους με τρόπο ώστε αυτά να είναι διαθέσιμα στα φυτά. Η ιοντονταλλακτική του ικανότητα (CEC), εξαρτάται από την ποσότητα της οργανικής ύλης που αυτό διαθέτει. Ωστόσο, συγκριτικά με την οργανική ύλη του εδάφους, το βιοεξανθράκωμα έχει ακόμα μεγαλύτερη ικανότητα να προσροφά κατιόντα ανά μονάδα άνθρακα, λόγω της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας, του μεγαλύτερου αρνητικού φορτίου επιφάνειας και της μεγαλύτερης πυκνότητας φορτίου [10].

Εκτός από την ευεργετική επίδραση που έχει στη γονιμότητα του εδάφους το βιοεξανθράκωμα μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής διότι αποτελεί μηχανισμό δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα στο έδαφος. Αρχικά το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας δεσμεύεται από τα φυτά με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης. Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης ένα μέρος του άνθρακα απελευθερώνεται στα αερία, τα οποία μπορούν να διατεθούν για παραγωγή βιοενέργειας και το υπόλοιπο παραμένει στο βιοεξανθράκωμα. Με αυτή τη μορφή είναι δυνατή η αποθήκευσή του στο έδαφος. Έτσι, σχεδόν η μισή ποσότητα του άνθρακα που εμπεριέχεται στη βιομάζα που πυρολύεται μπορεί να δεσμευτεί «εφ' όρου ζωής» στο έδαφος. Αυτή η χρήση του μπορεί δυνητικά να αποθηκεύσει αρκετή ποσότητα CO₂.

Επίσης η προσθήκη βιοεξανθρακώματος στο έδαφος μπορεί να αυξήσει τη συγκράτηση του νερού μέσω της αύξησης του πορώδους του εδάφους ενώ παράλληλα μειώνει την έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος [31],[63],[68]-[70].



Σχήμα 2 Επίδραση βιοεξανθρακώματος στην κλιματική αλλαγή (www.biochar-international.org)

4 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μετατροπής του περιεχομένου τους σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας. Οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- αποτέφρωση – καύση (incineration - combustion)
- αεριοποίηση (gasification)
- τεχνική του πλάσματος (plasma technology)
- πυρόλυση (pyrolysis)

Επιγραμματικά αναφέρονται οι συγκεκριμένες τεχνικές και οι διαφορές τους:
 – Καύση (θέρμανση παρουσία οξυγόνου και φλόγας). Είναι διεργασία που λαμβάνει χώρα σε

υψηλές θερμοκρασίες και με περίσσεια αέρα και που μετατρέπει τις σύνθετες οργανικές ενώσεις σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

→ Αεριοποίηση (θέρμανση με λίγο οξυγόνο). Η θερμική διεργασία κατά την οποία ο άνθρακας, που εμπριέχεται στα απορρίμματα, μετατρέπεται σε αέρια μορφή με μερική καύση των αποβλήτων με αέρα ή οξυγόνο, είτε με εμπλουτισμένο σε οξυγόνο αέρα, είτε παρουσία ατμού. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι 900 - 1.100 °C (με αέρα) ή 1.000 - 1.400 °C (με οξυγόνο). Όπως και στην πυρόλυση, τα αέρια και ελαιώδη κατάλοιπα της αεριοποίησης χρησιμοποιούνται σαν καύσιμα, ενώ τα στερεά κατάλοιπα οδηγούνται για διάθεση. Η αεριοποίηση εκτέμνει περισσότερες διοξίνες και οξείδια του αζώτου από την καύση και λιγότερο μόλυβδο, διοξείδιο του θείου και μονοξείδιο του άνθρακα.

→ Θερμική αεριοποίηση. Η πυρόλυση σε θερμοκρασίες στην περιοχή των 800 βαθμών Κελσίου.

→ Τεχνολογίες πλάσματος. Διεργασίες σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (μεγαλύτερες των 10.000 °C), κατά τις οποίες γίνεται επεξεργασία των αποβλήτων. Το πλάσμα δημιουργείται με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε δύο αντίθετα φορτισμένους πόλους και αποτελεί ένα θερμό ιονισμένο αέριο. Στις συνθήκες αυτές υποτίθεται ότι καταστρέφονται όλες οι τοξικές ουσίες και συνεπώς δεν υπάρχουν τα προβλήματα που συνοδεύουν την καύση. Παρόλα αυτά και οι τεχνολογίες πλάσματος εκτέμνουν διοξίνες, έστω και λιγότερες από την καύση και βαρέα μέταλλα. Επίσης, δεν έχουν δοκιμαστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα και σε μεγάλη κλίμακα και έχουν φυσικά πολύ μεγάλο επενδυτικό και εξαιρετικά υψηλό λειτουργικό κόστος.

→ Πυρόλυση (θέρμανση απουσία οξυγόνου) αποτελεί μια διεργασία αποτέφρωσης. Η θερμική αποσύνθεση, σε χαμηλότερες από την καύση θερμοκρασίες (300 - 900 βαθμούς Κελσίου), των οργανικών υλικών, απουσία οξυγόνου ή σε ατμόσφαιρα φτωχή σε οξυγόνο.

Στα σφαγεία και τα βυρσοδεψεία ακολουθείται η διαδικασία της πυρόλυσης για την επεξεργασία των ζωικών υποπροϊόντων.

Αναλυτικότερα η πυρόλυση ως θερμικής μέθοδος, βασίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και κατά τη θέρμανσή τους απουσία οξυγόνου διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Η πυρολυτική διεργασία σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση είναι ισχυρά ενδόθερμη και για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της αποτελούν η σύσταση των στερεών αποβλήτων, η θερμογόνος δύναμή τους και η περιεχόμενη υγρασία.

Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης οι υπάρχουσες οργανικές ενώσεις υφίστανται πολλές αλλαγές που περιγράφονται από πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις.

Στις αρχικές αντιδράσεις περιλαμβάνονται οι διασπάσεις κατά τις οποίες τα χαμηλής πτητικότητας οργανικά συστατικά μετατρέπονται σε άλλα περισσότερο πτητικά.

Κατά τη διεργασία της πυρόλυσης πραγματοποιείται χημική διάσπαση των οργανικών υλικών, τα προϊόντα που παράγονται είναι:

- Αέρια: Αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων.

- Υγρά: Το υγρό κλάσμα, είναι ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη) καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.

- Στερεά: Το στερεό υπόλειμμα περιέχει σχεδόν καθαρό άνθρακα με τέφρα. Τα στερεά κατάλοιπα οδηγούνται συνήθως για διάθεση.

Είδη Πυρόλυσης

Η διεργασία της πυρόλυσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με 3 τρόπους:

- Συμβατική Πυρόλυση

Η συμβατική πυρόλυση αποτελεί την αργή θερμική αποσύνθεση των οργανικών συστατικών της βιομάζας. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή εξανθρακώματος, το οποίο αποτελεί και το πιο ελκυστικό προϊόν της συμβατικής πυρόλυσης.

- Ταχεία Πυρόλυση

Η ταχεία πυρόλυση βιομάζας είναι μια διεργασία κατά την οποία η πρώτη ύλη θερμαίνεται ταχύτατα σε θερμοκρασίες 450 – 500 °C. Σε αυτές τις συνθήκες παράγονται ατμοί οργανικών ενώσεων, μη συμπυκνώσιμα αέρια και ρευστή πίσσα. Πραγματοποιείται με υψηλούς ρυθμούς θέρμανσης και χρησιμοποιείται για την μετατροπή της βιομάζας σε υγρό, ελαχιστοποιώντας την παραγωγή εξανθρακώματος. Η συγκεκριμένη διεργασία απαιτεί ταχεία ψύξη των υγρών προϊόντων για να τερματισθεί η δευτεροβάθμια μετατροπή τους. Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για την μεγάλη απόδοση αερίου μεσαίας ενέργειας πλούσιο σε υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα [71].

- Ακαριαία (Flash) Πυρόλυση

Μετατρέπει τη βιομάζα σε προϊόντα σε λίγα δευτερόλεπτα με ρυθμούς θέρμανσης μεγαλύτερους από 200 °C / sec. Εφαρμόζεται κυρίως για την παραγωγή βιοελαίου. Για τη μέγιστη παρακράτηση βιοελαίου απαιτείται μικρός χρόνος παραμονής των αερίων και ταχεία ψύξη τους [51].

Πίνακας 1 Είδος πυρόλυσης & ποσοστό παραγόμενου προϊόντος καύσης [51]

ΕΙΔΟΣ	ΧΡΟΝΟΣ				
	ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΥΓΡΟ	ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ	ΑΕΡΙΑ
	(sec)	(°C)	(Wt%)	(Wt%)	(Wt%)
ΤΑΧΕΙΑ	1	500	75	13	12
ΜΕΣΑΙΑ	10-20	500	50	30	20
ΑΡΓΗ	max ΧΡΟΝΟΣ	800	5	85	10
	ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ				

Στον παραπάνω Πίνακας 1 εμφανίζονται τα ποσοστά μετατροπής της βιομάζας με τη διεργασία της πυρόλυσης, σε υγρό, στερεό εξανθράκωμα και αέριο [51].

Οι αποδόσεις των παραγόμενων προϊόντων εξαρτώνται από το είδος της βιομάζας και από τις συνθήκες πυρόλυσης, δηλαδή από τη θερμοκρασία, την πίεση, το ρυθμό θέρμανσης και το χρόνο αντίδρασης. Η αργή πυρόλυση, που χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλους χρόνους παραμονής, είναι αυτή που χρησιμοποιείται, όταν το τελικό επιθυμητό προϊόν είναι το βιοεξανθράκωμα [42],[72]-[73].

Συνοπτικά τα μειονεκτήματα των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας συνοψίζονται στα εξής σημεία:

1. Παράγουν στα διάφορα στάδια θερμικής καταστροφής των υλικών επικίνδυνα αέρια (διοξίνες, βαρέα μέταλλα και πολλές άλλες τοξικές ουσίες), ακόμη και στις πλέον τεχνολογικά προηγμένες εκδοχές τους.
2. Χρειάζονται ένα ΧΥΤΑ επικινδύνων για την τέφρα, που προκύπτει από τις διεργασίες τους.

3. Από ενεργειακής πλευράς η καύση – πυρόλυση – αεριοποίηση συμβάλλουν πολύ περισσότερο στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου. Ακόμη και η «καλύτερη» καύση (με συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας) υπολείπεται σημαντικά της ανακύκλωσης και φυσικά της μείωσης στην πηγή [57].

5 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ

Η προσρόφηση (adsorption) μιας ουσίας στην επιφάνεια ενός στερεού συνίσταται στην αύξηση της συγκέντρωσης της ουσίας στη διεπιφάνεια μεταξύ δυο φάσεων, είτε αέριας - στερεής, είτε υγρής - στερεής φάσης. Η χημική ουσία που προσροφάται ή συγκεντρώνεται στη διεπιφάνεια, ονομάζεται (adsorbate) και το στερεό στην επιφάνεια του οποίου γίνεται η προσρόφηση ονομάζεται προσροφητικό υλικό (adsorbent). Στην παρούσα ερευνητική εργασία θα χρησιμοποιηθεί το βιοεξανθράκωμα ως προσροφητικό υλικό για το μπλε του μεθυλενίου, τη φαινόλη και τις χουμικές ενώσεις.

Το βασικότερο χαρακτηριστικό του μηχανισμού της προσρόφησης είναι το γεγονός ότι παρέχει τη δυνατότητα απομάκρυνσης διαφόρων επιβλαβών ουσιών μέσω της συγκράτησης τους στην επιφάνεια του προσροφητικού υλικού, επομένως με κατάλληλες εφαρμογές διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απορρύπανση των εδαφών και υδατικών όγκων.

5.1 ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ & ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Τα προσροφητικά υλικά χαρακτηρίζονται από την πορώδη δομή τους, τη μεγάλη εσωτερική επιφάνεια και την προσροφητική τους ικανότητα που είναι η σημαντικότερη παράμετρος για τη δημιουργία του φαινομένου της προσρόφησης καθώς και την πολικότητά τους. Λόγω των μικρών πόρων του εσωτερικού, η εσωτερική ειδική επιφάνεια ανά μονάδα μάζας είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την εξωτερική. Το φαινόμενο της προσρόφησης συμβαίνει λόγω της διαφοράς στο μοριακό βάρος, το σχήμα και την πολικότητα ορισμένων μορίων που προκαλούν την ισχυρή συγκράτηση τους στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια του προσροφητικού υλικού σε σύγκριση με άλλα μόρια [74].

Η προσρόφηση ανάλογα με τη φύση των δυνάμεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στα μόρια, τα άτομα και τα ιόντα της προσροφούμενης ουσίας και του προσροφητικού υλικού, διαχωρίζεται σε φυσική και χημική ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι αρκετές φορές είναι δύσκολη η κατάταξη ενός συστήματος σε μια από τις δυο κατηγορίες καθώς υπάρχουν και ενδιάμεσες συμπεριφορές.

Κατά τη φυσική προσρόφηση τα μόρια της προσροφούμενης ουσίας είναι ελεύθερα να καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια του προσροφητικού μέσου, η συγκράτηση είναι αντιστρεπτή και επιτρέπει τον υπολογισμό της επιφάνειας των πόρων του. Στην περίπτωση που δημιουργείται χημικός δεσμός μεταξύ των μορίων της προσροφούμενης ουσίας και της επιφάνειας προσρόφησης, τότε συμβαίνει η χημική προσρόφηση, που χαρακτηρίζεται από υψηλή ενέργεια, παρατηρείται στις υψηλές θερμοκρασίες και είναι μη αντιστρεπτή.

Η προσρόφηση μορίων μπορεί να παρασταθεί ως μια χημική αντίδραση:



όπου:

- A το προσροφούμενη ουσία,
- B το προσροφητικό υλικό
- AB η ένωση προσρόφησης.

5.2 ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Η απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ουσιών από υδατικό διάλυμα με προσρόφησή τους από πορώδεις προσροφητικό πραγματοποιείται με τα εξής διαδοχικά στάδια, των οποίων οι επιμέρους ταχύτητες μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα της απομάκρυνσης:

1. Μεταφορά των μορίων της διαλυμένης ουσίας από το διάλυμα στα εξωτερικά όρια του στατικού επιφανειακού στρώματος υγρού του προσροφητικού υλικού.
2. Μεταφορά των μορίων της ουσίας δια μέσου του λεπτού στατικού στρώματος του υγρού, που περιβάλλει την επιφάνεια του προσροφητικού υλικού.
3. Μεταφορά των μορίων της ουσίας στις θέσεις προσρόφησης δια μέσου των πόρων του προσροφητικού υλικού.
4. Προσρόφηση των μορίων από την ενεργή επιφάνεια με τη δημιουργία του δεσμού προσρόφησης μεταξύ αυτών και του προσροφητικού υλικού. Η συνολική ταχύτητα της διεργασίας καθορίζεται από το πιο αργό στάδιο [75].

Το μέγεθος των μορίων της ουσίας και των κόκκων του προσροφητικού έχουν σημαντική επίδραση στην ταχύτητα της προσρόφησης. Η αύξηση του μεγέθους των μορίων της ουσίας συνεπάγεται ελάττωση των συντελεστών διάχυσης μέσα στους πόρους. Το μέγεθος των κόκκων, επίσης, καθορίζει το μέγεθος των πόρων, άρα το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά των ουσιών δια μέσου των πόρων στις κατάλληλες θέσεις προσρόφησης. Αύξηση του μεγέθους των κόκκων συνεπάγεται ελάττωση της ταχύτητας της προσρόφησης [76].

5.3 ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

5.3.1 ΙΣΟΘΕΡΜΟΣ FREUNDLICH

Σε συνθήκες ισορροπίας με σταθερή θερμοκρασία, η σχέση μεταξύ της ποσότητας της προσροφούμενης ουσίας ανά μονάδα μάζας προσροφητικού υλικού, q_e , και της συγκέντρωσης της απομένουσας διαλυμένης ουσίας στο διάλυμα, C_e , ονομάζεται ισόθερμη προσρόφησης. Μια από τις μαθηματικές εξισώσεις συσχετισμού αυτών των μεγεθών που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι η εξίσωση Freundlich [31], [74]-[75].

Η εξίσωση Freundlich είναι μια εμπειρική εξίσωση πολύ χρήσιμη, διότι περιγράφει με ακρίβεια πολλά πειραματικά δεδομένα:

$$q_e = K C_e^{1/n} \quad (2)$$

Η εξίσωση (2) μετατρέπεται σε γραμμική με λογαρίθμηση:

$$\log q_e = \log K + 1/n \log C_e \quad (3)$$

όπου:

- q_e προσροφημένη μάζα ανά μονάδα μάζας προσροφητικού (kg/kg ή moles/kg)
- C_e συγκέντρωση της απομένουσας διαλυμένης ουσίας (kg/m³ ή moles/kg)
- K σταθερά που εκφράζει την προσροφητική ικανότητα του στερεού για την ουσία
- n σταθερά προσρόφησης

Οι μονάδες των K και n καθορίζονται από τις αντίστοιχες μονάδες των q_e και C_e .

Όταν το n είναι μεγάλο, το $1/n$ είναι μικρό, ο δεσμός προσρόφησης είναι ισχυρός και το q_e βάσει της εξίσωσης (2) γίνεται ανεξάρτητο της συγκέντρωσης C_e . Η ισόθερμη καμπύλη (q_e , C_e) γίνεται

οριζόντια και η προσρόφηση ονομάζεται μη αντιστρεπτή. Ενώ όταν το n είναι μικρό, το $1/n$ γίνεται μεγάλο, ο δεσμός προσρόφησης είναι ασθενής και το q_e εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του C_e .

5.3.2 ΙΣΟΘΕΡΜΟΣ LANGMUIR

Για την παραγωγή της ισόθερμης Langmuir, οι προϋποθέσεις είναι να υπάρχει σταθερός αριθμός θέσεων ρόφησης στο προσροφητικό υλικό, τα προσροφημένα μόρια να μην αλληλεπιδρούν και τέλος σε κατάσταση ισορροπίας να υπάρχει ομοιογενής επιφάνεια προσροφητικού υλικού που να σχηματίζεται μία μόνο στοιβάδα προσροφημένης ουσίας στο προσροφητικό υλικό.

Η εξίσωση που αναπτύχθηκε είναι η εξής:

$$q_e = (q_{max} b C_e) / (1 + b C_e) \quad (4)$$

Όπου q_e , χωρητικότητα προσρόφησης (mg/g)

q_{max} , μέγιστη χωρητικότητα προσροφημένης ουσίας ανά γραμμάριο προσροφητικού υλικού

b , σταθερά ισορροπίας Langmuir ($L \cdot g^{-1}$)

C_e , συγκέντρωση προσροφημένης ουσίας στην ισορροπία (mg/L)

Οι τιμές των b και q_{max} μπορούν να υπολογιστούν, αν σχεδιάσουμε το $1/q_e$ έναντι του $1/C_e$, σύμφωνα με τη γραμμική μορφή της που είναι:

$$1/q_e = 1/q_{max} b C_e + 1/q_{max} \quad (5)$$

ή

$$C_e q_e = 1/q_{max} b + C_e q_{max} \quad (6)$$

5.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

- Η ειδική επιφάνεια του προσροφητικού
- Η κατανομή μεγέθους των πόρων του προσροφητικού και το μέγεθος των μορίων της προσροφούμενης ουσίας
- Οι ιδιότητες της επιφάνειας του προσροφητικού και της προσροφούμενης ουσίας
- Η χημική συνάφεια της προσροφούμενης ουσίας με το νερό και με το προσροφητικό

6 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η βιομηχανοποίηση σφαγείων και βυρσοδειψίων έθεσε διάφορα περιβαλλοντικά θέματα αναφορικά με τον τρόπο διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων υγρών και στερεών. Τα στερεά απόβλητα σε τέτοιου είδους βιομηχανίες καταλήγουν σε διαχείριση με καύση σε πυρολυτικούς κλιβάνους. Η βασική ιδέα για την εκκίνηση της διπλωματικής διατριβής ήταν η προσέγγιση εναλλακτικών τρόπων χρήσης του στερεού υπολείμματος, βιοεξανθρακώματος, που απομένει μετά τη θερμική επεξεργασία οργανικών, ζωικών αποβλήτων.

Στόχοι της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε ήταν, να γίνει χαρακτηρισμός και ταυτοποίηση της δομής των βιοεξανθρακωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, να ελεγχθεί η προσροφητική ικανότητά τους για να προταθεί η χρήση τους είτε ως προσροφητικό μέσο για την κατακράτηση ρυπαντών, αντίστοιχη με τη χρήση του ενεργού άνθρακα, είτε για την χρήση τους ως εμπλουτισμένο οργανοχημικό λίπασμα και τέλος να εξεταστούν τα αγρονομικά χαρακτηριστικά τους προκειμένου να προταθεί η χρήση τους με απ' ευθείας εφαρμογή για εμπλουτισμό του εδάφους για την ανάπτυξη λαχανικών.

7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η προετοιμασία των δειγμάτων και το μεγαλύτερο μέρος της στοιχειακής ανάλυσης για τον χαρακτηρισμό των προς διερεύνηση βιοεξανθρακωμάτων και της προσροφητικής τους ικανότητας έλαβε χώρα στο Ερευνητικό Εργαστήριο Μελέτης Χημικών και Φυσικών Παραμέτρων Τροφίμων του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης.

7.1 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ B0, B1, B12

Ως υλικά προς διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν βιοεξανθρακώματα που προέκυψαν από καύση ζωικών υποπροϊόντων σε πυρολυτικό κλίβανο σε ανοξικό περιβάλλον και θερμοκρασία καύσης 750 - 800 °C.

Τα ζωικά υποπροϊόντα για τα υλικά **B1** & **B12** ήταν απόβλητα από βιομηχανία δέψης και βαφής γουναρικών που αδρανοποιήθηκαν στον ανοξικό πυρολυτικό κλίβανο, το δείγμα B1 για **1 h** ενώ το B12 για **12h**.

Το υλικό **B0** ήταν απόβλητο από βιομηχανικά σφαγεία που αδρανοποιήθηκε σε πυρολυτικό κλίβανο, με παρόμοια λειτουργία καύσης, δηλαδή απουσία οξυγόνου για **12h** διάρκεια επεξεργασίας. Η διαφορά του σε σχέση με τα προηγούμενα δυο δείγματα, εκτός από την παραγωγική διαδικασία από την οποία προέκυψε, ήταν ότι ακόμη και μετά από την καύση είχε διατηρηθεί η μορφή των οστών σχεδόν ανέπαφη.

7.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ B12, B1, B0

Για να ληφθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα, παράχθηκε λεπτόκοκκο ομογενές προϊόν. Για την προετοιμασία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε άλεση με τριβή για τη σύνθλιψη του κάθε υλικού σε ιγδίο και ακολούθως κοσκίνιση με τη συσκευή TAMISEUSE TYPE ROTO-LAB Brevere S.G.D.G No80611 EKG. CHAUVIN Constructeur GRENOBLE με συστοιχία από κόσκινα για διάμετρο κόκκου 1000mm > 500mm > 180mm > 125mm > ΥΠΟΔΟΧΕΑΣ.

Για να μην τεθεί ζήτημα απώλειας ποσότητας δείγματος στον τρόπο με τον οποίο θα γινόταν η περεταίρω εξέταση τους, πραγματοποιήθηκε πλύσιμο αυτών. Η διαδικασία του πλυσίματος έγινε μετά από την κοσκίνιση. Τα κλάσματα που προέκυψαν στο κόσκινο N 180mm & 125mm τοποθετήθηκαν σε συνεχόμενη ροή απιονισμένου νερού για 3min έως ότου προκλήθηκε ολική διαβροχή, προκειμένου να απομακρυνθούν οι υδατοδιαλυτές ουσίες και εν συνεχεία τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο στους 80°C για 24h. Για τον ποιοτικό προσδιορισμό και τον χαρακτηρισμό του υλικού έγινε μια σειρά ελέγχων που αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

7.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B12, B1, B0)

7.3.1 ΟΛΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ (I.A.K. ή C.E.C. CATION EXCHANGE CAPACITY)

Ο προσδιορισμός της I.A.K. ολοκληρώθηκε σε τρία στάδια. Αρχικά σε 30ml οξικού νατρίου (CH₃COONa, 1N, pH 8,2 της MilliporeSigma) προστέθηκαν 2g βιοεξανθρακώματος και έγινε μηχανική ανάδευση με παλινδρομικό αναδευτήρα για 5min στις 160rpm. Στη συνέχεια το διάλυμα φυγοκεντρήθηκε στις 5000rpm για 10min και η διαδικασία επαναλήφθηκε στο εκχύλισμα ακόμη δυο φορές ώστε να επέλθει κορεσμός. Έπειτα για να απομακρυνθούν τα συστατικά που δεν αφορούσαν τη συγκεκριμένη μέτρηση, προστέθηκαν 30ml ακετόνη στο εκχύλισμα και επαναλήφθηκε η διαδικασία για την ανάδευση και τη φυγοκέντρωση με πανομοιότυπο τρόπο

όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Ακολούθως στο δείγμα προστέθηκαν 30ml οξικού αμμώνιου ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$ της MiliporeSigma) και πραγματοποιήθηκε ξανά ανάδευση και επαναληπτική φυγοκέντρηση ώστε να επέλθει αποκορεσμός. Ο υπολογισμός της Ι.Α.Κ. πραγματοποιήθηκε με τον φλογοφωτομετρικό προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ στο τελικό εκχύλισμα και υπολογίστηκε από την εξίσωση:

$$\text{I.A.K(meq/100gr)} = \frac{\text{Na} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * 4}{23}$$

7.3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ (B.E.T)

Για να ξεκινήσει η διαδικασία της προσρόφησης τα προς εξέταση δείγματα απαερώθηκαν με εφαρμογή κενού και θερμοκρασίας ώστε να απομακρυνθούν πτητικές προσμίξεις από την επιφάνεια. Από κάθε δείγμα βιοεξανθρακώματος λήφθηκε αντιπροσωπευτική ξηρή ποσότητα και τοποθετήθηκε σε κατάλληλο φιαλίδιο. Η ειδική επιφάνεια και η κατανομή του μεγέθους και του όγκου των μεσοπόρων και των μικροπόρων προσδιορίστηκε από την προσρόφηση του N_2 στους 77 °K, χρησιμοποιώντας το ποροσίμετρο.

7.3.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων του πορώδους χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Surfer του οίκου Thermo Scientific και τα λογισμικά προγράμματα SURFER Calculation program και Advanced Data Processing (ADP 6) (Σχήμα 3).



Σχήμα 3 Surfer του οίκου Thermo Scientific

7.3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ B12, B1, B0

Για τη μέτρηση του ζ-δυναμικού χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι τύποι βιοεξανθρακώματος (B12, B1, B0) με διάμετρο κόκκου 125 mm.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια για όλα τα δείγματα. Αρχικά παρασκευάστηκαν 2 υδατικά διαλύματα από κάθε βιοεξανθράκωμα. Μετρήθηκε το αρχικό pH_0 και το ένα υδατικό διάλυμα χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθούν οι τιμές του ζ-δυναμικού σε χαμηλές συγκεντρώσεις ενεργότητας ιόντων υδρογόνου, δηλαδή, σε όξινο pH ενώ το άλλο για τη μέτρηση του ζ-δυναμικού σε αλκαλικό pH.

Σε κάθε περίπτωση το αρχικό υδατικό διάλυμα παρασκευάστηκε με ζύγιση 50mg υλικού (βιοεξανθρακώματος) και διάλυση αυτού σε τελικό όγκο υπερκάθαρου νερού 50ml.

Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν ανάδευση για 10min και μέτρηση της τιμής του pH_0 , ακολούθως τοποθετούνταν το δείγμα στην κυψελίδα για τη μέτρηση της τιμής του ζ-δυναμικού. Έπειτα, γινόταν η ρύθμιση του pH με βηματική προσθήκη διαλύματος HCl 0.1N της εταιρίας Panreac, για τον έλεγχο της τιμής του ζ-δυναμικού στην όξινη περιοχή. Τα βιοεξανθρακώματα μετρήθηκαν σε εύρος τιμών pH 1,6-12,1.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για τον έλεγχο της τιμής του ζ-δυναμικού στην αλκαλική περιοχή, με τη διαφορά ότι στη βηματική προσθήκη χρησιμοποιήθηκε διάλυμα NaOH 0.1N της εταιρίας Penta. Η ανώτερη τιμή pH που ελέγχθηκε ήταν το 12,1 γιατί μετά από αυτή την τιμή ήταν δύσκολο να γίνει περεταίρω αύξηση του pH παρά την ποσότητα προσθήκης του διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου.

7.3.3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη συσκευή μέτρησης ζ-δυναμικού και δυναμικής σκέδασης φωτός της εταιρείας Brookhaven Instruments Corporation, model Zeta PALS.



Σχήμα 4 Πειραματική διάταξη μέτρησης ζ-δυναμικού

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένας ζυγός ακριβείας της εταιρίας KERN και τα όργανα σύμφωνα με την πειραματική διάταξη που απεικονίζονται στο Σχήμα 4.

1. THERMOLYNE CIMAREC 1
2. THERMO ORION 3 STARS
3. Z-PALS BROOKHAVEN

7.3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)

Για τη μέτρηση, ένα γραμμάριο μάζας δείγματος του προς εξέταση βιοεξανθρακώματος σε μορφή σκόνης τοποθετήθηκε στην κοιλότητα ενός μεταλλικού πλακιδίου. Ακολούθως, το πλακίδιο τοποθετήθηκε στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασίμετρου, ο οποίος ήταν στο κέντρο του κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων Χ. Ο απαριθμητής περιστράφηκε με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ως προς τον ίδιο άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει τον κύκλο του και παράλληλα περιστράφηκε και το επίπεδο του δείγματος, με γωνιακή ταχύτητα ίση με το μισό εκείνης του απαριθμητή. Έτσι ο απαριθμητής σχημάτισε ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος, όπως επίσης και με το σημείο εξόδου των ακτίνων Χ της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό ήταν δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που δημιουργήθηκε από τις περιθλάσεις των κρυσταλλικών κόκκων του δείγματος, που ήταν σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων Χ, ώστε να πληρούται η εξίσωση του Bragg και ελήφθη το ακτινογράφημα του κάθε δείγματος [77].

7.3.4.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΧRD

Για την ανάλυση της δομής των βιοεξανθρακωμάτων χρησιμοποιήθηκε το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ, της εταιρίας Panalytical, model XPert Pro MPD, το οποίο είναι εξοπλισμένο και με θερμαινόμενη τράπεζα δειγματοφορέα για τη μελέτη των μεταπτώσεων κατά την ανάλυση φάσεων σε συνάρτηση με τη θέρμανση του δείγματος [στην παρούσα δεν χρησιμοποιήθηκε η θερμαινόμενη τράπεζα].



Σχήμα 5 Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ, Panalytical, model XPert Pro MPD

7.3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ (SEM) & ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ (EDS)

Μικροποσότητα των βιοεξανθρακωμάτων τοποθετήθηκε στο δειγματοφορέα του οργάνου και σαρώθηκε με δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας.

7.3.5.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SEM / EDS

Για τη μικροσκοπική ανάλυση των βιοεξανθρακωμάτων χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης της εταιρείας Carl Zeiss, model EVO 50XVP με δυνατότητα λειτουργίας τόσο σε υψηλό κενό όσο και σε μεταβλητή πίεση, με διακριτική ικανότητα μέχρι 2,0 nm, εξοπλισμένο με συσκευή στοιχειακής μικροανάλυσης ακτίνων Χ (EDS) της εταιρείας Bruker AXS, model Quantax 200 και επίσης με ψυχωμένη / θερμαινόμενη τράπεζα δειγματοφορέα για τη παρατήρηση βιολογικών δειγμάτων με υψηλό ποσοστό υγρασίας (>80%) στη φυσική τους κατάσταση.



Σχήμα 6 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης Carl Zeiss, model EVO 50XVP

7.3.6 ΥΓΡΗ ΠΕΨΗ ΜΕ ΦΟΥΡΝΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

Πίνακας 2 Θερμοκρασιακό πρόγραμμα προθέρμανσης του φούρνου μικροκυμάτων

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ				
STEP	T(°C)	Ta (min)	Time (min)	Power (%)*
1	140	3	5	90
2	160	2	10	
3	200	2	30	
4	50	1	10	

Για τη διαδικασία ζυγίστηκαν 200mg δείγματος στο δοχείο πέψης, στη συνέχεια προστέθηκαν 7ml HNO_3 και 2ml HF της BDH και έγινε προσεκτική ανάδευση με χρήση υάλινης ράβδου. Έπειτα από 10min σφραγίστηκε το πώμα του δοχείου και τέλος πραγματοποιήθηκε η προθέρμανση του φούρνου σύμφωνα με το θερμοκρασιακό πρόγραμμα του Πίνακας 2 και φορτώθηκαν τα δείγματα. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας τα δοχεία πέψης ανοίχτηκαν εντός του απαγωγού συστήματος έπειτα από 20min αφότου είχαν έρθει σε θερμοκρασία δωματίου και τα δείγματα ήταν έτοιμα να υποστούν περαιτέρω ανάλυση.

7.3.6.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΙΑ ΥΓΡΗ ΠΕΨΗ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΟΣ

Το σύστημα υγρής πέψης με διαλυτοποίηση σε φούρνο μικροκυμάτων που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Microwave Digestion System speedwave two, της εταιρείας Berghof με κλειστά δοχεία DAP-60K.



Σχήμα 7 Εσωτερικό φούρνου μικροκυμάτων Microwave Digestion System speedwave two, Berghof με κλειστά δοχεία DAP-60K

7.3.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ CHNS (ELEMENTAL ANALYSIS CHNS)

Η μέθοδος της στοιχειακής ανάλυσης των βιοεξανθρακωμάτων (B12, B1, B0) περιελάμβανε τον ποσοτικό προσδιορισμό του άνθρακα (C), του αζώτου (N), του υδρογόνου (H) και του θείου (S).

7.3.7.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΙΑ ΤΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ CHNS ΣΤΟ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ



Σχήμα 8 Στοιχειακός αναλυτής

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται ο αυτόματος στοιχειακός αναλυτής που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Μέσα σε αυτόν πραγματοποιήθηκε η καύση και η διάσπαση των εξεταζόμενων δειγμάτων και στη συνέχεια ο υπολογισμός των στοιχείων τους [78], [79].

7.3.8 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΑΦΟΜΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DTPA ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΦΛΟΓΑ (AAS)

7.3.8.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΑΦΟΜΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DTPA & AAS



Σχήμα 9 Φασματογράφος ατομικής απορρόφησης φλόγας (AAS) Perkin Elmer Analyst 300

Για τον προσδιορισμό των αφομοιούμενων ιχνοστοιχείων ζυγίστηκαν 20g βιοεξανθρακώματος (B12, B1, B0), τοποθετήθηκαν σε κωνική φιάλη με εσφυρισμένο πώμα και προστέθηκαν 40ml διαλύματος 0,005M DTPA της MiliporeSigma, 0,01M CaCl₂ της Merck και 0,1M TEA, με pH 7,3 της εταιρίας Alfa Aesar. Η φιάλη τοποθετήθηκε σε ανακινητήρα στους 125 παλ/min για 2h. Στο εκχύλισμα που παράχθηκε έγινε περαιτέρω ανάλυση με τη χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης. Ο ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης των αφομοιούμενων μετάλλων στα δείγματα των βιοεξανθρακωμάτων έγινε με το φασματογράφο ατομικής απορρόφησης φλόγας Perkin Elmer Analyst 300 (Σχήμα 9).

7.4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B12, B1, B0)

Για τον έλεγχο της προσροφητικής ικανότητας των βιοεξανθρακωμάτων χρησιμοποιήθηκε ως προσροφητική ουσία μπλε του μεθυλενίου, φαινόλη και χουμικές ενώσεις.

7.4.1 ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

7.4.1.1 ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ

Το μπλε του μεθυλενίου είναι μια ετεροκυκλική αρωματική χημική ένωση με χημικό τύπο C₁₆H₁₈ClN₃S (MB=319,86g/mol) και είναι μια βασική χρωστική με κατιονική χρωμοφόρο ομάδα, που ανήκει στην ομάδα της θειαζίνης [80].

7.4.1.2 ΦΑΙΝΟΛΗ

Η μονοσθενής φαινόλη είναι υδροξυπαράγωγο αρωματικών υδρογονανθράκων που έχουν ένα υδροξύλιο ενωμένο με άνθρακα του αρωματικού δακτυλίου. Ο χημικός τύπος αυτής της αρωματικής οργανικής ένωσης είναι C₆H₆O. Σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος είναι άχρωμο, κρυσταλλικό, πτητικό, υγροσκοπικό στερεό και είναι μέτρια όξινη, λίγο διαλυτή στο νερό και υγροσκοπική [81]-[82].

7.4.1.3 ΧΟΥΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

Οι χουμικές ενώσεις αποτελούν προϊόν των βιολογικών μετατροπών των φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων συνεπεία μικροβιολογικής δραστηριότητας. Τα βασικά συστατικά τους δεν μοιάζουν καθόλου με τις ζωικές ή φυτικές ενώσεις από τις οποίες προήλθαν. Οι ενώσεις αυτές

είναι ετερογενή οργανικά μίγματα που έχουν κolloειδή χαρακτήρα, μεγάλη ειδική επιφάνεια, υψηλό αρνητικό φορτίο και το χρώμα τους ποικίλει από ανοικτό καφέ ως μαύρο. Είναι διαλυτές σε αλκάλια και αδιάλυτες σε οξέα, σχηματίζουν σύμπλοκα με τις πυριτικές αργίλους και με διάφορα μέταλλα [83].

Η δομή τους δεν είναι συγκεκριμένη επειδή καθορίζεται από τα οργανικά συστατικά που έχουν αποδομηθεί και από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες υπό τις οποίες σχηματίστηκαν, ωστόσο είναι γνωστό ότι στη σύνθεση του μορίου τους συμμετέχουν φαινολικοί αρωματικοί δακτύλιοι που περιέχουν ελεύθερες ρίζες υδροξειδίου (-OH) και συνενώνονται μεταξύ τους με δεσμούς μεταξύ των ατόμων οξυγόνου (O), θείου (S), αζώτου (N), καθώς επίσης αμμωνιακών (-NH₂) και άλλων συμπλόκων [84].

7.4.2 ΠΕΙΡΑΜΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΕ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ (B12, B1, B0)

Στα πειράματα της προσρόφησης οι μετρήσεις έγιναν με το φασματοφωτόμετρο UV - VIS, μοντέλο Helios της εταιρίας Thermo. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν παρόμοια για όλες τις προσροφητικές ουσίες (μπλε του μεθυλενίου της Panreac, φαινόλη της εταιρίας BDH, χουμικές ενώσεις της Aldrich).



Σχήμα 10 Shaking Bath SB-16 παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική

Αρχικά κατασκευάστηκε η πρότυπη καμπύλη της κάθε προσροφούμενης ουσίας με τη μέτρηση της απορρόφησης σε διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης. Τα διαλύματα για κάθε ουσία παρήχθησαν με διαδοχικές αραιώσεις, τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο Shaking Bath SB-16 (Σχήμα 10) σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας στους 25 °C και στις 5 στροφές ανά λεπτό.

Για τον προσδιορισμό των προσροφητικών ιδιοτήτων βιοξανθρακωμάτων (B12, B1, B0) χρησιμοποιήθηκε ποσότητα 0,1g βιοξανθρακώματος που τοποθετήθηκε σε όγκο διαλύματος προσροφούμενης ουσίας 150ml με σταθερή αρχική συγκέντρωση για το μπλε του μεθυλενίου και τη φαινόλη 100mg/l και τις για χουμικές ενώσεις 20mg/l. Για να εξεταστεί η μεταβολή της συγκέντρωσης της ουσίας απουσία των βιοξανθρακωμάτων σε όλους τους συνδυασμούς μελετήθηκε και από ένα δείγμα χωρίς βιοξανθράκωμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως «τυφλό». Όλα τα «νέα» διαλύματα με την αντίστοιχη προσθήκη προσροφητικού υλικού και παράλληλα το αντίστοιχο «τυφλό», τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο Shaking Bath SB-16 σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας στους 25°C και στις 5 στροφές ανά λεπτό. Για διάστημα επτά (7) ημερών κάθε 24h λαμβανόταν ποσότητα δείγματος και ακολουθούσε η μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο. Στα δείγματα της φαινόλης και των χουμικών πριν τη μέτρηση της απορρόφησης πραγματοποιούνταν διήθηση με φίλτρο μεμβράνης 47mm, με μέγεθος πόρων 0,45 μm για να απομακρυνθούν στερεά ύποπτα για την πρόκληση παρεμποδίσεων στη μέτρηση.

7.5 ΡΙΖΟΒΟΛΙΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στο πείραμα της ριζοβολίας διερευνήθηκε η ανάπτυξη τριών φυτικών ειδών με τη χρήση εμπορικών εδαφικών υποστρωμάτων, αναμεμειγμένων με βιοεξαθράκωμα. Ουσιαστικά μελετήθηκε η χρήση του βιοεξανθρακώματος που είναι παράγωγο απόβλητο διαδικασίας δέψης ή σφαγής ως εδαφοβελτιωτικό, προκειμένου να προταθεί ένας διαφορετικός τρόπος διαχείρισής του.

Το πείραμα διεξήχθη σε συνεργασία του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης με την Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή, στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του Perrotis College, στο υάλινο θερμοκήπιο, υπό την εποπτεία και πολύτιμη καθοδήγηση του καθηγητή Δρ. Γκέρτση Αθανάσιου.

Ο συνολικός χρόνος διεξαγωγής του πειράματος ήταν 119 ημερολογιακές ημέρες. Ήταν χρονοβόρα πειραματική διαδικασία διότι η μοναδική ανθρώπινη παρέμβαση που έγινε σε συγκεκριμένους χρόνους ήταν η φύτευση κατά την έναρξη και αργότερα μεταφύτευση. Η διαδικασία παραγωγής και ανάπτυξης φυτών από σπόρο είναι μια φυσική διαδικασία που εξαρτάται κυρίως από τις απαιτήσεις του κάθε φυτικού είδους, τη διαδικασία σποράς αλλά και της βλαστικής του ικανότητας και έγινε αβίαστα.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν αξιολογήσεις της εικόνας που παρουσίαζαν τα σπορεία αναφορικά με το πλήθος αλλά και τα χαρακτηριστικά των στελεχών που φύτρωσαν κυρίως σχετικά με το ύψος τους.

7.5.1 ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΠΟΡΑΣ – ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

- Έναρξη σποράς 23/2/2016
- 1^η αξιολόγηση ριζοβολίας 11/3/2016
- 2^η αξιολόγηση ανάπτυξης 7/4/2016
- 3^η φύτευση μαρουλιού και μεταφύτευση τομάτας 14/4/2016
- 4^η αξιολόγηση για φυτικά είδη τομάτας και μαρουλιού 18/5/2016
- Λήξη μελέτης 21/6/2016

Πίνακας 3 Αναλυτικό χρονοδιάγραμμα

ΕΙΔΟΣ	ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ	ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ
ΣΠΑΝΑΚΙ	23/02/16	14/04/16	51
ΜΑΡΟΥΛΙ	14/04/16	21/06/16	68
ΤΟΜΑΤΑ	23/02/16	21/06/16	119
ΤΟΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗ	14/04/16	18/05/16	34

7.5.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ

- 3 Υλικά προς διερεύνηση: Κόκκαλα (B0) - Μαύρο (B1) – Άσπρο (B12)
- 3 Φυτικά είδη: Τοματίνι - Σπανάκι - Μαρούλι
- 3 Εμπορικά υποστρώματα: Άμμος - Περγίτης - Τύρφη
- Τρεις συνδυασμοί αναλογιών: Control – 1:2 – 1:10

- Ανάμιξη των υλικών μέχρι ομογενοποίηση και τοποθέτησή τους στα πειραματικά τεμάχια

7.5.3 ΥΛΙΚΑ: ΣΠΟΡΟΙ & ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Χρησιμοποιήθηκαν εμπορικοί σπόροι τριών φυτικών ειδών τομάτα, σπανάκι, μαρούλι (Πίνακας 4). Οι εμπορικοί σπόροι είναι τεχνητά επιλεγμένοι και έτοιμοι να βλαστήσουν άμεσα από τη στιγμή που θα εκτεθούν σε ευνοϊκές συνθήκες [85].

Οι συνθήκες στις οποίες έλαβε χώρα το πείραμα επιλέχθηκαν σύμφωνα με πρότερες θεωρητικές απόψεις και ευρήματα προηγούμενων ερευνών αναφορικά με τις απαιτήσεις ανάπτυξης των συγκεκριμένων φυτικών ειδών. Επιλέχτηκε το μικροκλίμα του υάλινου θερμοκηπίου γιατί διαφορετικά θα ήταν πρακτικά αδύνατο να απαλειφθεί η ανώμαλη διακύμανση εξωγενών παραγόντων όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και η ηλιοφάνεια σε περιβάλλον πεδίου. Έτσι διατηρήθηκε η επίδραση αυτών των παραγόντων ελεγχόμενη κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας της ριζοβολίας. Το εύρος των θερμοκρασιών κυμάνθηκε από 15 έως 35 °C (μετάβαση από χειμώνα προς καλοκαίρι) και το πότισμα πραγματοποιούνταν με σύστημα εκνέφωσης τρεις φορές ημερησίως με ψεκασμούς διάρκειας 5min. Να σημειωθεί ότι κατά τη ριζοβολία δεν υπήρχαν προβλήματα από παρουσία εντόμων ή ασθενειών. Για το σκοπό του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τρία εμπορικά υποστρώματα: άμμος, περλίτης, τύρφη.

7.5.3.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Το εδαφικό υπόστρωμα παίζει τον κυριότερο ρόλο για την επιτυχή παραγωγή φυτάρων και πρέπει να είναι απαλλαγμένο από εχθρούς, κυρίως μύκητες και βακτήρια. Σε όλα τα υποστρώματα προστίθενται θρεπτικά στοιχεία όπως λιπάσματα ανάλογα με τον τύπο του φυτού που θα καλλιεργηθεί, στην συγκεκριμένη περίπτωση ως εδαφοβελτιωτικό χρησιμοποιήθηκε το μελετούμενο βιοεξανθράκωμα [86].



Σχήμα 11 Εμπορικά εδαφικά υποστρώματα τύρφη (Α), άμμος (Β), περλίτης (Γ)

7.5.3.2 ΤΥΡΦΗ

Η τύρφη είναι αδρανής οργανική ύλη που προέρχεται από την αποσύνθεση των φυτών και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια (Σχήμα 11 (Α)). Ενυδατώνεται δύσκολα και σχηματίζει πολύ υγρό υπόστρωμα με κακή αποστράγγιση. Τα μοσχεύματα έχουν κακό αερισμό και σαπίζουν. Η τύρφη έχει υψηλή οξύτητα και συνήθως για την εξουδετέρωσή της χρησιμοποιείται προσθήκη ασβεστίου, για αυτούς τους λόγους χρησιμοποιείται πάντα σε μείγμα [86].

7.5.3.3 ΑΜΜΟΣ

Η ποταμίσια άμμος για πολλές δεκαετίες αποτελούσε βασικό υπόστρωμα για τη ριζοβολία των φυτών, σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και οικοδομική άμμος, εφόσον είναι αδρανής και όχι πολύ λεπτή (Σχήμα 11 (Β)) [86].

7.5.3.4 ΠΕΡΛΙΤΗΣ

Ο περλίτης είναι αδρανές ορυκτό υλικό, με πολλούς πόρους οι οποίοι βοηθούν να βελτιώνεται η ριζική ατμόσφαιρα. Μερικές φορές χρησιμοποιείται και αυτούσιο. Το μίγμα περλίτη - άμμου και περλίτη - τύρφης σε αναλογία όγκου 1:1, δημιουργεί ένα καλό υπόστρωμα (Σχήμα 11 (Γ)) [86].

7.5.3.5 ΕΙΔΗ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ

Χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη σπορόφυτων:

- Το τοματίνι είναι μία ποικιλία τομάτας η οποία καλλιεργείται από το 1800 για τους πολύ μικρούς καρπούς της. Προέρχεται από το Περού και την βόρεια Χιλή. Το μέγεθος των καρπών είναι περίπου ίσο με αυτό μίας μπάλας του γκολφ και έχουν σφαιρικό ή ελαφρώς στενόμακρο σχήμα. Η πιο γνωστή ελληνική ποικιλία είναι το τοματάκι Σαντορίνης [87].
- Το σπανάκι καλλιεργείται κυρίως στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική ενώ η καταγωγή του είναι από την Ασία. Είναι μονοετές ή διετές φυτό και καλλιεργείται για τα παχιά τριγωνικά φύλλα του. Αυτά βρίσκονται κοντά στη ρίζα, έχουν χρώμα βαθύ πράσινο και λεία ή κυματιστή επιφάνεια. Ο πολλαπλασιασμός γίνεται με σπορά. Το ψυχρό κλίμα ευνοεί την ανάπτυξη του σπανακιού στην Ελλάδα, γίνεται σπορά από τα μέσα Αυγούστου μέχρι το Φεβρουάριο [88].
- Το μαρούλι είναι μονοετές, ποώδες φυτό γρήγορης ανάπτυξης της οικογένειας των σύνθετων. Καλλιεργείται από τους Ρωμαϊκούς χρόνους και η προέλευση του είναι η Ασία [89].



ΕΙΔΟΣ	ΤΟΜΑΤΑ	ΣΠΑΝΑΚΙ	ΜΑΡΟΥΛΙ
ΣΥΝΟΜΟΤΑΞΙΑ	Αγγειόσπερμα	Αγγειόσπερμα	Αγγειόσπερμα
ΟΜΟΤΑΞΙΑ	Δικοτυλήδονα	Δικοτυλήδονα	Δικοτυλήδονα
ΤΑΞΗ	Στρυχνώδη	Καρυοφυλλώδη	Αστερώδης
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Σολανίδες	Χηνοποδιοειδή	Σύνθετα
ΓΕΝΟΣ	Lycopersikon	Spinacia	Lactuca
ΟΙΚΟΣ ΣΠΟΡΩΝ	Vilmorin	BioHellas	Fytro
LOT.N	S0548717 14/15 12/2017	001 2016 1-16 2018	HM70/3 01-2018
			

Πίνακας 4 Συγκεντρωτική περιγραφή των φυτικών ειδών που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της επίδρασης της προσθήκης των βιοεξανθρακωμάτων στη ριζοβολία και την ανάπτυξη των φυτών

Παραπάνω στον Πίνακα 4 αναφέρεται η συγκεντρωτική περιγραφή των ειδών που χρησιμοποιήθηκαν.

7.5.4 ΎΝΑΡΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για τη διαδικασία σποράς αρχικά δημιουργήθηκε η σύσταση του εδαφικού υποστρώματος, στο οποίο τοποθετήθηκαν οι σπόροι. Έγιναν τρεις συνδυασμοί ανά υλικό ελέγχου B12, B1, B0 (βιοεξανθρακώματα) και εμπορικό εδαφικό υπόστρωμα (άμμος, τύρφη, περλίτης). Κάθε βιοεξανθράκωμα αναμείχτηκε, αναδεύτηκε και ομογενοποιήθηκε με κάθε εμπορικό εδαφικό υπόστρωμα σε σύσταση 1:2 και 1:10, ως μάρτυρας (control) χρησιμοποιήθηκε σκέτο το εμπορικό εδαφικό υπόστρωμα.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΥΛΙΚΟ B12 ΜΕ ΑΜΜΟ

Παρόμοια παρασκευάστηκε και για τα άλλα δυο εμπορικά υποστρώματα



Σχήμα 12 Ενισχυμένο υπόστρωμα B12 ΑΜΜΟΣ 1:10



Σχήμα 13 Ενισχυμένο υπόστρωμα B12 ΑΜΜΟΣ 1:2

Στη συνέχεια το κάθε νέο ενισχυμένο υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε τελάρα από διογκωμένη πολυστερίνη, των 104 θέσεων, τα λεγόμενα **σποροδοχεία**, που χρησιμοποιήθηκαν για τη βλάστηση σπόρων **τριών φυτικών ειδών**. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε τομάτα και σπανάκι και στην πορεία αφαιρέθηκε το σπανάκι και τη θέση του πήρε το μαρούλι.



Σχήμα 14 Πειραματικό «τεμάχιο»

Το κάθε δοχείο χωρίστηκε σε **3 τμήματα (μεταχειρίσεις)** με **4 σειρές (επαναλήψεις)** και 8 θέσεις ανά σειρά, οπότε είχαν δημιουργηθεί 32 θέσεις σε κάθε μεταχείριση (Σχήμα 14). Για τα είδη που φυτεύτηκε ένας σπόρος ανά θέση (σπανάκι, μαρούλι) αναμενόταν σε κάθε επανάληψη να φυτρώσουν 32 φυτά και για την τομάτα που σε κάθε θέση φυτεύτηκαν 4 σπόροι αναμενόταν να φυτρώσουν 128. Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 12 σποροδοχεία, 6 για κάθε είδος βιοεξανθρακώματος κατά την εκκίνηση της φύτευσης και αργότερα που εντάχθηκε στο

πρόγραμμα και η μελέτη του βιοεξανθρακώματος B0 προστέθηκαν ακόμη 3 (επειδή στο B0 το πείραμα έγινε μόνο για τον έλεγχο της ριζοβολίας στη τομάτα).



Σχήμα 15 Μέρος των πειραματικών τεμαχίων μετά την τοποθέτηση των σπόρων

Πραγματοποιήθηκε η φύτευση με την τοποθέτηση των σπόρων και το πρώτο πότισμα. Όταν αναπτύχθηκαν τα στελέχη έπειτα από χρόνο 18 ημερών έγινε η πρώτη αξιολόγηση, αναφορικά με τον αριθμό φυτών που αναπτύχθηκαν μέσα σε κάθε τεμάχιο. Οι υπόλοιπες αξιολογήσεις πραγματοποιήθηκαν διαδοχικά με βάση την τάξη μεγέθους των φυτών, μετρώντας τον μέσο όρο του ύψους της κάθε επανάληψης.



Σχήμα 16 Γενική εικόνα ριζοβολίας

Ο ενδεικτικός πίνακας του πειραματικού σχεδίου παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α στον Πίνακα Α. 7.

Το πείραμα της μεταφύτευσης έγινε αργότερα στο φυτικό είδος της τομάτας. Η διαδικασία και το πειραματικό σχέδιο παρέμειναν ίδια απλώς ελαττώθηκαν οι επαναλήψεις της κάθε μεταχείρισης. Πέντε στελέχη, από κάθε μεταχείριση του πρώτου πειράματος, που οπτικά έδειχναν πιο βελτιωμένα, μεταφέρθηκαν σε μεγαλύτερα σποροδοχεία και συνεχίστηκε η παρατήρηση της ανάπτυξης τους μεμονωμένα.

Οι μετρήσεις για τη ριζοβολία είναι στο Παράρτημα στον Πίνακα Α. 8 για όλα τα φυτικά είδη και τα βιοεξανθρακώματα B12 και B1. Στην συνέχεια του Παραρτήματος Α αναφέρονται οι μετρήσεις για τη ριζοβολία της τομάτας αναφορικά με τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 και B0 στον Πίνακα Α. 9.

Οι μετρήσεις για την παρακολούθηση της ανάπτυξης του κάθε είδους για τα βιοεξανθρακώματα B12 και B1 στους Πίνακες Α. 10, Α.11 και Α.12 του Παραρτήματος Α.

Οι μετρήσεις από το πείραμα της μεταφύτευσης αναφέρονται επίσης στο Παράρτημα Α στον Πίνακα Α. 13.

7.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε με χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab.v17.1.0 με το οποίο πραγματοποιήθηκε έλεγχος της κανονικότητας των μετρήσεων που είχαν ληφθεί κατά τη διεξαγωγή του πειράματος. Προκειμένου να διαπιστωθεί αν πραγματικά υπήρχαν στατιστικές διαφορές, ακολούθησε η ανάλυση της διακύμανσης τεσσάρων παραγόντων (Four way απονα) με παράγοντες φυτικό είδος, υπόστρωμα, βιοεξανθράκωμα και την αναλογία για την αξιολόγηση της ριζοβολίας και τριών παραγόντων (Three way απονα) με παράγοντες το υπόστρωμα, το βιοεξανθράκωμα και την αναλογία για την αξιολόγηση της ανάπτυξης. Στη συνέχεια για να εντοπιστούν αυτές οι διαφορές έγινε περαιτέρω έλεγχος κατά ζεύγη και παρουσιάζεται στα σχετικά διαγράμματα. Η αξιολόγηση της ανάπτυξης μελετήθηκε μεμονωμένα ανά φυτικό είδος εξαιτίας των γενετικών καταβολών των κάθε είδους. Για το είδος της τομάτας που έγινε επιπλέον η μεταφύτευση αξιολογήθηκε κατά τον ίδιο τρόπο το ποσοστό επιβίωσης και η εξέλιξη της ανάπτυξης.

8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ

8.1 ΜΕΛΕΤΗ ΟΛΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ (I.A.K ή C.E.C CATION EXCHANGE CAPACITY) ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ

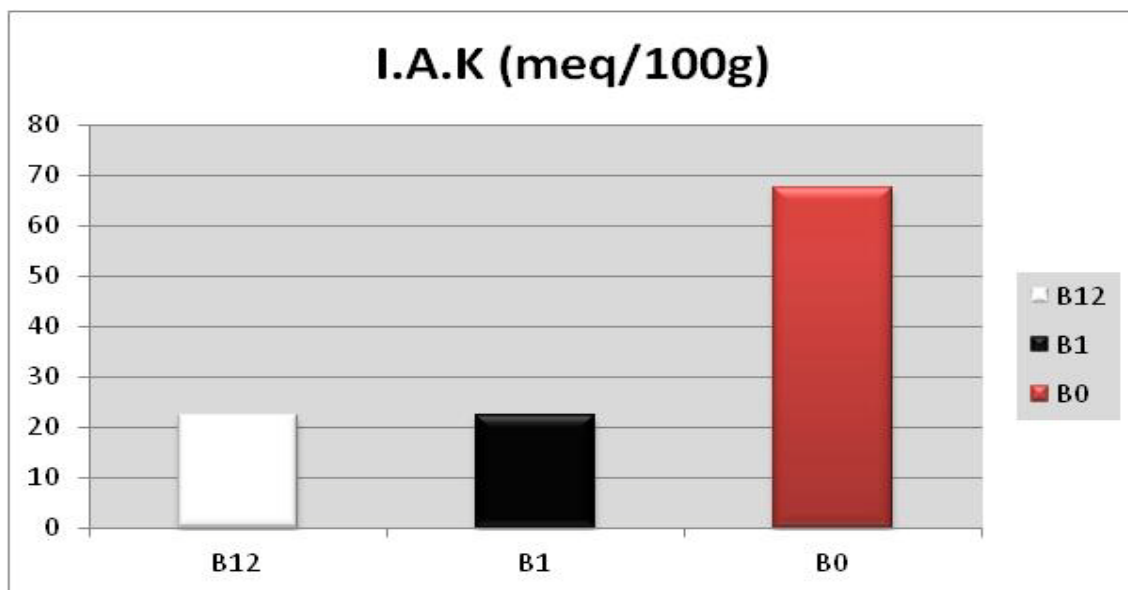
Με τη μέτρηση της ολικής ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων αξιολογείται η παραγωγική ικανότητα των εδαφών. Ουσιαστικά πρόκειται για τη δυνατότητα των εδαφών να συγκρατήσουν και να προσφέρουν θρεπτικά συστατικά στα φυτά, είναι η ποσοτικοποίηση των κατιόντων (H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+) που μπορούν να προσροφήσουν και να συγκρατήσουν σε ανταλλάξιμη μορφή τα κolloειδή του εδάφους. Η παράμετρος αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η ορυκτολογική και μηχανική σύσταση, η οργανική ουσία και η οξύτητα του εδάφους [90]-[91].

Πίνακας 5 Αντιστοιχία εδαφών ανάλογα με την I.A.K. [91]

meq / 100g εδάφους	Χαρακτηρισμός εδαφών
30	Πολύ μεγάλη I.A.K.
30 – 25	Μεγάλη I.A.K.
24 – 18	Μέση (ανώτερη) I.A.K.
17 – 13	Μέση (κατώτερη) I.A.K.
13 – 8	Μικρή I.A.K.
<8	Πολύ μικρή I.A.K.

Πίνακας 6 Αποτελέσματα μετρήσεων I.A.K. βιοεξανθρακωμάτων B12, B1, B0

ΥΛΙΚΑ	Na (mg/l)	I.A.K (meq/100g)
B12	128	22,2
B1	129	22,4
B0	388	67,4



Σχήμα 17 Συγκριτικό διάγραμμα I.A.K βιοεξανθρακωμάτων B12, B1 και B0

Στο συγκριτικό διάγραμμα του Σχήματος 17 παρατηρείται ότι το βιοεξανθράκωμα B0 το χαρακτηρίζεται από τριπλάσια ιοντονταλλακτική ικανότητα από ότι το B12 και το B1. Επειδή τα βιοεξανθρακώματα που εξετάστηκαν παράχθηκαν σε θερμοκρασία λίγο πάνω από 700 °C, φαίνεται να οξειδώνονται γρήγορα και να επιτυγχάνουν μεγαλύτερες τιμές I.A.K. [94]. Με βάση τον Πίνακα 5, για την αντιστοιχία των εδαφών ανάλογα με την I.A.K παρατηρείται ότι τα B12 και B1 εμφανίζουν μέση ανώτερη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, ενώ το B0 παρουσιάζει πολύ μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, όπως φαίνεται στα αποτελέσματα των μετρήσεων του Πίνακα 6, οπότε είναι κατάλληλα για τον εμπλουτισμό του εδάφους για τη θρέψη των φυτών.

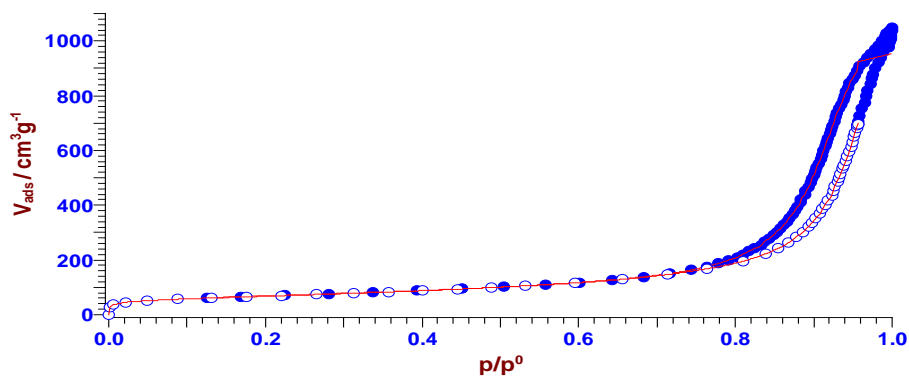
8.2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΔΟΜΗΣ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ

Η ειδική επιφάνεια ενός δείγματος σκόνης μπορεί να μετρηθεί από την απορρόφηση κάποιου αδρανούς αερίου (συνήθως N₂), που γίνεται πάνω στην επιφάνεια των κόκκων [42].

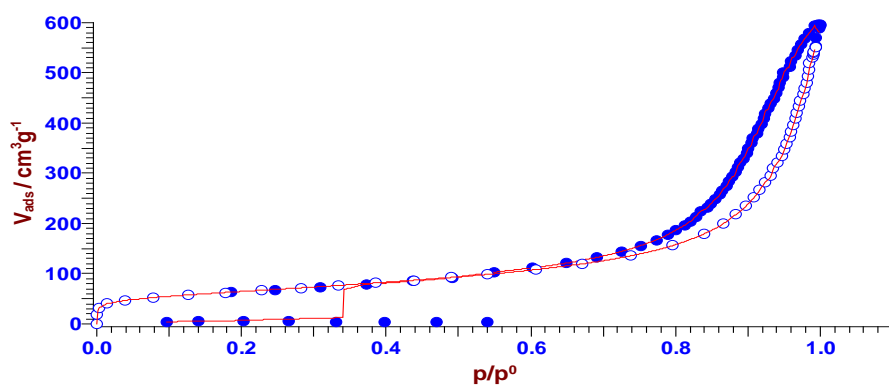
Η μέθοδος B.E.T. εφαρμόζει τα δεδομένα προσρόφησης N₂ για διάφορες σχετικές πιέσεις P/P₀ από 0,05 – 0,35. Το διάγραμμα της ποσότητας του αερίου που προσροφάται στην ισορροπία συναρτήσει της σχετικής πίεσης του αερίου σε σταθερή θερμοκρασία ονομάζεται ισόθερμος προσρόφησης και περιγράφει την προσρόφηση N₂ [42].

Από βιβλιογραφικές αναφορές (Gray et al., 2014) προκύπτει ότι κυρίως οι μικροπόροι (<2nm) και δευτερευόντως οι μεσοπόροι (2-50nm) που δημιουργούνται κατά την πυρόλυση αποτελούν τις υποδοχές για την προσρόφηση θρεπτικών και άλλων χημικών. Οι μακροπόροι (>50nm) σχηματίζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες πυρόλυσης, σχετίζονται με την προέλευση της βιομάζας και είναι υπεύθυνοι για τις οικολογικές και υδρολογικές χρήσεις του βιοεξανθρακώματος [92]. Η αύξηση της θερμοκρασίας και η αύξηση της διάρκειας της πυρόλυσης έχει θετική επίδραση στην προσροφητική επιφάνεια που διαμορφώνει το βιοεξανθράκωμα [41].

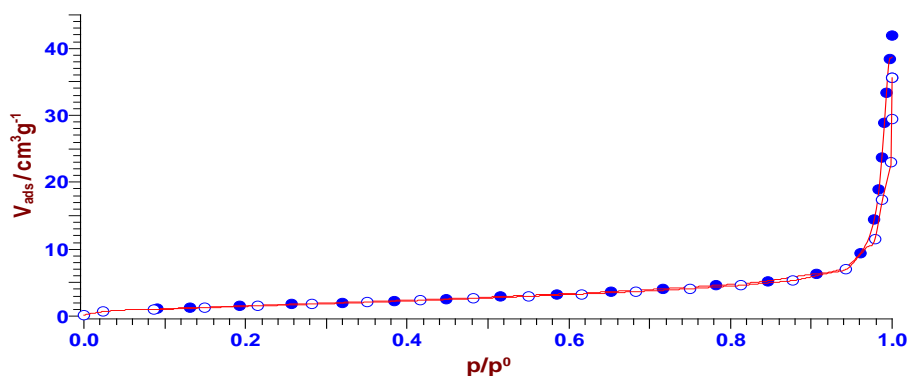
Ακολουθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα των ισόθερμων προσρόφησης των βιοεξανθρακωμάτων.



Σχήμα 18 Ισόθερμος προσρόφησης βιοεξανθράκωμα B12



Σχήμα 19 Ισόθερμος προσρόφησης βιοεξανθράκωμα B1



Σχήμα 20 Ισόθερμος προσρόφησης βιοεξανθράκωμα B0

Πίνακας 7 Αποτελέσματα μέτρησης όγκου & επιφάνειας πόρων (B.E.T.)

ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ	Όγκος πόρων (cm ³ g ⁻¹)	Ειδική επιφάνεια (m ² g ⁻¹)	Όγκος μικροπόρων (cm ³ g ⁻¹)	Επιφάνεια μεσοπόρων (m ² g ⁻¹)
B12	0,9911	243,87	4,3X10 ⁻⁵	240,12
B1	0,5356	232,67	0,0054	215,52
B0	0,019	6,302	ΔΕΝ ΕΜΦΑΝΙΣΕ	9,0057

Πίνακας 8 Σύγκριση ειδικής επιφάνειας & πορώδους βιοεξανθρακωμάτων φυτικής & ζωικής προέλευσης σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης [Έλεγχος πορώδους (B.E.T)]

	Ζωικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα με πυρόλυση στους 750 – 800 °C			Βιβλιογραφικές αναφορές σε φυτικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα που υπέστησαν πυρόλυση στους 700 °C			
	B12	B1	B0	[41] ΠΡΙΟΝΙΔΙ	[41] ΜΠΑΜΠΟΥ	[115] ΦΛΟΥΔΕΣ ΑΠΟ ΦΙΣΤΙΚΙΑ	[115] ΦΛΟΥΔΕΣ ΑΠΟ ΣΟΓΙΑ
Ειδική Επιφάνεια (m ² g ⁻¹)	243,87	232,62	6,302	389	510	448,2	420,30
Όγκος Πόρων cm ³ g ⁻¹	0,9911	0,5356	0,019	-	-	0,20	0,19

Από τα αποτελέσματα που αναφέρονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 7, το βιοεξανθράκωμα B0 έχει τη μικρότερη ειδική επιφάνεια. Το B1 είναι παρόμοιο με το B12 αλλά μεταξύ των τριών τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει το B12 το καθιστούν πιο ικανό προσροφητικό υλικό. Βέβαια σε σχέση με αντίστοιχες μελέτες που έχουν γίνει για φυτικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα όπως πριονίδι, μπαμπού, φλούδες από σόγια και φιστίκια που πυρολύθηκαν στους 700 °C [41], τα βιοεξανθρακώματα ζωικής προέλευσης έχουν πολύ χαμηλότερη ειδική επιφάνεια (Πίνακας 8).

8.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ Ζ-ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΑ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ

Το ζ-δυναμικό είναι ο επιστημονικός όρος για το ηλεκτροκινητικό δυναμικό σε κolloειδή συστήματα και συμβολίζεται χρησιμοποιώντας το ελληνικό γράμμα ζήτα. Με άλλα λόγια, το ζ-δυναμικό είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ του μέσου διασποράς και του σταθερού στρώματος του ρευστού (στοιβάδα Stern) που συνδέεται / έρχεται σε επαφή με το διασπειρόμενο σωματίδιο. Το ζ-δυναμικό σχετίζεται με τη σταθερότητα των κolloειδών διασπορών και δείχνει το βαθμό της απώθησης μεταξύ γειτονικών, παρομοίως φορτισμένων σωματιδίων σε μία διασπορά. Για μόρια και σωματίδια τα οποία είναι αρκετά μικρά, ένα υψηλό ζ-δυναμικό προσδίδει σταθερότητα, δηλαδή, το διάλυμα ή η διασπορά αντιστέκονται στη δημιουργία συσσωματωμάτων. Όταν το ζ-δυναμικό είναι χαμηλό, η έλξη υπερβαίνει την άπωση και η διασπορά αρχίζει να εμφανίζει φαινόμενα κροκίδωσης και συσσωματωμάτων.

Πίνακας 9 Συσχέτιση ζ-δυναμικού με τη σταθερότητα μιας διασποράς

ζ - Δυναμικό [mV]	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΚΟΛΛΟΕΙΔΟΥ
Από 0 έως ± 5	Ταχεία πήξη ή κροκίδωση
Από ± 10 έως ± 30	Αρχόμενη αστάθεια
Από ± 30 έως ± 40	Μέτρια σταθερότητα
Από ± 40 έως ± 60	Καλή σταθερότητα
Περισσότερο από ± 60	Εξαιρετική σταθερότητα

Έτσι, τα κolloειδή με υψηλό ζ-δυναμικό (αρνητικό ή θετικό) είναι ηλεκτρικά σταθεροποιημένα ενώ τα κolloειδή με χαμηλό ζ-δυναμικό τείνουν να πήζουν ή να κροκιδώνονται όπως περιγράφεται

στον παραπάνω Πίνακας 9. Το ζ-δυναμικό χρησιμοποιείται ευρέως για την ποσοτικοποίηση του μεγέθους του ηλεκτρικού φορτίου στη διπλή στιβάδα στη διεπιφάνεια [93].

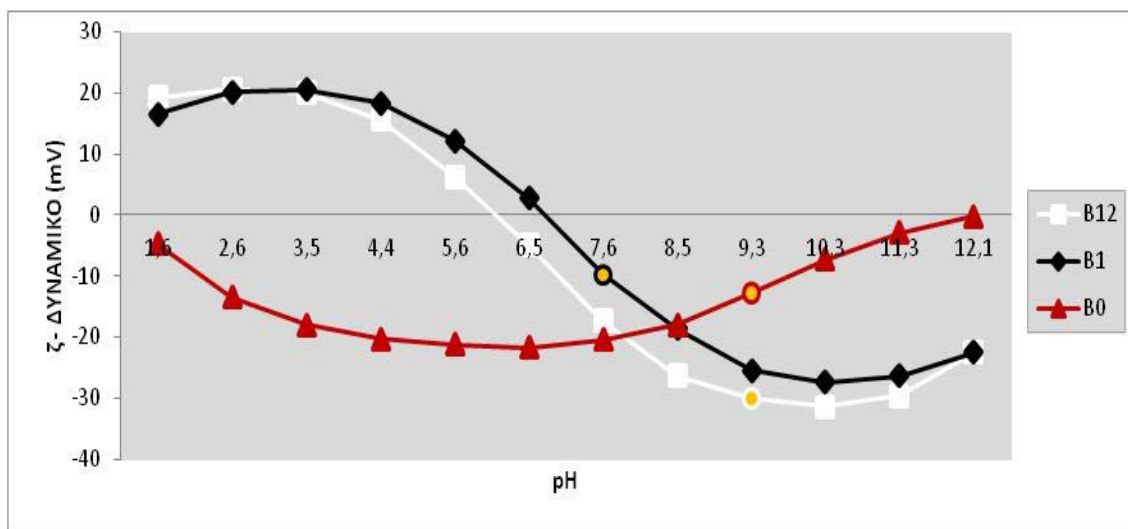
Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος διερεύνησης ήταν για να γίνει αντιληπτό το πώς διαμορφώνεται η επιφάνεια των σωματιδίων ανάλογα με τις ενεργές ομάδες που διαθέτει το προς εξέταση δείγμα και συνεπώς να προσδιοριστεί σε συνάρτηση με το pH ποιές ομάδες ιόντων μπορεί να προσροφά το κάθε υλικό που μελετήθηκε.

Πίνακας 10 pH_0 αρχικό pH υδατικού διαλύματος βιοεξανθρακωμάτων & pH_{pzc} ισοηλεκτρικό σημείο όπου το ζ-δυναμικό είναι μηδενικό

	pH_0	pH_{pzc}
B12	9,3	6,1
B1	7,6	6,7
B0	9,3	ΔΕΝ ΕΜΦΑΝΙΣΕ

Πίνακας 11 Μετρήσεις ζ-δυναμικού ανά τιμή pH, οι σκούρες ενδείξεις είναι η τιμή του ζ-δυναμικού του αρχικού υδατικού διαλύματος των βιοεξανθρακωμάτων

pH	ζ - Δυναμικό (mV)		
	B12	B1	B0
1,6	19,21	16,54	-4,7
2,6	20,66	20,18	-13,51
3,5	20,06	20,49	-18,05
4,4	15,6	18,37	-20,32
5,6	6,2	12,21	-21,22
6,5	-4,95	2,72	-21,69
7,6	-17,31	-9,82	-20,51
8,5	-26,33	-18,65	-17,96
9,4	-30,07	-25,47	-12,75
10,3	-31,37	-27,39	-7,37
11,3	-29,66	-26,38	-2,99
12,1	-22,52	-22,51	-0,24



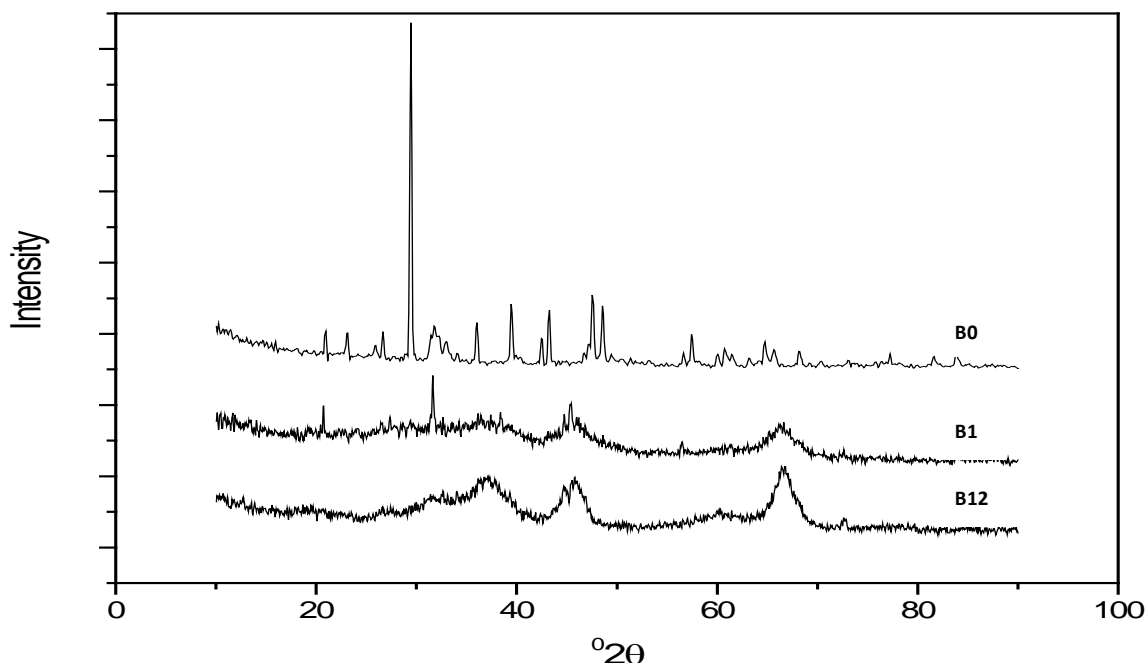
Σχήμα 21 Διάγραμμα επίδρασης ζ- Δυναμικό σε σχέση με το pH

Στο διάγραμμα του Σχήματος 21 Διάγραμμα επίδρασης ζ- Δυναμικό σε σχέση με το pH φαίνεται για το B12, $pH_{pzc}=6,1$ και για το B1, $pH_{pzc}=6,7$. Το βιοεξανθράκωμα B0 δεν παρουσίασε pH_{pzc} και στο εύρος των τιμών pH που μελετήθηκε η επιφάνεια του ήταν μόνιμα αρνητικά φορτισμένη. Το αρχικό υδατικό διάλυμα του B12 και του B0 ήταν αλκαλικό, με κοινή τιμή για το αρχικό $pH_0=9,3$, επιβεβαιώνοντας τους Angin et al., (2013) [94], ότι τα βιοεξανθρακώματα που παράγονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες παρουσιάζουν υψηλότερο pH. Το διάλυμα που παρήχθη από την ανάμειξη του βιοεξανθρακώματος B1 εμφάνισε ουδέτερο $pH_0=7,6$ μονάδες. Σε αυτό ίσως να επηρέασε ο χρόνος εφαρμογής της πυρολυτικής διεργασίας που ήταν κατά πολύ λιγότερος σε σύγκριση με τα άλλα δυο. Όλα τα εξεταζόμενα βιοεξανθρακώματα σε τιμή pH_0 φαίνεται να έχουν αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια (Πίνακας 11) σωματιδίων που έλκει εντονότερα τα θετικά φορτισμένα ιόντα, οπότε σαν βελτιωτικά του εδάφους συγκρατούν τα ιχνοστοιχεία που ωφελούν την ανάπτυξη των φυτών Fe, Bo, Cu, Mg, Ni, Zn δημιουργώντας μια ευνοϊκή συνθήκη για τη θρέψη τους αλλά και για την προσρόφηση διαφόρων ρυπαντών από το έδαφος.

Τα βιοεξανθρακώματα B12 και B1 διατηρούν αυτή τους την ιδιότητα όσο το pH στο οποίο βρίσκονται είναι μεγαλύτερο από το pH_{pzc} . Σύμφωνα με αντίστοιχη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Xue-jiao Tong et. al., 2011 [95] τα φυτικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα, σε χαμηλές τιμές pH από 3,5-6 μονάδες, παρουσίαζαν συγκριτικά μεγαλύτερο φορτίο έναντι αυτών των ζωικών υποπροϊόντων.

8.4 ΜΕΛΕΤΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων X πάνω στους κρυστάλλους, οφείλεται στην αλληλεπίδραση της προσπίπτουσας δέσμης των ακτίνων X (υπό ορισμένη γωνία) με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων. Με τη μέθοδο του περιθλασίμετρου ακτίνων X, είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων X, που προκύπτουν από ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως [77], [96].



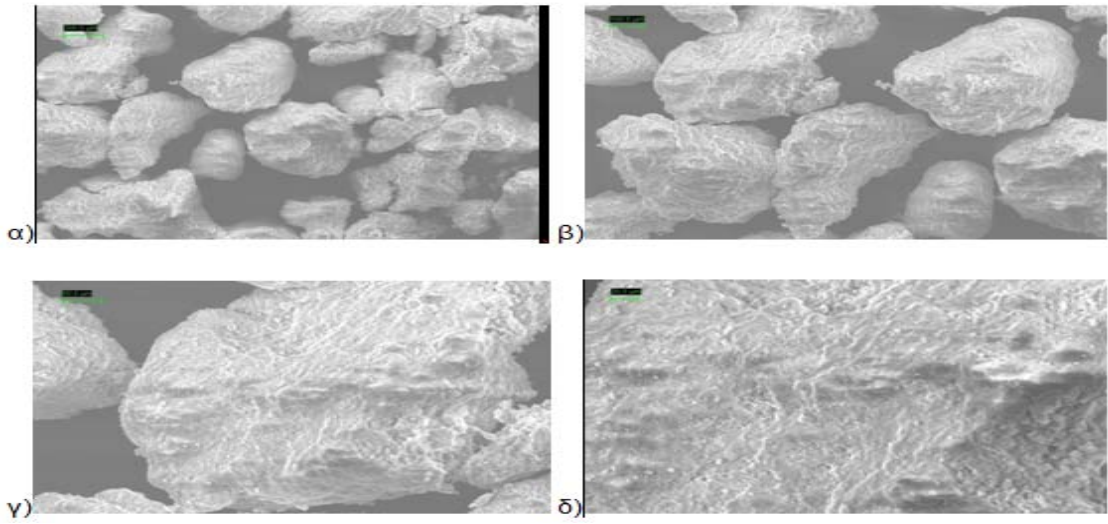
Σχήμα 22 Διάγραμμα περίθλασης ακτίνων Χ για τα υλικά B12, B1 και B0

Στο διάγραμμα περίθλασης ακτίνων Χ του Σχήματος 22 τα βιοεξανθρακώματα B12 και B1 εμφανίζονται ως άμορφα υλικά ενώ το B0 φαίνεται να έχει κρυσταλλική δομή. Τα αποτελέσματα δείχνουν να συμφωνούν με την έρευνα που έχει γίνει από τους Shaaban et al., 2013 που διαπίστωσαν ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες, πάνω από τους 500 °C, χαλαρώνει το κρυσταλλικό πλέγμα και καταστρέφεται η δομή όποτε τα βιοεξανθρακώματα παρουσιάζονται σαν άμορφα υλικά.

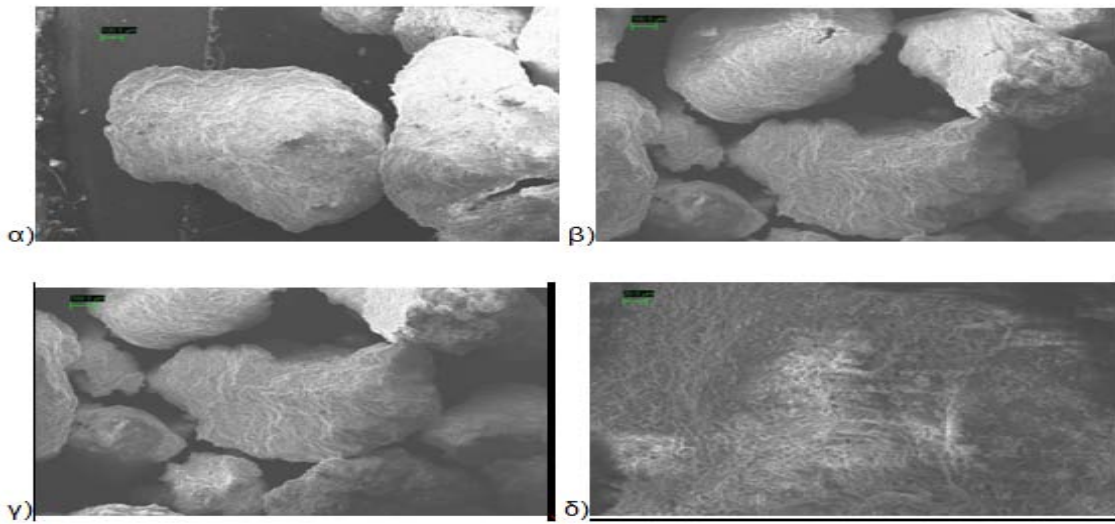
8.5 ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ SEM/EDS

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης είναι μια τεχνική για τη μορφολογική μελέτη των υλικών. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στην εκπομπή δευτερογενών η οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων από μια επιφάνεια όταν αυτή σαρώνεται από μια καλά εστιασμένη προσπίπτουσα δέσμη ηλεκτρονίων αρκετά υψηλής ενέργειας. Από τη διακύμανση στην ένταση των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων αναπαράγεται η εικόνα της επιφάνειας στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα. Ενώ η συλλογή των δευτερογενών και οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων επιτρέπει την τοπογραφική μελέτη της επιφάνειας του δείγματος [42], [77], [96].

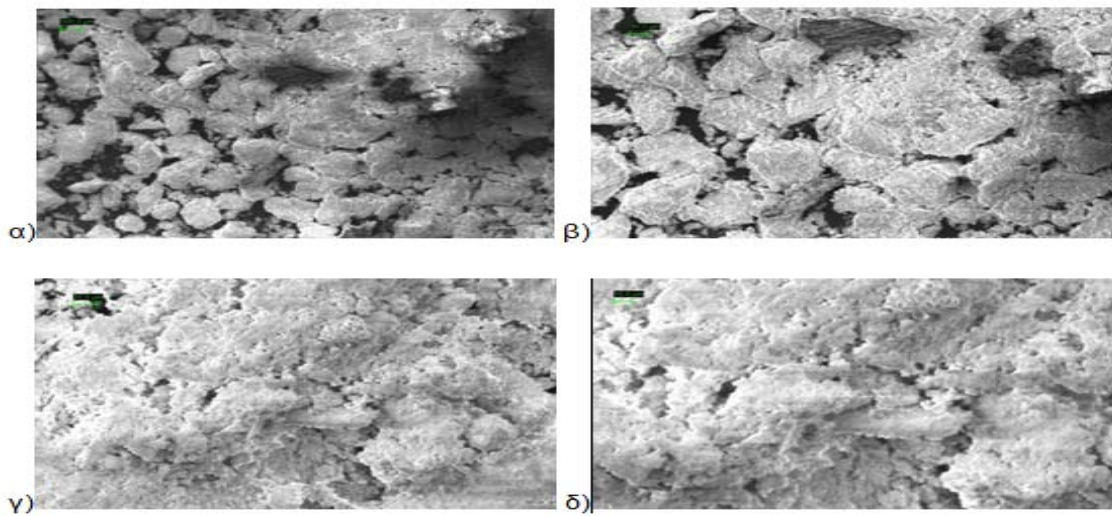
Ο συνδυασμός ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης με έναν ανιχνευτή ενεργειακής διασποράς των ακτίνων Χ (EDS) προσδιορίζει την αφθονία ορισμένων στοιχείων σε μια περιοχή μεγέθους των μικρών. Η χαρτογράφηση της επιφάνειας του δείγματος με χρήση της αναλυτικής τεχνικής SEM / EDS επιτρέπει την ποιοτική ανάλυση ανάλογα με τη θέση των κορυφών στο ενεργειακό φάσμα και την ποσοτική στοιχειακή ανάλυση του υλικού με τον υπολογισμό του εμβαδού της κάθε κορυφής [42], [97].



Σχήμα 23 Επιφάνεια υλικού B12 σε διάφορες μεγεθύνσεις



Σχήμα 24 Επιφάνεια υλικού B1 σε διάφορες μεγεθύνσεις



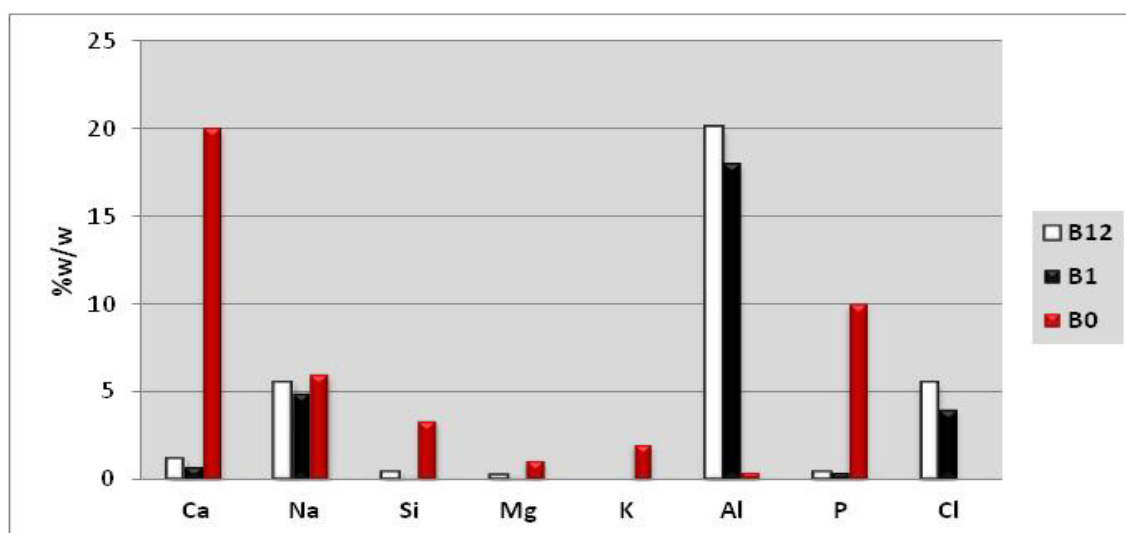
Σχήμα 25 Επιφάνεια υλικού B0 σε διάφορες μεγεθύνσεις

Από τα Σχήμα 24 και 25 στα οποία απεικονίζεται η επιφάνεια των βιοεξανθρακωμάτων B12, B1 και B0 αντίστοιχα, σε διάφορες μεγεθύνσεις, εξάγεται το συμπέρασμα ότι πρόκειται για μη πορώδη υλικά με σχετικά συμπαγή δομή. Το B0 φαίνεται να έχει ομαλή, ενιαία, επιφάνεια, ενώ στο B12 απεικονίζονται περισσότεροι πόροι. Από αυτές τις απεικονίσεις, επιβεβαιώνονται και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναφέρονται στην ειδική επιφάνεια και το πορώδες σύμφωνα με τον Πίνακας 7 στη σελίδα 38.

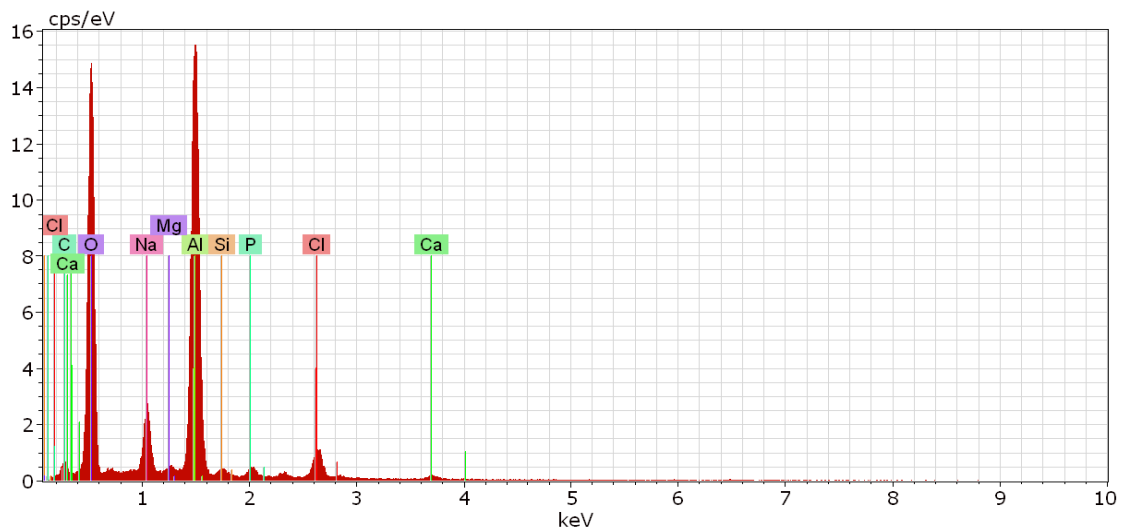
Πίνακας 12 Αποτελέσματα στοιχειακής ανάλυσης EDS

ΣΤΟΙΧΕΙΑ(% w/w)	B12	B1	B0
Ca	1,2	0,7	20
Na	5,5	4,9	6
Si	0,4	0,2	3,3
Mg	0,3	0,2	1,1
K	-	-	2
Al	20	18	0,4
P	0,4	0,4	10
Cl	5,5	4	-

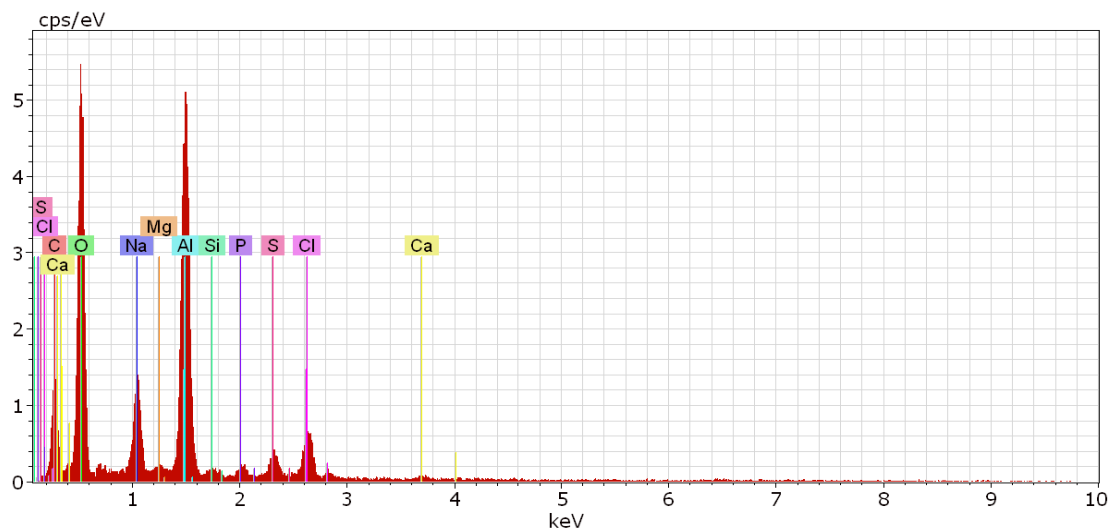
Στον Πίνακα 12 αναφέρονται τα αποτελέσματα της αναλυτικής μεθόδου φασματοσκοπίας ενεργειακής διασποράς και ακολούθως το ακτινόγραμμα του κάθε βιοεξανθρακώματος.



Σχήμα 26 Συγκριτικό διάγραμμα συγκεντρώσεων στοιχείων

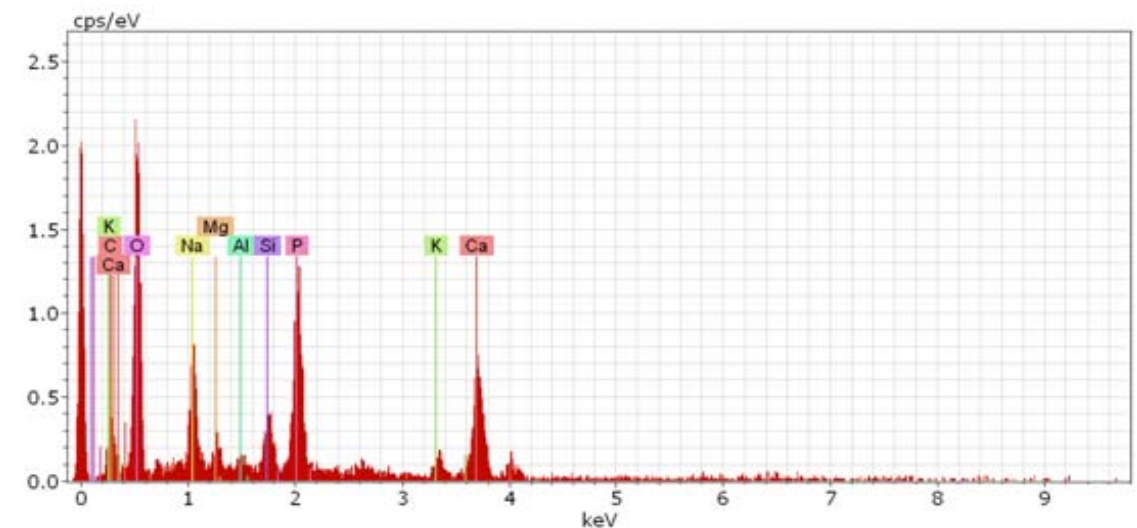


Σχήμα 27 Ακτινόγραμμα βιοεξανθρακώματος B12



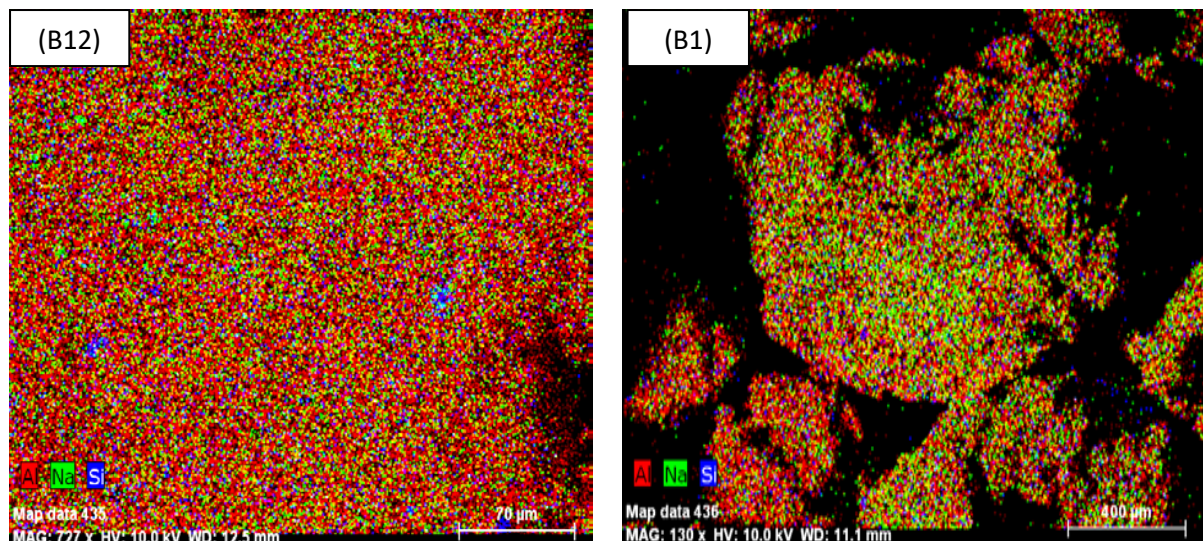
Σχήμα 28 Ακτινόγραμμα βιοεξανθρακώματος B1

Στο Σχήμα 27 και το Σχήμα 28 αλλά και στο συγκριτικό διάγραμμα του Σχήματος 26, επειδή τα βιοεξανθρακώματα B12 και B1 προήρθαν από πυρολυτικό κλίβανο που ήταν εγκατεστημένος σε βιομηχανία δέψης, όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρήθηκε υψηλή περιεκτικότητα σε αργίλιο (Al). Σε αυτού του τύπου τις βιομηχανίες είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται βιομηχανικό θειικό αργίλιο ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) ή αλλιώς στυπτηρία ως θρομβωτική, πηκτική ουσία για την επεξεργασία των αποβλήτων. Τα συσσωματώματα που δημιουργούνται αφού καθιζάνουν τα απομακρύνουν και τα επεξεργάζονται με πυρόλυση, οπότε στο υπόλειμμα του πυρολυτικού κλιβάνου εμφανίζεται το αργίλιο [110].



Σχήμα 29 Ακτινόγραμμα βιοεξανθρακώματος B0

Στο ακτινόγραμμα του βιοεξανθρακώματος B0 στο Σχήμα 29 παρατηρήθηκαν υψηλές κορυφές οπότε και υψηλή συγκέντρωση των αλάτων ασβεστίου και φωσφόρου.



Σχήμα 30 Κατανομή Αργιλίου (Al), Νατρίου (Na), Πυριτίου (Si) στο βιοεξανθράκωμα B12 & B1

Στο Σχήμα 30 παρουσιάζεται η οπτική απεικόνιση αργιλίου (Al), νατρίου (Na) και πυριτίου (Si) στα βιοεξανθρακώματα B12 και B1 αντίστοιχα. Σε σύγκριση με την ερευνητική εργασία των Chen et al., 2011 [40] στην οποία είχαν χρησιμοποιηθεί αγροτικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα, τα εξεταζόμενα B12, B1 και B0 ήταν πολύ πιο φτωχά σε συγκεντρώσεις καλίου (K), ασβεστίου (Ca), μαγνησίου (Mg), νατρίου (Na) και αργιλίου (Al), από το βιοεξανθράκωμα καλαμποκιού που πυρολύθηκε σε αντίστοιχα υψηλή θερμοκρασία. Κατά τους Amonette και Joseph, (2009), σχετικά με τα συστατικά της τέφρας, όπως το χλώριο (Cl), το κάλιο (K) και το άζωτο (N) απομακρύνονται ως πτητικά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες πυρόλυσης και πιθανώς για αυτό να εντοπίζονται σε μικρές ποσότητες στα ελεγχόμενα δείγματα, ενώ άλλα όπως το ασβέστιο (Ca), ο φώσφορος (P) και το θείο (S) είναι αρκετά πιο σταθερά και για να διασπαστούν χρειάζονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες [94].

Οι όποιες διαφορές μεταξύ των βιοεξανθρακωμάτων σύμφωνα με τους Demirias (1997) και τους Fuertes et al., (2012), οφείλονται στην πρώτη ύλη και τις συνθήκες πυρόλυσης της βιομάζας που προσδίδουν τα τελικά χαρακτηριστικά στο παραγόμενο βιοεξανθράκωμα [5].

8.6 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ CHNS

Η στοιχειακή ανάλυση δίνει τη δυνατότητα να γίνει ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός ενός δείγματος. Με αυτή τη μέθοδο προσδιορίζεται το επί τοις εκατό ποσοστό βάρους ενός στοιχείου σε μια ένωση. Ουσιαστικά, ένα δείγμα καίγεται σε περίσσεια οξυγόνου και διάφορες παγίδες, συλλέγουν τα προϊόντα καύσης, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και του θείου (SO₂), το νερό (H₂O) και τέλος το οξείδιο του αζώτου (NO). Από τις μάζες αυτών των προϊόντων καύσης υπολογίζεται η σύνθεση του άγνωστου δείγματος [78]-[79], [98].

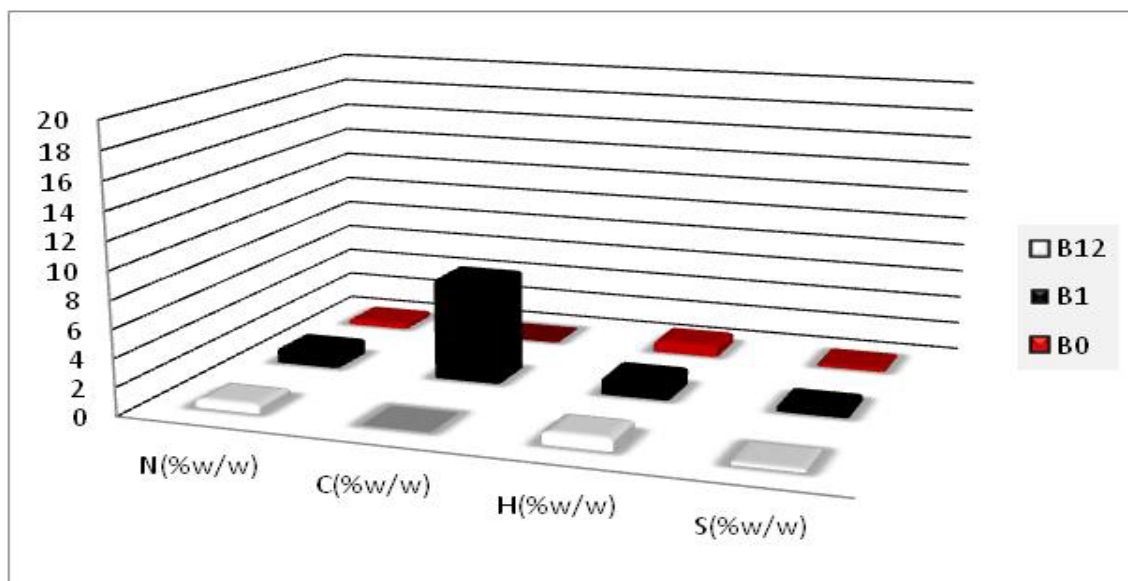
Για τη στοιχειακή ανάλυση απαιτείται διαλυτοποίηση των στερεών δειγμάτων με χρήση οξέων. Ο μηχανισμός δράσης των οξέων περιλαμβάνει την αντίδραση του οξέος με τα συστατικά του δείγματος ώστε να σχηματιστούν ευδιάλυτα ή και πτητικά άλατά τους τα οποία συγκρατούνται ή συλλέγονται σε άλλο διάλυμα και προσδιορίζονται. Με αυτή τη μέθοδο τα αμέταλλα αεριοποιούνται οπότε ενδείκνυται για τη μέτρηση μετάλλων και μεταλλοειδών στοιχείων [99].

Πίνακας 13 Αποτελέσματα στοιχειακής ανάλυσης CHNS στο βιοεξανθράκωμα

	B12	B1	B0
N(%w/w)	0,62	1,17	0,42
C(%w/w)	0	7,34	0
H(%w/w)	0,88	1,27	0,83
S(%w/w)	0,22	0,53	0,23

Πίνακας 14 Σύγκριση αποτελεσμάτων στοιχειακής ανάλυσης βιοεξανθρακωμάτων φυτικής και ζωικής προέλευσης σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης

	Ζωικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα με πυρόλυση στους 750 – 800 °C			Βιβλιογραφικές αναφορές σε φυτικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα που υπέστησαν πυρόλυση στους 700 °C				
	B12	B1	B0	[41] ΠΡΙΟΝΙΔΙ	[41] ΜΠΑΜΠΟΥ	[108] ΚΑΟΤΣΟΥΚ	[115] ΦΛΟΥΔΕΣ ΑΠΟ ΦΙΣΤΙΚΙΑ	[115] ΦΛΟΥΔΕΣ ΑΠΟ ΣΟΓΙΑ
C(%w/w)	0	7,34	0	92	88,8	43,27	81,98	83,76
H(%w/w)	0,88	1,27	0,83	1,3	1,3	6,83	1,27	1,75
N(%w/w)	0,62	1,17	0,42	0,27	0,23		1,3	1,14



Σχήμα 31 Συγκριτικό διάγραμμα περιεκτικότητας (% w/w) N, C, H, S των βιοεξανθρακωμάτων

Το Σχήμα 31 είναι η γραφική αναπαράσταση της περιεκτικότητας (% w/w) των βιοεξανθρακωμάτων σε άζωτο (N), άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και θείο (S). Η περιεκτικότητα στα συγκεκριμένα στοιχεία είναι η κύρια παράμετρος που χαρακτηρίζει τη βιομάζα και παίζει καθοριστικό ρόλο στη σύσταση του βιοεξανθρακώματος (Cantrell et al, 2012) [94].

Τα μελετούμενα βιοεξανθρακώματα έδωσαν χαμηλές συγκεντρώσεις σε αυτά τα στοιχεία γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υποβαθμίστηκε η ποιότητά τους λόγω των συνθηκών και του χρόνου πυρόλυσης που είχαν υποστεί τα αρχικά απόβλητα.

Στον Πίνακα 14, αναφέρονται βιβλιογραφικές αναφορές αποτελεσμάτων στοιχειακής ανάλυσης σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Χαρακτηριστικά παρατηρείται ότι τα μελετούμενα βιοεξανθρακώματα παρουσιάζουν ελάχιστη και μηδενική περιεκτικότητα σε άνθρακα ενώ σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα αντίστοιχα γεωργικών υπολειμμάτων υπερτερούν κατά πολύ, οπότε είναι πιο ποιοτικά.

8.7 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΑΦΟΜΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΩΝ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DTPA & AAS

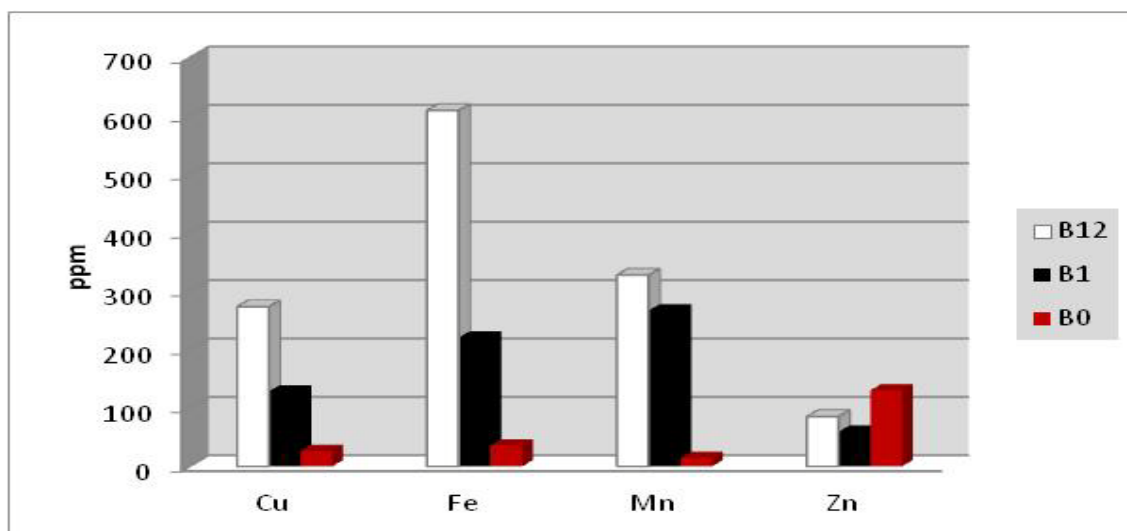
Η μέθοδος εκχύλισης με DTPA (diethylenetriamine pentaacetic acid), χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του φυτοδιαθέσιμου κλάσματος των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Σε αυτή τη μέθοδο προσδιορίζονται ταυτόχρονα ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn) [100]-[102].

Πίνακας 15 Αποτελέσματα προσδιορισμού διαθέσιμων αφομοιούμενων ιχνοστοιχείων σε ppm

	B12	B1	B0
Cu (ppm)	273,29	128,36	26,5
Fe (ppm)	609,29	220,54	35,88
Mn (ppm)	327,61	266,81	14,27
Zn (ppm)	85,28	59,22	130,04

Πίνακας 16 Κατάταξη εδαφών σε κατηγορίες με βάση διαθεσιμότητα ιχνοστοιχείων (ppm) όπως αναφέρεται στο Soil and Plant Analysis

Χαρακτηρισμός	Cu	Fe	Mn	Zn
Πολύ χαμηλό	<0,3	0-3	0-5	<1
Χαμηλό	0,3-0,8	4-11	6-14	1,1-2,9
Μέσο	0,9-1,5	12-24	15-29	3,0-5,0
Υψηλό	1,6-3,0	25-50	30-50	5,1-8



Σχήμα 32 Συγκριτικό διάγραμμα για τα αφομοιούμενα ιχνοστοιχεία στα βιοεξανθρακώματα B12, B1, B0

Από την ανάλυση για τον προσδιορισμό των αφομοιούμενων ιχνοστοιχείων προκύπτουν τα αποτελέσματα που φαίνονται στο Σχήμα 32. Το βιοεξανθράκωμα B12 φαίνεται να υπερτερεί σημαντικά στη συγκέντρωση του σιδήρου και του χαλκού. Το μαγνήσιο εμφανίζει παρόμοιες συγκεντρώσεις στα βιοεξανθρακώματα B12 και B1 ενώ το μοναδικό ιχνοστοιχείο που εμφανίζει σημαντική συγκέντρωση στο βιοεξανθράκωμα B0 είναι ο ψευδάργυρος. Στο B1 η μεγαλύτερη συγκέντρωση μεταξύ των ιχνοστοιχείων φαίνεται στο μαγνήσιο, ενώ στο B12 φαίνεται στον σίδηρο. Τα βαρέα μέταλλα ανήκουν στην κατηγορία των ιχνοστοιχείων, υπάρχουν στα φυσικά συστήματα σε συγκεντρώσεις οι οποίες δεν ξεπερνούν το ποσοστό της τάξης του 0,1%. Αν και εμφανίζουν τοξική δράση ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις, αρκετά από αυτά, θεωρούνται απολύτως απαραίτητα σε μικρές ποσότητες για την λειτουργία των ζωντανών και φυτικών οργανισμών [101].

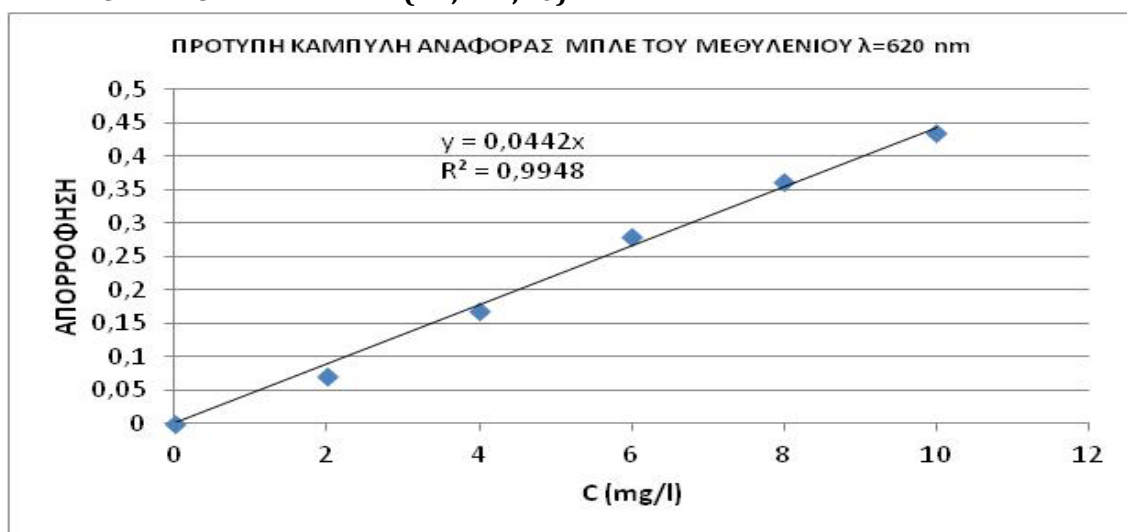
Ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mg) και ο ψευδάργυρος (Zn) είναι στοιχεία που στα φυτά προσλαμβάνονται μέσω του ριζικού συστήματος και εμπλέκονται σε διάφορες μεταβολικές διεργασίες, ζωτικής σημασίας, όπως η παραγωγή ενζύμων και χλωροφύλλης και η δέσμευση του αζώτου [101]-[103].

Συγκριτικά μεταξύ των τριών βιοεξανθρακωμάτων, τη μεγαλύτερη συγκέντρωση των αφομοιούμενων ιχνοστοιχείων εν γένει την εμφανίζει το B12 και ακολούθως το B1 οπότε, συναρτήσει των προαναφερόμενων, η προσθήκη των συγκεκριμένων βιοεξανθρακωμάτων θα είναι ευεργετική για την ανάπτυξη των φυτών και τον εμπλουτισμό του εδάφους με θρεπτικά. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος μπορεί να οδηγήσουν στην απορρόφηση τους από τα διάφορα είδη και να επηρεαστεί αρνητικά η παραγωγή.

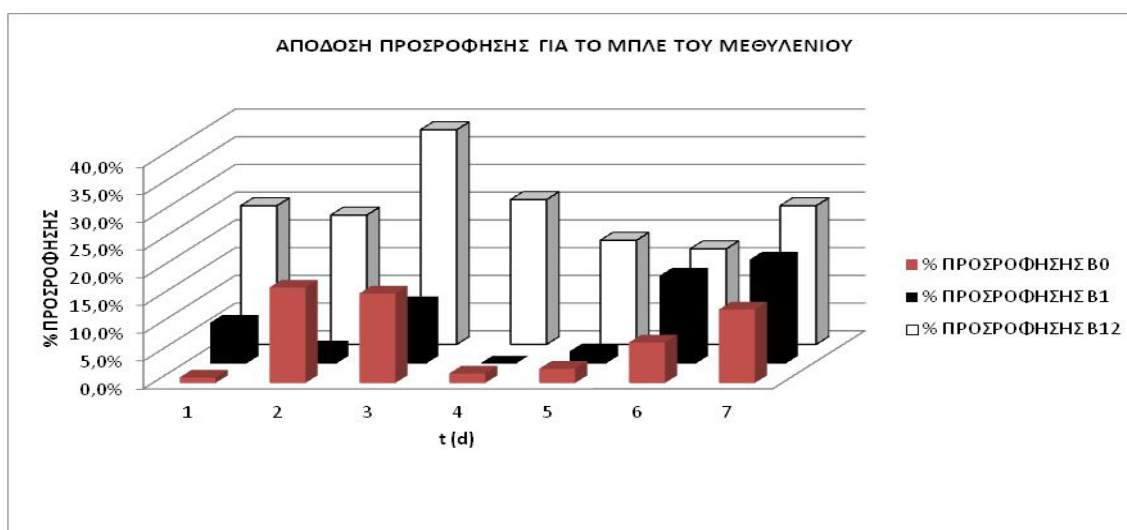
Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τις απαιτούμενες, τα βαρέα μέταλλα εμποδίζουν την ανάπτυξη, οδηγώντας πολλές φορές στην καταστροφή φυτών [101]. Έχει, επίσης, ειπωθεί από τους Oleszczuk et al, 2014 & Lehmann et al, 2015 ότι ανάλογα με τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοεξανθρακώματος και τις συνθήκες πυρόλυσης, η εφαρμογή βιοεξανθρακώματος στο έδαφος μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον του εδάφους [94].

8.8 ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ

8.8.1 ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B1,B12,B0)



Σχήμα 33 Καμπύλη αναφοράς για το μπλε του μεθυλενίου



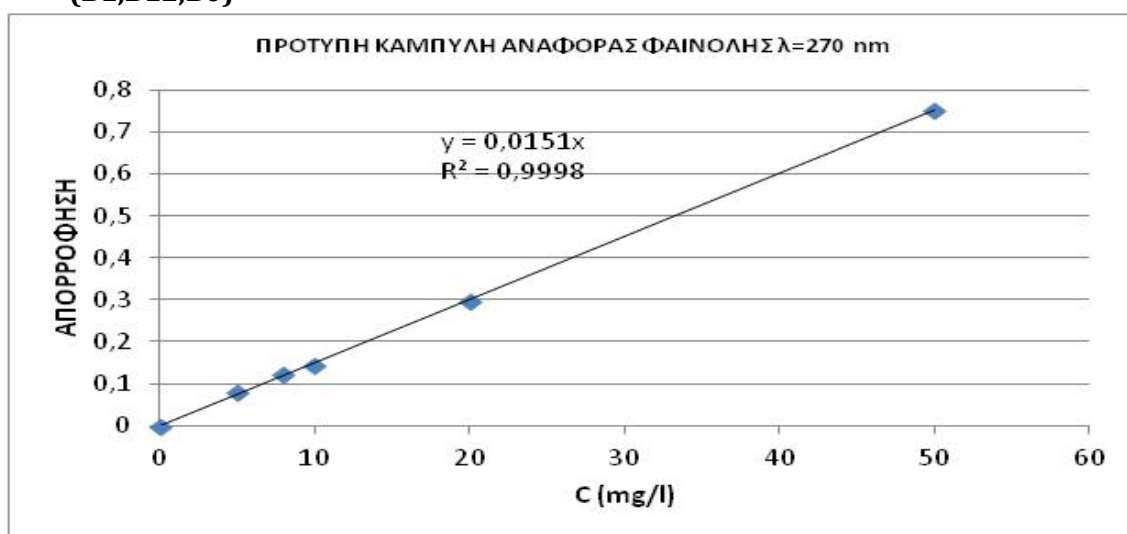
Σχήμα 34 Συγκριτικό διάγραμμα προσροφητικής ικανότητας βιοεξανθρακωμάτων σε διάλυμα μπλε του μεθυλενίου

Από το Σχήμα 34 στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης απόδοσης προσρόφησης των βιοεξανθρακωμάτων για το μπλε του μεθυλενίου γίνεται κατανοητό ότι το B12 έχει καλύτερη απόδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα δυο βιοεξανθρακώματα. Η απόδοση δείχνει να

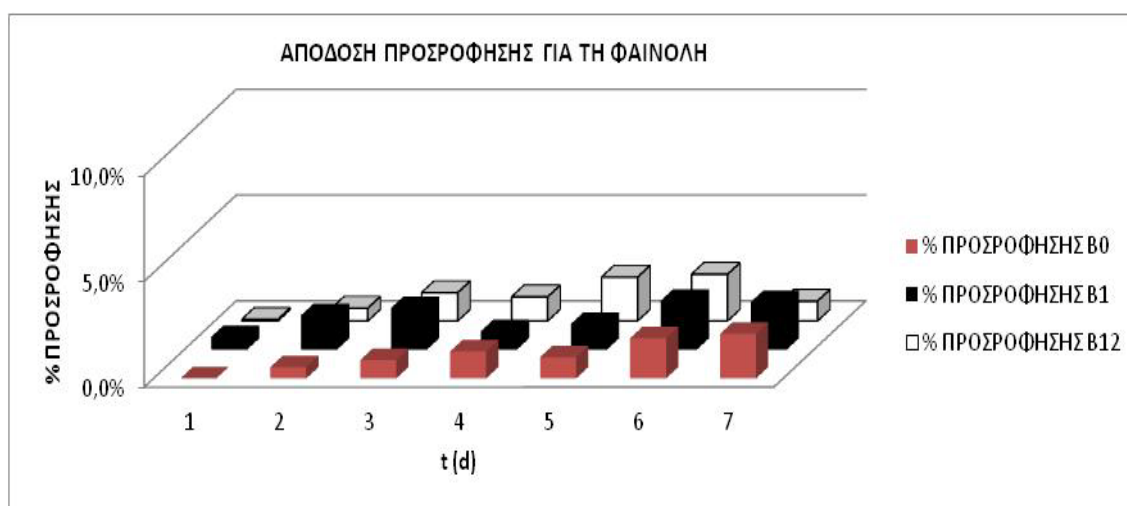
μεγιστοποιείται την τρίτη ημέρα για το B12 σε αντίθεση με το B1 που μεγιστοποιεί την απόδοση του την έβδομη ημέρα. Όπως ήταν αναμενόμενο από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για το χαρακτηρισμό των βιοεξανθρακωμάτων, πιο ικανό προσροφητικό υλικό αποδεικνύεται και πειραματικά το B12, που εμφάνισε τη μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια. Οι αυξομειώσεις που παρατηρήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα που διήρκησε το πείραμα εξηγούνται από το είδος της προσρόφησης που φαίνεται να είναι φυσική αφού το αποτέλεσμα της είναι αντιστρεπτό.

Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α στον Πίνακα Α. 1 για τη δημιουργία της καμπύλης αναφοράς και στον Πίνακα Α. 2 αναφέρονται οι μετρήσεις απόδοσης της προσρόφησης του μπλε του μεθυλενίου.

8.8.2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΦΑΙΝΟΛΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B1,B12,B0)



Σχήμα 35 Καμπύλη αναφοράς για τη φαινόλη



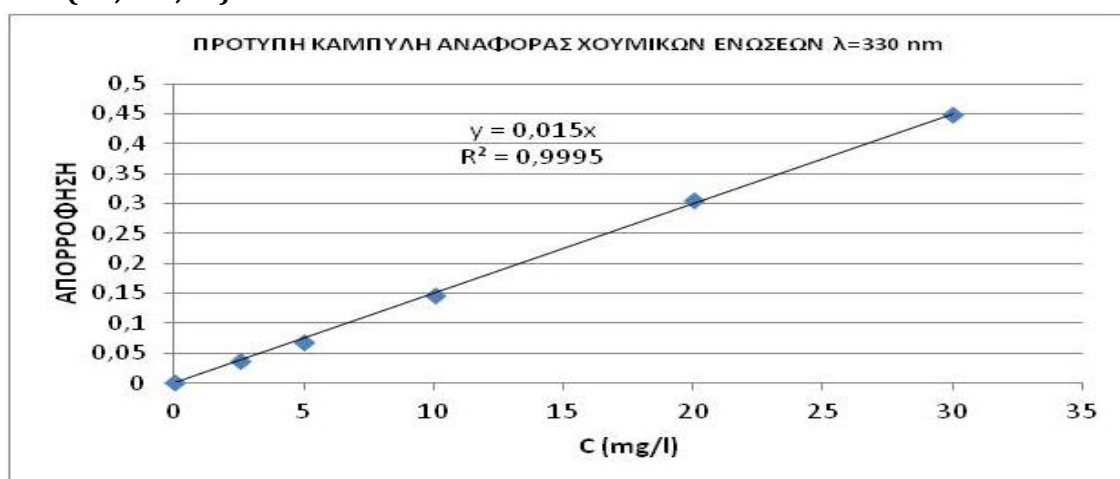
Σχήμα 36 Συγκριτικό διάγραμμα προσροφητικής ικανότητας βιοεξανθρακωμάτων σε διάλυμα φαινόλης

Από το Σχήμα 36 Συγκριτικό διάγραμμα προσροφητικής ικανότητας βιοεξανθρακωμάτων σε διάλυμα φαινόλη στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης απόδοσης προσρόφησης των βιοεξανθρακωμάτων σχετικά με τη φαινόλη, φαίνεται ότι το B1 αποδίδει καλύτερα και πιο άμεσα στην απορρόφηση της φαινόλης ενώ και τα τρία βιοεξανθρακώματα

δείχνουν να μεγιστοποιούν την απόδοση τους με την πάροδο των ημερών. Η απόδοση απορρόφησης της φαινόλης ήταν γενικά ελάχιστη, της τάξης του 2%. Με δεδομένο το αρνητικό φορτίο του ζ-δυναμικού για όλα τα εξεταζόμενα βιοεξανθρακώματα, σε τιμές pH_0 (αρχικό pH) σύμφωνα με τους Πίνακες 10 και Πίνακας 11, καθοριστικό ρόλο για το αποτέλεσμα διαδραμάτισε η φύση της φαινόλης που σε υδατικά διαλύματα δίνει, το «φαινολικό ανιόν» ή «φαινοξείδιο», με τύπο PhO^- . Εξαιτίας του ομώνυμου φορτίου προσροφητικού υλικού και προσροφούμενης ουσίας η απόδοση απομάκρυνσης ήταν αμελητέα. Θα υπήρχε ενδεχομένως κάποιο αξιόλογο αποτέλεσμα αν το υδατικό διάλυμα της φαινόλης είχε ρυθμιστεί σε $pH < pH_{pzc}$, για το B12 $pH < 6,1$ και για το B1 $pH < 6,7$. Το B0 δεν παρουσίασε pH_{pzc} οπότε και με μια ενδεχόμενη ρύθμιση του pH του διαλύματος, πάλι δεν θα λειτουργούσε.

Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α, στον Πίνακα Α. 3 για τη δημιουργία της καμπύλης αναφοράς και στον Πίνακα Α. 4 αναφέρονται οι μετρήσεις απόδοσης της προσρόφησης της φαινόλης.

8.8.3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B1,B12,B0)



Σχήμα 37 Καμπύλη αναφοράς για τις χουμικές ενώσεις



Σχήμα 38 Συγκριτικό διάγραμμα προσροφητικής ικανότητας βιοεξανθρακωμάτων σε διάλυμα χουμικών ενώσεων

Στο Σχήμα 38 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης απόδοσης προσρόφησης των βιοεξανθρακωμάτων σχετικά με τις χουμικές ενώσεις. Η προσροφητική ικανότητα των χρησιμοποιούμενων βιοεξανθρακωμάτων ήταν γενικά χαμηλή. Σύμφωνα με το σχήμα είναι προφανές ότι αποδοτικότερα λειτούργησε το B12 έναντι των άλλων δυο με τη μέγιστη απόδοση να εμφανίζεται την έκτη ημέρα. Οι χουμικές ενώσεις αποτελούνται κυρίως από άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και οξυγόνο (O) και παρουσιάζουν ελάχιστη περιεκτικότητα σε άζωτο (N) (Zeisemann W.,1994). Για τις χουμικές ενώσεις δεν υπάρχει συγκεκριμένη μοριακή δομή, από την συμπεριφορά τους σε σχέση με την προσρόφηση φαίνεται ότι αφού λειτούργησε πιο αποδοτικά το B12 που είχε το πιο χαμηλό ζ- δυναμικό, τότε το επιφανειακό φορτίο των χουμικών είχε αρκετά θετικά φορτισμένα σωμάτια τα οποία για να έρθουν σε ενεργειακή ισορροπία προσροφήθηκαν από το βιοεξανθράκωμα.

Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα στον Πίνακα Α. 5 για τη δημιουργία της καμπύλης αναφοράς και στον Πίνακα Α. 6 αναφέρονται οι μετρήσεις απόδοσης της προσρόφησης των χουμικών ουσιών.

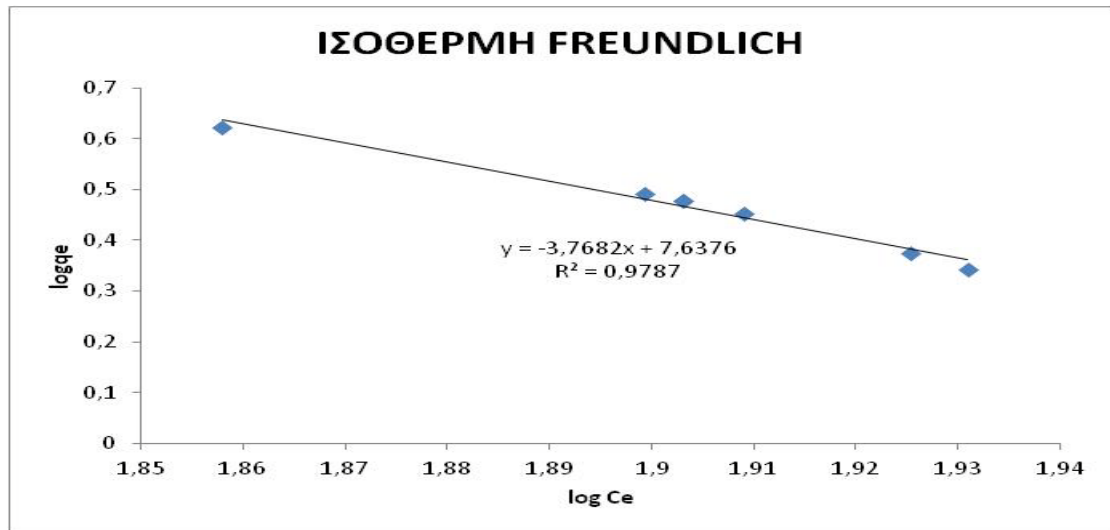
8.9 ΜΕΛΕΤΗ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ B12

Από τα πειράματα των προσροφήσεων, τα πιο αξιολογήσιμα αποτελέσματα, τα εμφάνισε το B12 στην προσρόφηση του μπλε του μεθυλενίου, με απόδοση απομάκρυνσης γύρω στο 40% και έτσι επιλέχθηκε σε αυτό το βιοεξανθράκωμα να γίνει η διερεύνηση των ισόθερμων του Freundlich και του Langmuir.

Πίνακας 17 Μετρήσεις για υπολογισμό ισόθερμων προσρόφησης ισόθερμων B12- Μπλε του Μεθυλενίου

A/A	q_e	$\log q_e$	$\log C_e$	C_e/q_e
1	3	0,477121	1,90309	26,66667
2	2,835	0,452553	1,909021	28,6067
3	4,185	0,621695	1,857935	17,2282
4	3,105	0,492062	1,899273	25,53945
5	2,37	0,374748	1,925312	35,52743
6	2,205	0,343409	1,930949	38,68481
7	3	0,477121	1,90309	26,66667

8.9.1 ΜΕΛΕΤΗ ΙΣΟΘΕΡΜΗΣ FREUNDLICH ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΤΟ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B12



Σχήμα 39 Ισόθερμη του Freundlich για την προσρόφηση του μπλε του μεθυλενίου από υδατικό διάλυμα με προσθήκη B12

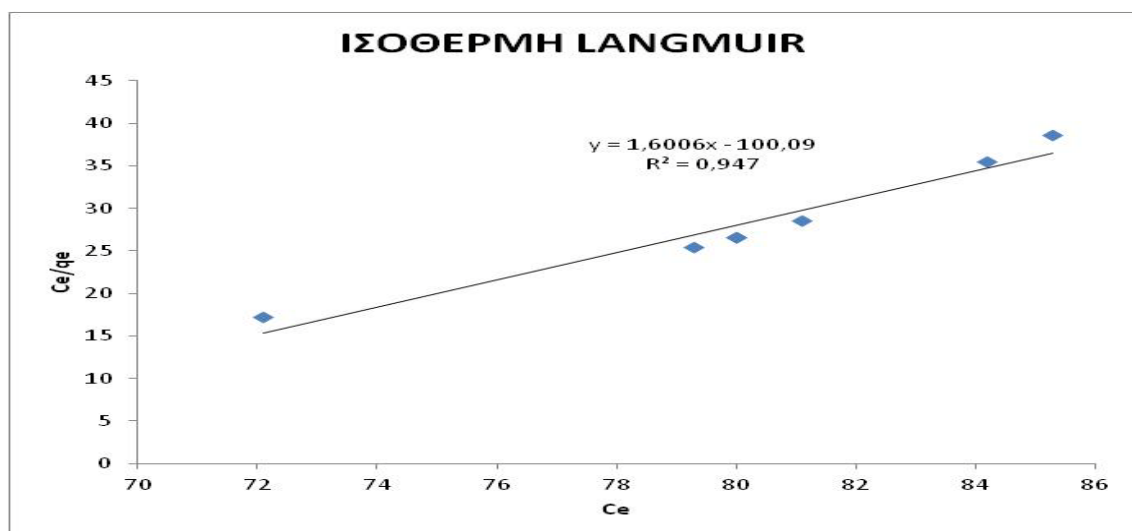
$$\log(q_e) = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

$$y = a + b x$$

$$y = 7,6376 - 3,7682 X$$

όπου $1/n = -3,76825$ και $k_f = 43.411.021$

8.9.2 ΜΕΛΕΤΗ ΙΣΟΘΕΡΜΗΣ LANGMUIR ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΤΟ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ B12



Σχήμα 40 Ισόθερμη του Langmuir για την προσρόφηση του μπλε του μεθυλενίου από υδατικό διάλυμα με προσθήκη B12

$$q_e = \frac{Q b C_e}{1 + b C_e}$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q b} + \frac{1}{Q} C_e$$

$$y = a + bX$$

$$y = -100,09 + 1,6006X$$

$$\text{όπου } Q = \frac{1}{1,6006} = 0,6248 \quad b = \frac{1}{-100,09 \cdot 0,6248} = -0,01599$$

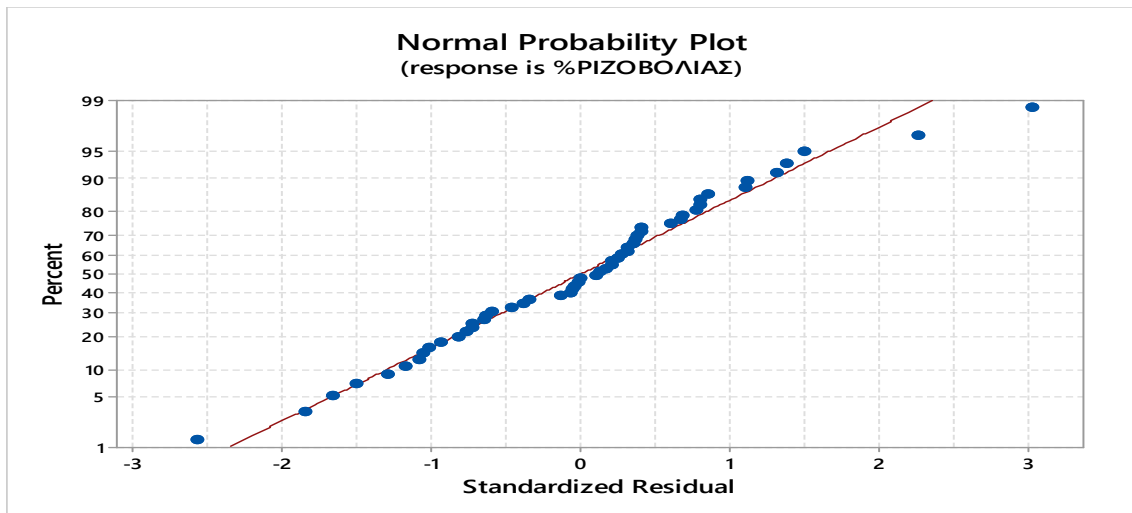
Επειδή ο συντελεστής συσχέτισης R για την ισόθερμη του Freundlich είναι ίσος με 0,98 ενώ για την ισόθερμη του Langmuir είναι 0,95 όπως φαίνονται στα Σχήματα 39 και 40, συμπεραίνουμε ότι το πιο κατάλληλο μοντέλο για να περιγράψει το φαινόμενο της προσρόφησης για το υλικό B12 είναι το μοντέλο του Freundlich. Επειδή ο λόγος 1/n είναι πολύ μικρός, ο δεσμός της προσρόφησης είναι ασθενής και το φαινόμενο αντιστρεπτό.

8.10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ

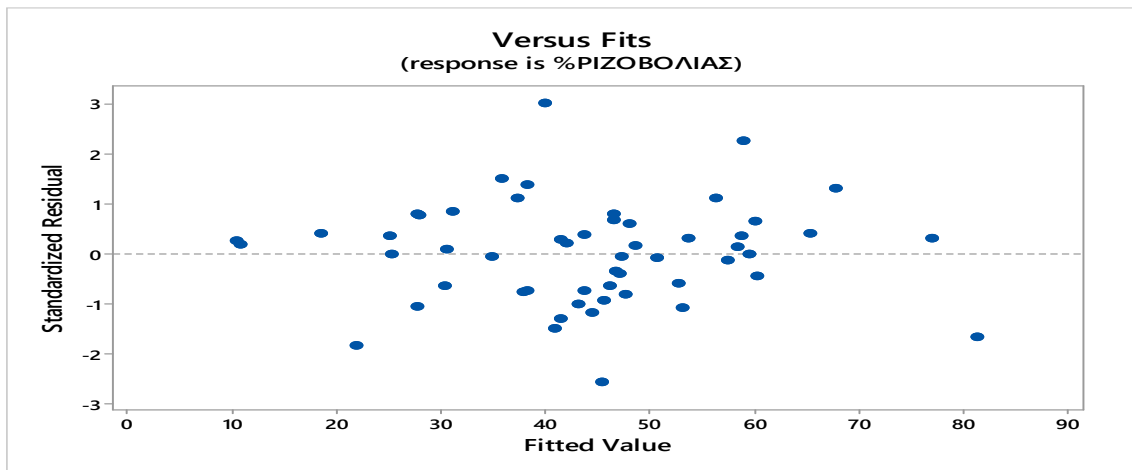
Στην ανάλυση διακύμανσης τεσσάρων παραγόντων για τη ριζοβολία, ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε παράλληλα για όλα τα φυτικά είδη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για τον παράγοντα είδος με $p=0,00$, για το υπόστρωμα με $p=0,018$, καθώς για το συνδυασμό είδους – βιοεξανθρακώματος με $p=0,009$ και τέλος στο συνδυασμό είδους - υποστρώματος υπήρχε $p=0,005$.

Πίνακας 18 Θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών

«ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ»	«ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ»
άζωτο	Σίδηρος
φώσφορος	Βόριο
κάλιο	Χαλκός
ασβέστιο	Νικέλιο
μαγνήσιο	Μαγγάνιο
θείο	Ψευδάργυρος
άνθρακας	



Σχήμα 41 Έλεγχος κανονικότητας δειγμάτων τομάτας για τις μετρήσεις της ριζοβολίας



Σχήμα 42 Έλεγχος διασποράς των υπολειμμάτων για τις μετρήσεις της ριζοβολίας

General Linear Model: %ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ versus Species; Biochar; Substrate; Ratio

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Species	Fixed	3	Μαρούλι; Σπανάκι; Τομάτα
Biochar	Fixed	2	B12; B1
Substrate	Fixed	3	Άμμος; Περλίτης; Τύρφη
Ratio	Fixed	3	0; 1:10; 1:2

Analysis of Variance

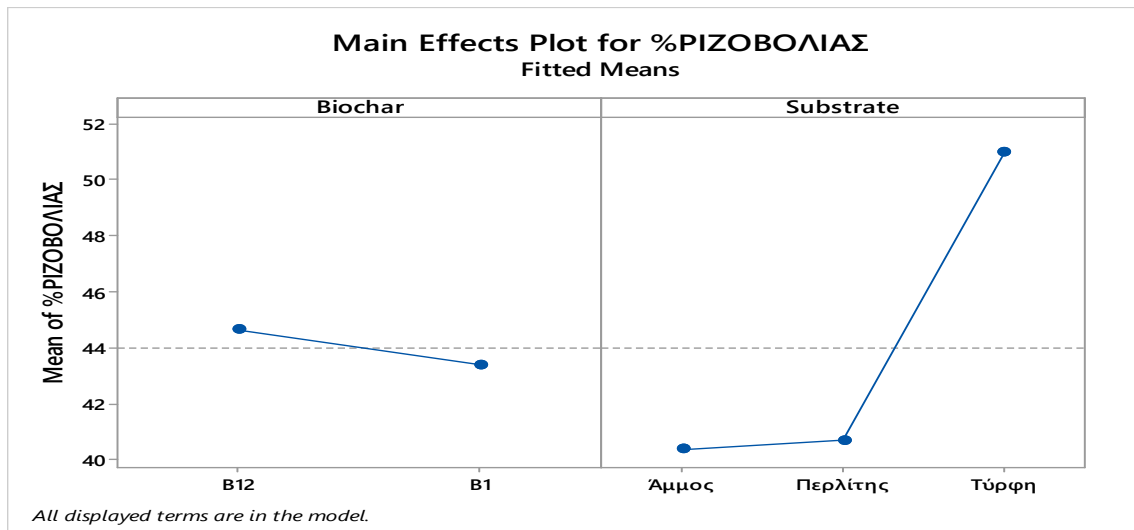
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Species	2	2973,4	1486,69	10,65	0,000
Biochar	1	20,9	20,90	0,15	0,702
Substrate	2	1308,3	654,17	4,69	0,018
Ratio	2	696,6	348,32	2,50	0,101
Species*Biochar	2	1571,5	785,74	5,63	0,009
Species*Substrate	4	2577,1	644,27	4,62	0,005

Species*Ratio	4	1219,4	304,85	2,18	0,097
Biochar*Substrate	2	155,1	77,53	0,56	0,580
Biochar*Ratio	2	194,1	97,06	0,70	0,507
Substrate*Ratio	4	664,6	166,15	1,19	0,337
Error	28	3908,1	139,58		
Total	53	15289,1			

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

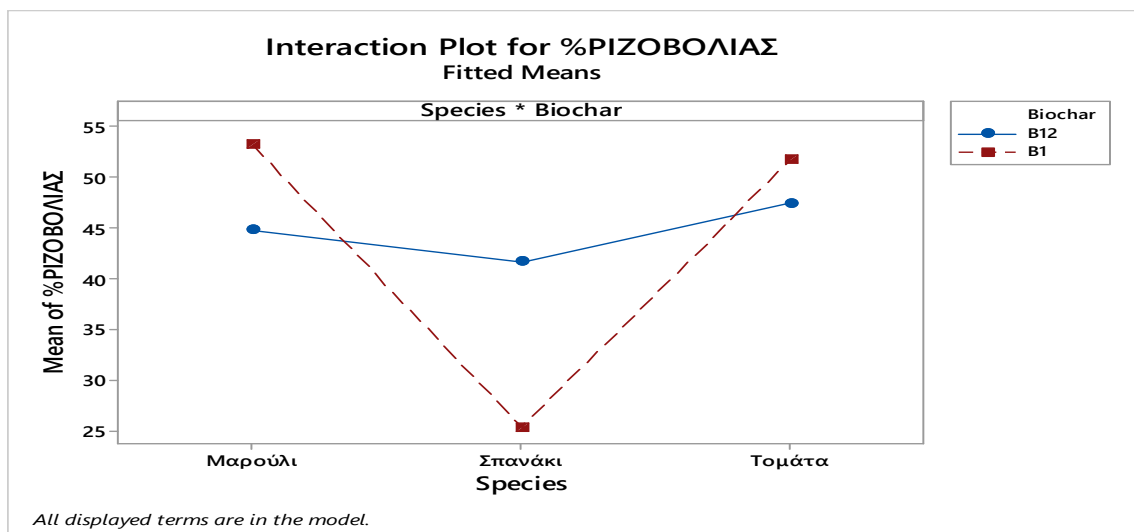
Obs	%ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ	Fit	Resid	Std Resid	
5	65,63	39,89	25,74	3,03	R
43	23,44	45,31	-21,88	-2,57	R
52	78,13	58,91	19,21	2,26	R

R Large residual



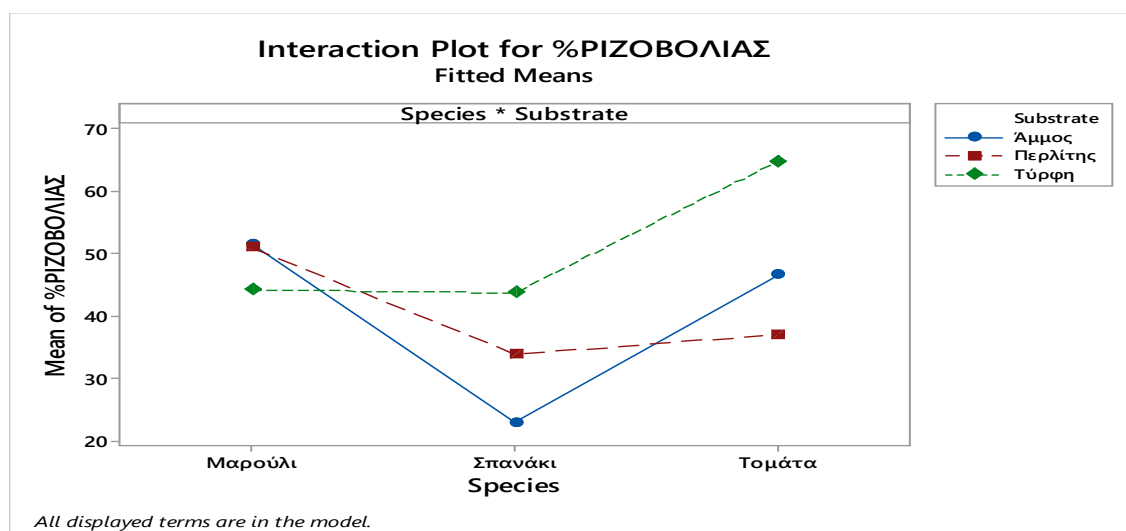
Σχήμα 43 Γραφική παράσταση κύριων αποτελεσμάτων για τη ριζοβολία

Στο Σχήμα 43 εμφανίζονται τα κύρια αποτελέσματα των μέσων της κάθε ομάδας. Από αυτό το γράφημα συμπεραίνεται ότι το βιοεξανθράκωμα B12 είχε καλύτερα αποτελέσματα από το B1 ενώ για το εμπορικό υπόστρωμα αναφορικά με τη ριζοβολία καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η χρήση της τύρφης.



Σχήμα 44 Γραφική παράσταση αλληλεπίδρασης συνδυασμού φυτικού είδους με βιοεξανθράκωμα

Στο Σχήμα 44 η γραφική παράσταση απεικονίζει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του φυτικού είδους και του βιοεξανθρακώματος. Το βιοεξανθράκωμα B1 στο σπανάκι δε φάνηκε να αποδίδει αναφορικά με τη ριζοβολία, αντίθετα στα φυτικά είδη τομάτα και μαρούλι λειτούργησε εξίσου καλά και τα αποτελέσματά του ήταν σε αυτά τα φυτικά είδη ψηλότερα από την απόδοση του B12. Το B12 λειτούργησε με παρόμοιο τρόπο για όλα τα φυτικά είδη.



Σχήμα 45 Γραφική παράσταση αλληλεπίδρασης συνδυασμού φυτικού είδους με εμπορικό υπόστρωμα

Το Σχήμα 45 αναπαριστά την αλληλεπίδραση του φυτικού είδους με το εμπορικό υπόστρωμα. Όπως παρουσιάζεται και στο γράφημα τα εμπορικά υποστρώματα λειτούργησαν με διαφορετικό τρόπο στη ριζοβολία. Τα καλύτερα αποτελέσματα για την τομάτα τα έδωσε η τύρφη, η οποία φάνηκε, επίσης, να επηρεάζει περισσότερο τη ριζοβολία για το σπανάκι. Στο μαρούλι ο περλίτης και η άμμος λειτούργησαν με παρόμοιο τρόπο και οριακά καλύτερα από την τύρφη.

Σύμφωνα με τον Justus Liebig τον 19^ο αιώνα, τα ανόργανα στοιχεία είναι απαραίτητα συστατικά των φυτών (1^{ος} νόμος της θρέψης των φυτών). Η καλλιέργεια με την πάροδο των χρόνων κάνει το έδαφος να εξασθενεί απομακρύνοντας από αυτό τα θρεπτικά συστατικά και η εξάντληση των στοιχείων και η μη αντικατάσταση τους προοδευτικά δημιουργεί ένα έδαφος άγονο και οδηγεί στην ελάττωση της απόδοσης της σοδειάς οπότε η λίπανση καθίσταται αναγκαία διαδικασία [104]-[105].

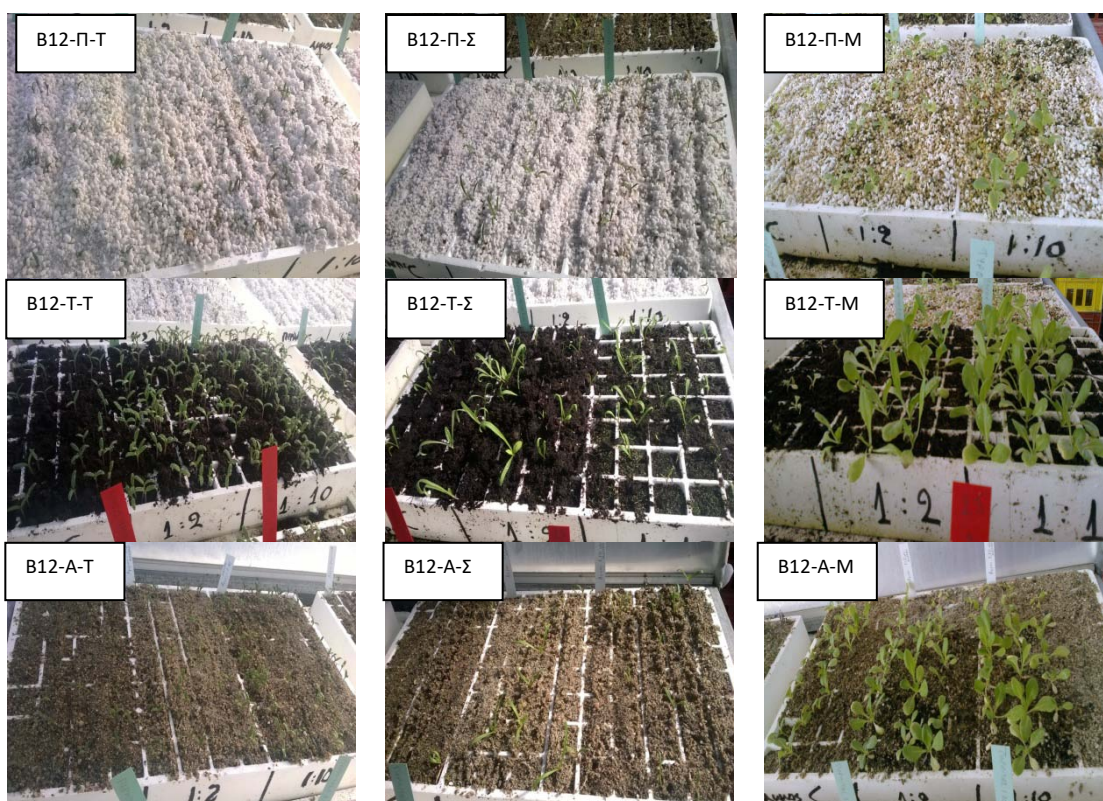
Αναλυτικότερα τα φυτά χρειάζονται για την ανάπτυξή τους C, O, H, N, P, K, S, Ca, Mg και Fe, τα οποία εκτός από τον άνθρακα (C), το οξυγόνο (O) και το υδρογόνο (H) προέρχονται από τα άλατα που βρίσκονται στο έδαφος.

Τα θρεπτικά συστατικά τα οποία τα χρειάζονται σε μεγάλες ποσότητες για να συνθέσουν το οργανικό υλικό ονομάζονται «μακροστοιχεία» και τα υπόλοιπα που τα χρειάζονται σε ελάχιστες ποσότητες και χρησιμεύουν ως καταλύτες στις διάφορες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στους ιστούς του φυτού χαρακτηρίζονται ως «ιχνοστοιχεία» (Πίνακας 18) [105]-[106].

Οπότε τα βιοεξανθράκωματα που μελετήθηκαν λόγω της σύστασης τους θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό του εδάφους. Σε αυτό συνηγορεί και η αξιολόγηση της ριζοβολίας, στην οποία επέδρασαν θετικά.

Ο Justus Liebig παράλληλα παρατήρησε ότι οι ανάγκες των φυτών σε ανόργανα στοιχεία είναι διαφορετικές από φυτό σε φυτό και με αυτό εξηγείται ότι η θετική επιρροή στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος δεν ήταν ίδια και για τα τρία φυτικά είδη. Συνεπώς, είναι χρήσιμο πριν από

οποιαδήποτε εφαρμογή να έχουν καθοριστεί επαρκώς η σύσταση του βιοεξανθρακώματος και να είναι γνωστές εκ των προτέρων οι ανάγκες της καλλιέργειας στην οποία θα γίνει η εφαρμογή.

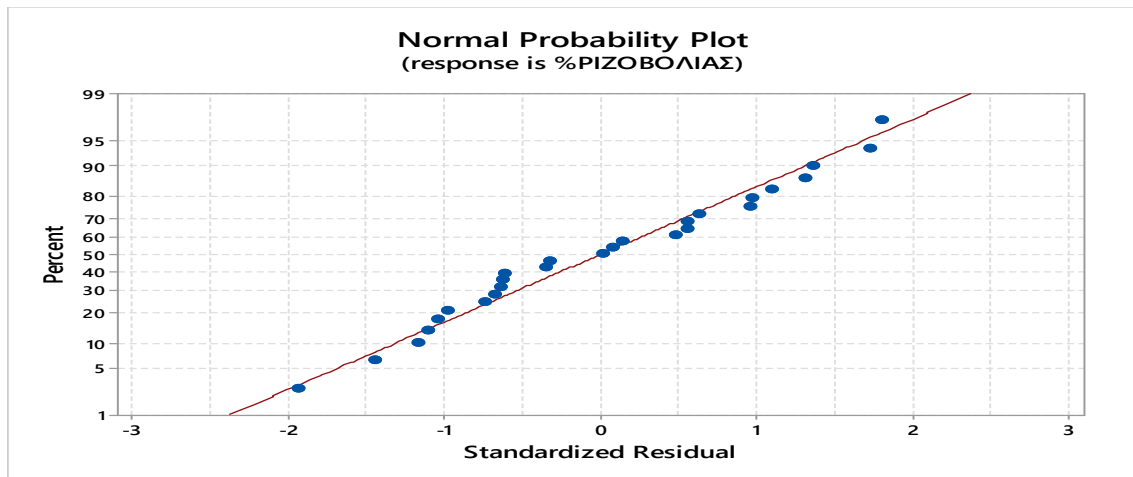


Σχήμα 46 Απεικόνιση πειραματικών σχεδίων βιοεξανθρακώματος B12 σε συνδυασμό με τα εδαφικά υπόστρωμα για όλα τα φυτικά είδη

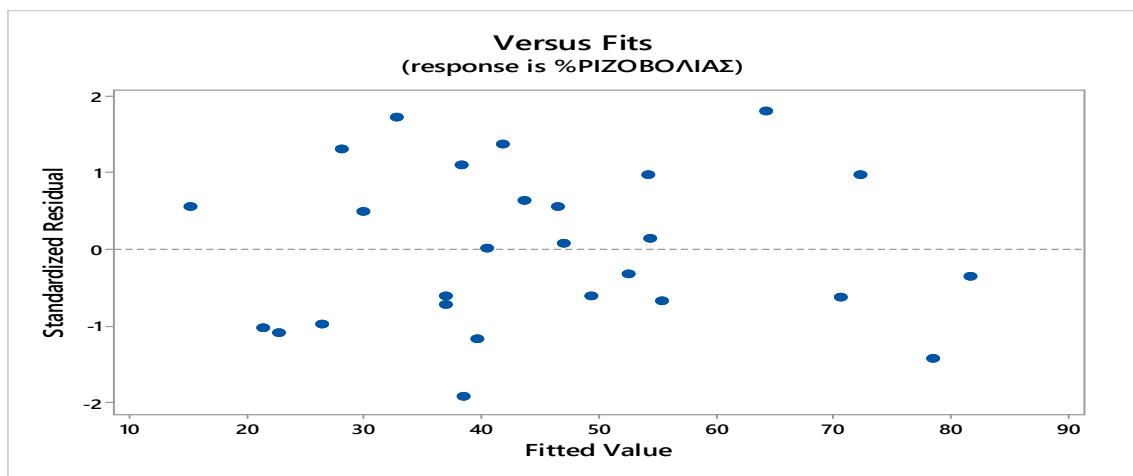
8.10.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12, B1, B0

Το πείραμα για την αξιολόγηση της επίδρασης των βιοεξανθρακωμάτων B12, B1, B0 στη ριζοβολία πραγματοποιήθηκε μόνο σε ένα είδος, την τομάτα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις της ριζοβολίας των στελεχών στα βιοεξανθρακώματα που μελετήθηκαν.

Τα αποτελέσματα της ριζοβολίας για την αξιολόγηση της επίδρασης των βιοεξανθρακωμάτων στη τομάτα, έδειξαν ότι δεν υπήρξε στατιστική διαφορά στον παράγοντα βιοεξανθράκωμα. Η στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε μόνο στον παράγοντα εδαφικό υπόστρωμα με $p=0,029$, για αυτό η στατιστική διερεύνηση που ακολούθησε έγινε μόνο σύμφωνα με το εμπορικό υπόστρωμα.



Σχήμα 47 Έλεγχος κανονικότητας δειγμάτων τομάτας για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 & B0



Σχήμα 48 Έλεγχος διασποράς των υπολειμμάτων για τις μετρήσεις ριζοβολίας τομάτας για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 & B0

General Linear Model: %ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ versus Biochar; Substrate; Ratio

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Box-Cox transformation

Rounded λ 1

Estimated λ 1,2345

95% CI for λ (0,514004; 1,97500)

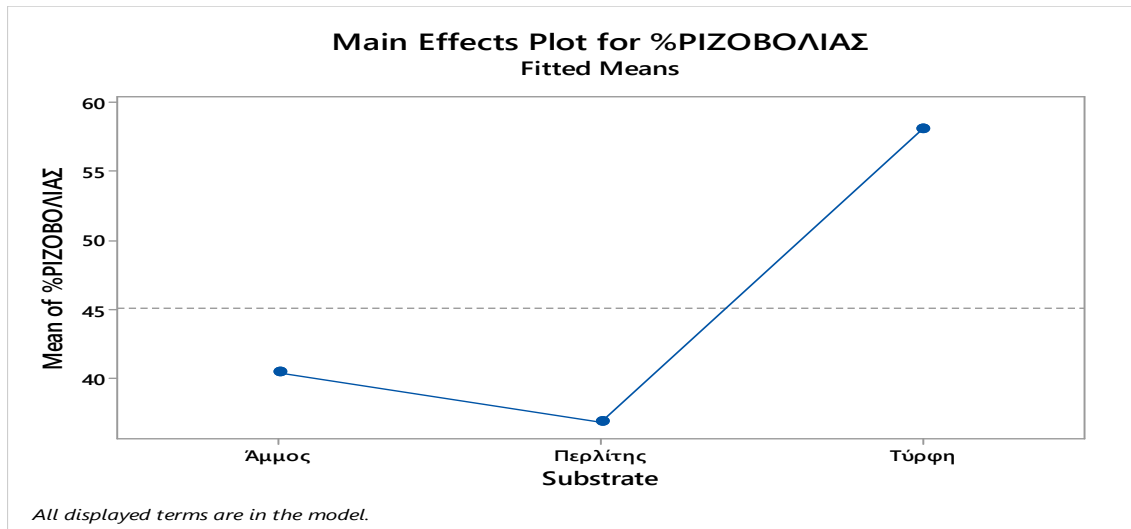
Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	3	B12; B0; B1
Substrate	Fixed	3	Άμμος; Περγλίτης; Τύρφη
Ratio	Fixed	3	0; 1:10; 1:2

Analysis of Variance

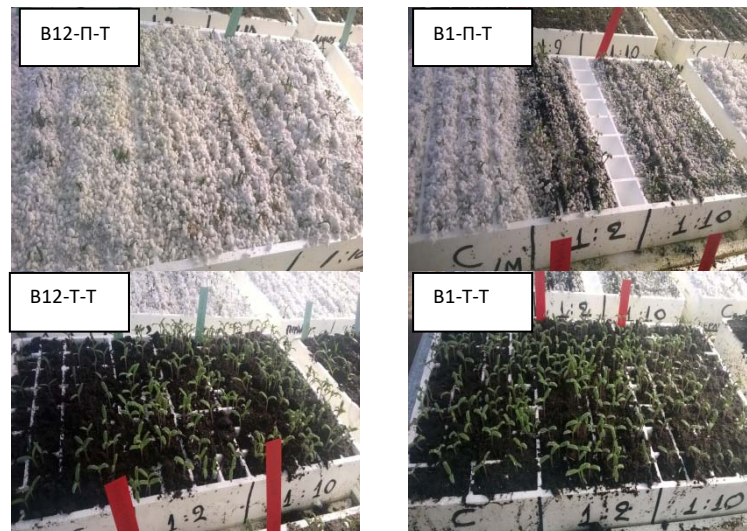
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	2	1119,1	559,56	2,75	0,123
Substrate	2	2315,4	1157,70	5,69	0,029
Ratio	2	118,1	59,07	0,29	0,756
Biochar*Substrate	4	1137,4	284,36	1,40	0,318

Biochar*Ratio	4	2787,8	696,95	3,43	0,065
Substrate*Ratio	4	340,7	85,18	0,42	0,791
Error	8	1627,6	203,45		
Total	26	9446,2			



Σχήμα 49 Γραφική παράσταση κύριων αποτελεσμάτων για την επίδραση του εδαφικού υποστρώματος στην ανάπτυξη ριζικού συστήματος της τομάτας για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 & B0

Από το γράφημα του Σχήματος 49 στο οποίο παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα των μέσων της κάθε μεταχείρισης γίνεται φανερό ότι μεταξύ των εδαφικών υποστρωμάτων ο περγλίτης δεν συμβάλει στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος της τομάτας ενώ η τύρφη εμφανίζει την θετικότερη επίδραση προφανώς γιατί η τομάτα ως είδος προτιμά εδάφη με πολύ οργανικό υπόβαθρο.



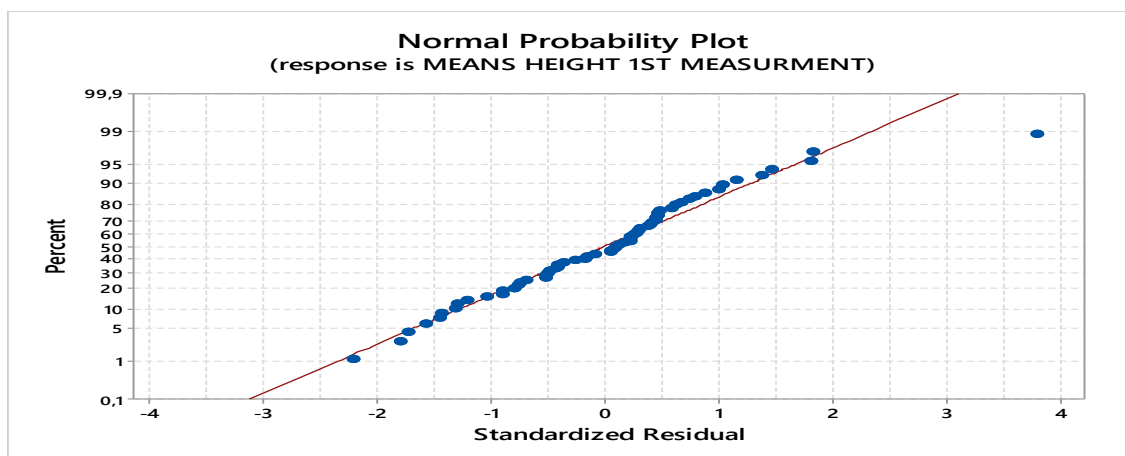
Σχήμα 50 Απεικόνιση πειραματικών τεμαχίων περγλίτη και τύρφης σε συνδυασμό με τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 για την τομάτα

8.11 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

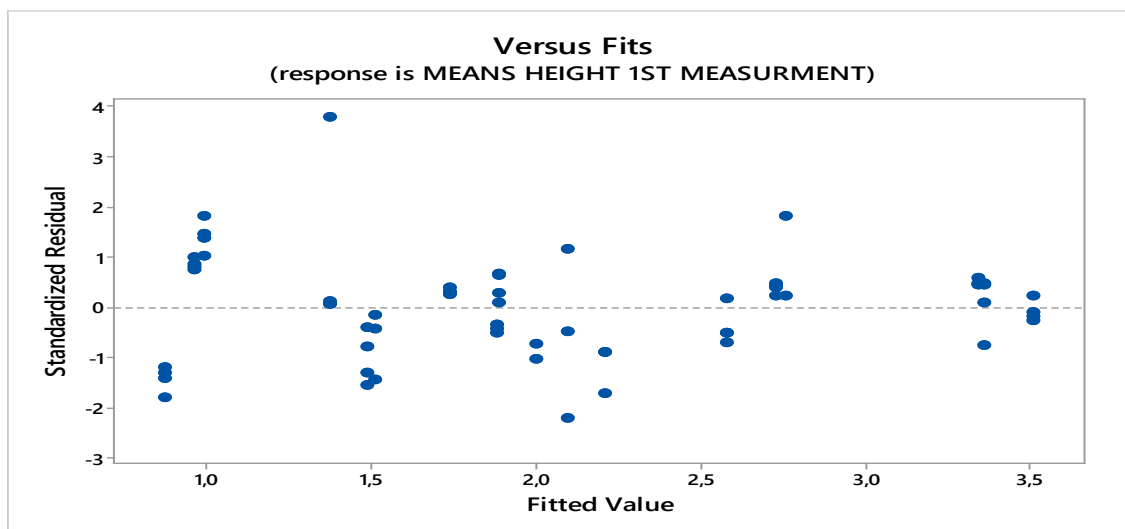
Στην ανάλυση διακύμανσης τριών παραγόντων για την παρακολούθηση της ανάπτυξης, ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για κάθε φυτικό είδος ξεχωριστά.

8.11.1 ΦΥΤΙΚΟ ΕΙΔΟΣ ΣΠΑΝΑΚΙ

Τα αποτελέσματα για την ανάπτυξη στο είδος σπανάκι έδειξαν ότι υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλους τους παράγοντες αφού το p value ήταν για όλους <0,05.



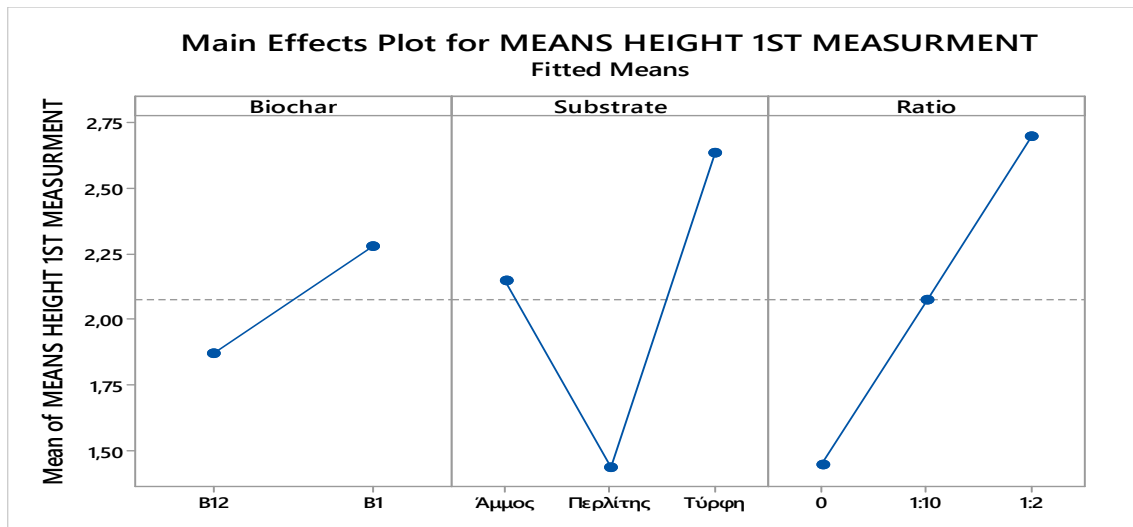
Σχήμα 51 Έλεγχος κανονικότητας μετρήσεων ανάπτυξης για το σπανάκι



Σχήμα 52 Έλεγχος διασποράς των υπολειμμάτων για τις μετρήσεις ανάπτυξης για το σπανάκι

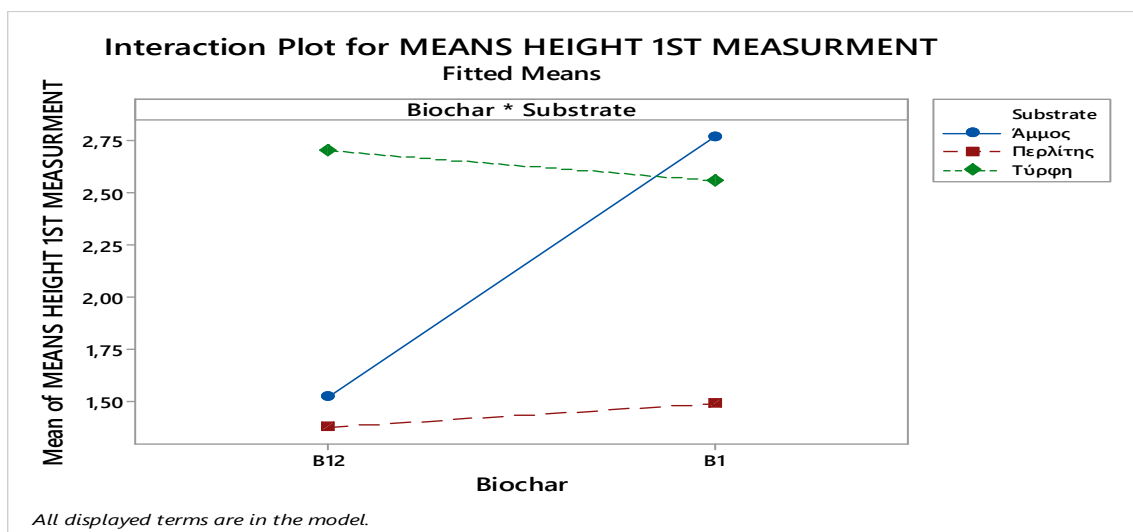
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	1	2,5166	2,51661	60,73	0,000
Substrate	2	15,9319	7,96593	192,23	0,000
Ratio	2	16,1753	8,08765	195,16	0,000
Biochar*Substrate	2	5,2371	2,61856	63,19	0,000
Substrate*Ratio	4	0,7596	0,18989	4,58	0,003
Error	51	2,1135	0,04144		
Lack-of-Fit	6	1,3801	0,23002	14,11	0,000
Pure Error	45	0,7333	0,01630		
Total	62	45,7865			



Σχήμα 53 Γραφική παράσταση κύριων αποτελεσμάτων για την ανάπτυξη για το είδος σπανάκι

Στο Σχήμα 53 παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα των μέσων της κάθε μεταχείρισης. Στο γράφημα περιγράφεται ως πιο αποδοτικός στην ανάπτυξη του σπανακιού ο συνδυασμός του βιοεξανθρακώματος B1 με την τύρφη σε αναλογία 1:2.

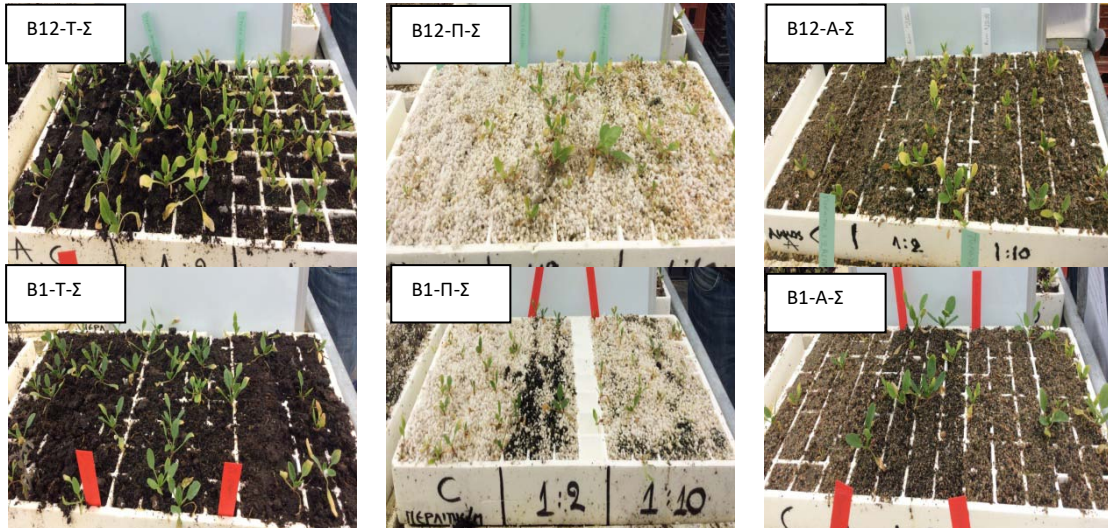


Σχήμα 54 Γραφική παράσταση αλληλεπίδρασης συνδυασμού φυτικού είδους με βιοεξανθρακώμα

Στη γραφική παράσταση του Σχήμα 54 απεικονίζονται οι αλληλεπιδράσεις του συνδυασμού βιοεξανθρακώματος και εμπορικού υποστρώματος αναφορικά με το φυτικό είδος σπανάκι. Στην άμμο η προσθήκη βιοεξανθρακώματος B1 έχει σημαντικά μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη σε σχέση με την προσθήκη του B12. Στον περιλίτη η προσθήκη του B1 εξασφαλίζει οριακά καλύτερη ανάπτυξη στο σπανάκι, ενώ αντίθετα στην τύρφη η προσθήκη βιοεξανθρακώματος B1 είχε ως αποτέλεσμα λίγο χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης στα φυτά.

Η χρήση του βιοεξανθρακώματος ως εδαφοβελτιωτικό μπορεί να συμβάλει στην αύξηση ή μείωση του pH ανάλογα με τον τύπο και την εφαρμοζόμενη δόση βιοεξανθρακώματος (Lehmann et al, 2015) [94]. Το σπανάκι σαν είδος ευδοκιμεί σε εδάφη με pH= 6-7 μονάδες. Το B1 από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν είχε ουδέτερο pH. Το B12 όμως ήταν αλκαλικό, οπότε η προσθήκη του στο έδαφος διαφοροποίησε το pH. Το υψηλό pH δημιουργεί μη

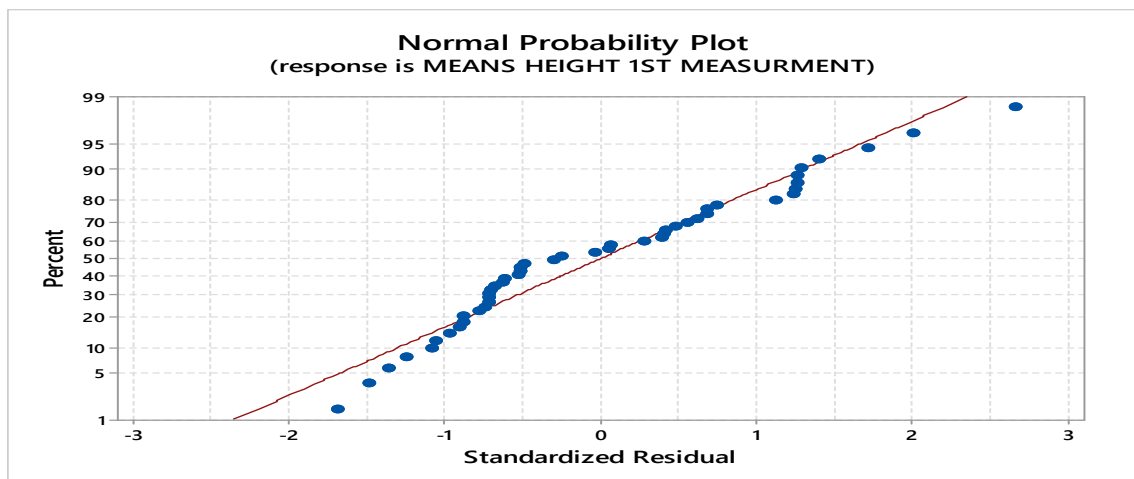
αφομοιώσιμες μορφές στα ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος και το μαγγάνιο οπότε παρά το ότι το B12 είχε περισσότερο αφομοιώσιμα στοιχεία ήταν χαμηλή η προσφορά του στο σπανάκι. Επίσης το B12 επειδή διέθετε μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια είναι πιθανό να κρατούσε περισσότερη υγρασία στο έδαφος και το σπανάκι χρειάζεται καλή αποστράγγιση. Συνεπώς για αυτό και τα καλύτερα αποτελέσματα τα είχε το B1 [107].



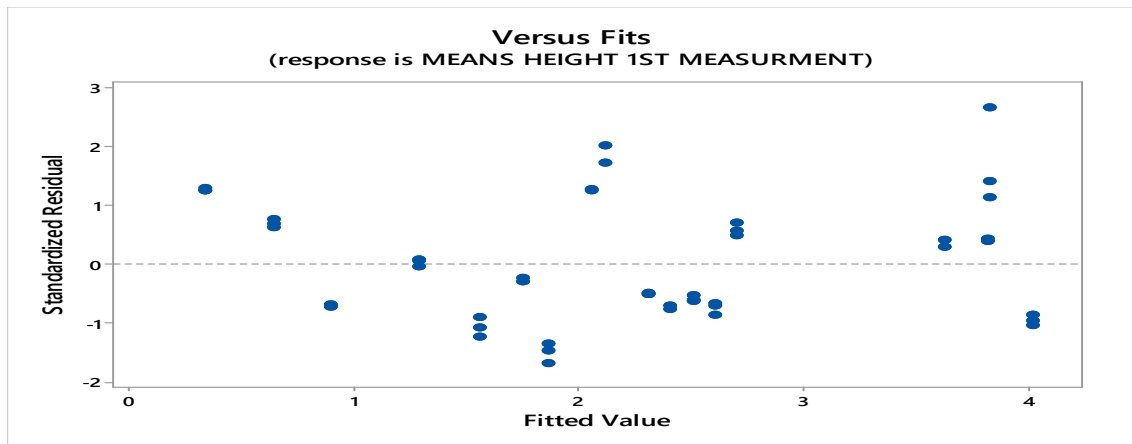
Σχήμα 55 Απεικόνιση πειραματικών τεμαχίων σε συνδυασμό όλων των εδαφικών υποστρωμάτων με τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 για το σπανάκι

8.11.2 ΦΥΤΙΚΟ ΕΙΔΟΣ ΜΑΡΟΥΛΙ

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ανάπτυξη για το μαρούλι έδειξαν ότι υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλους τους παράγοντες.



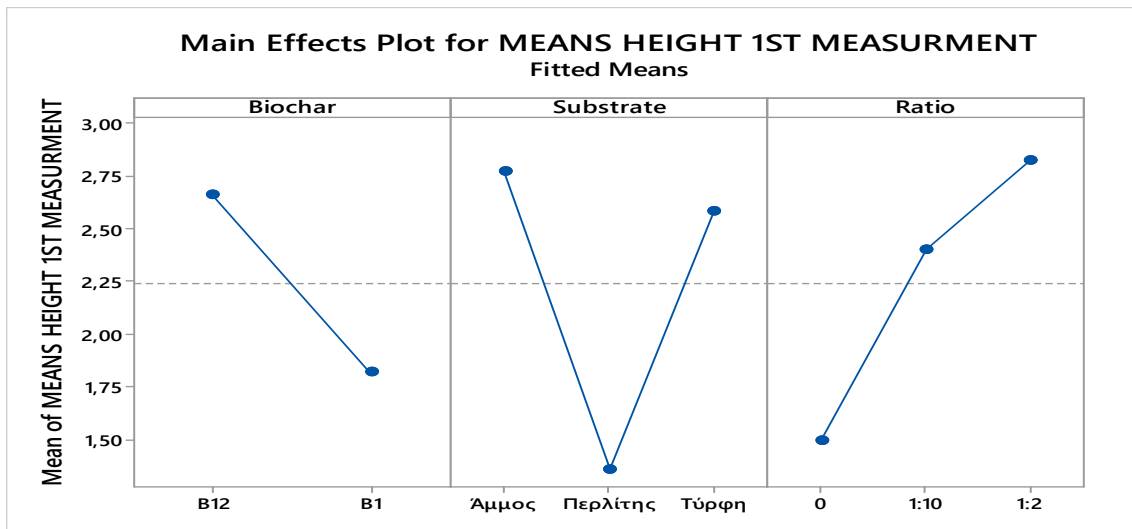
Σχήμα 56 Έλεγχος κανονικότητας μετρήσεων ανάπτυξης για το μαρούλι



Σχήμα 57 Έλεγχος διασποράς των υπολειμμάτων για τις μετρήσεις ανάπτυξης για το μαρούλι

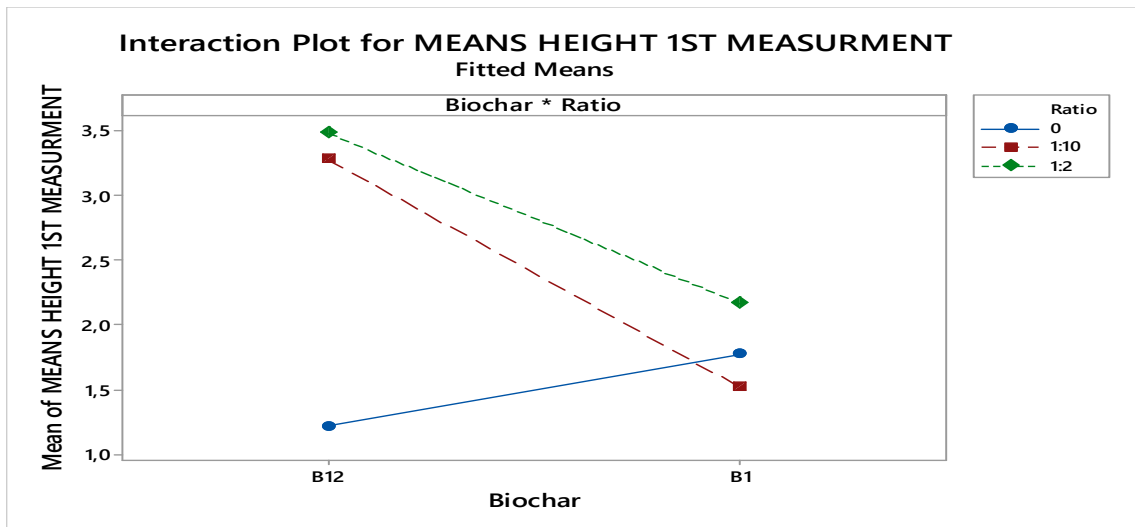
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	1	8,3194	8,31935	25,17	0,000
Substrate	2	19,1522	9,57609	28,97	0,000
Ratio	2	15,3957	7,69787	23,29	0,000
Biochar*Ratio	2	11,6136	5,80678	17,57	0,000
Error	40	13,2213	0,33053		
Lack-of-Fit	10	12,7723	1,27723	85,33	0,000
Pure Error	30	0,4490	0,01497		
Total	47	69,2878			



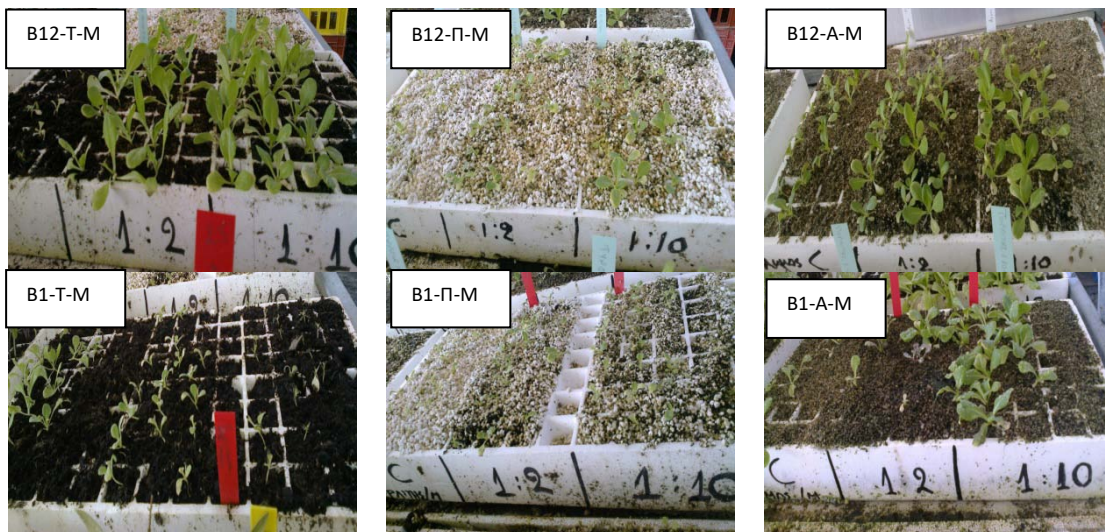
Σχήμα 58 Γραφική παράσταση κύριων αποτελεσμάτων για την ανάπτυξη για το είδος μαρούλι

Στο Σχήμα 58 παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα των μέσων της κάθε μεταχείρισης. Από το γράφημα προκύπτει πιο αποδοτική στην ανάπτυξη του μαρουλιού η προσθήκη βιοεξανθρακώματος B12 στην άμμο σε αναλογία 1:2.



Σχήμα 59 Γραφική παράσταση αλληλεπίδρασης συνδυασμού βιοεξανθρακώματος και αναλογίας για την ανάπτυξη του μαρούλιού

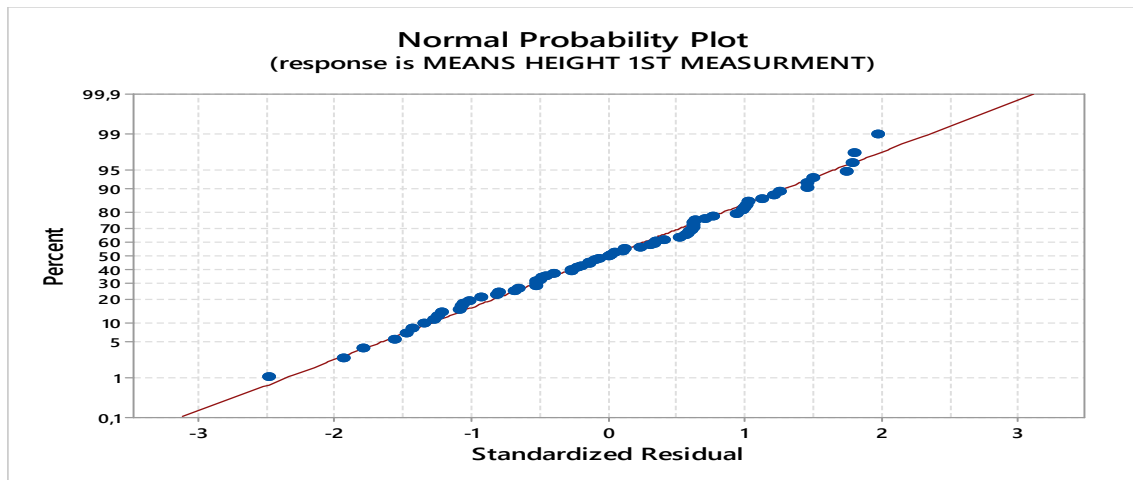
Στη γραφική παράσταση του Σχήματος 59 απεικονίζονται οι αλληλεπιδράσεις του συνδυασμού βιοεξανθρακώματος και αναλογίας αναφορικά με την ανάπτυξη για το μαρούλι. Από αυτή τη γραφική παράσταση επιβεβαιώνεται ότι και πάλι καταλληλότερο βιοεξανθράκωμα είναι το B12 το οποίο επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη στο συγκεκριμένο φυτικό είδος σε αναλογίες 1:2.



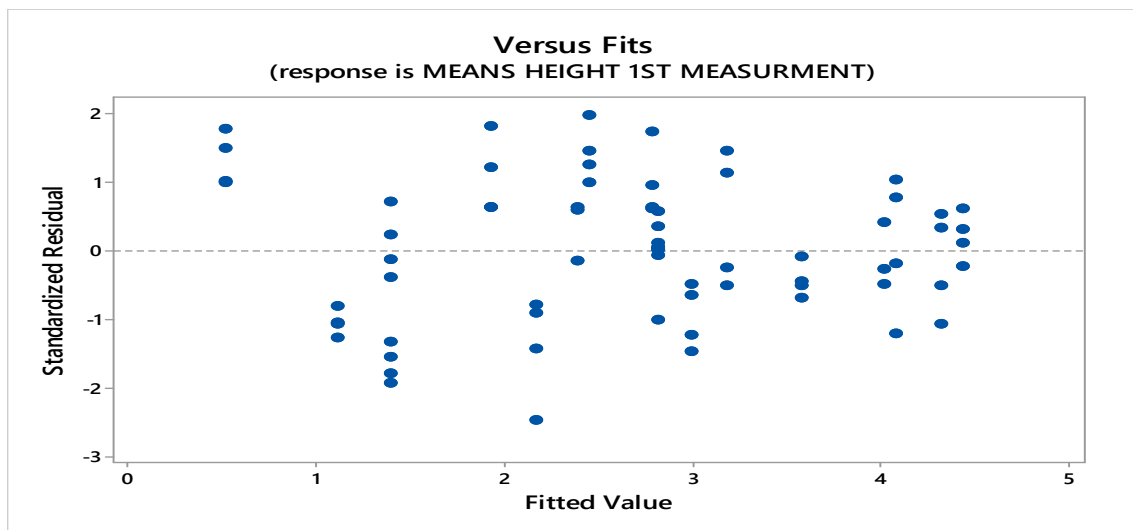
Σχήμα 60 Απεικόνιση πειραματικών τεμαχίων σε συνδυασμό όλων των εδαφικών υποστρωμάτων με τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 για το μαρούλι

8.11.3 ΦΥΤΙΚΟ ΕΙΔΟΣ ΤΟΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ανάπτυξης στο πείραμα της τομάτας έδειξαν ότι υπήρξαν, όμοια με τα αλλά δυο φυτικά είδη, στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλους τους παράγοντες.



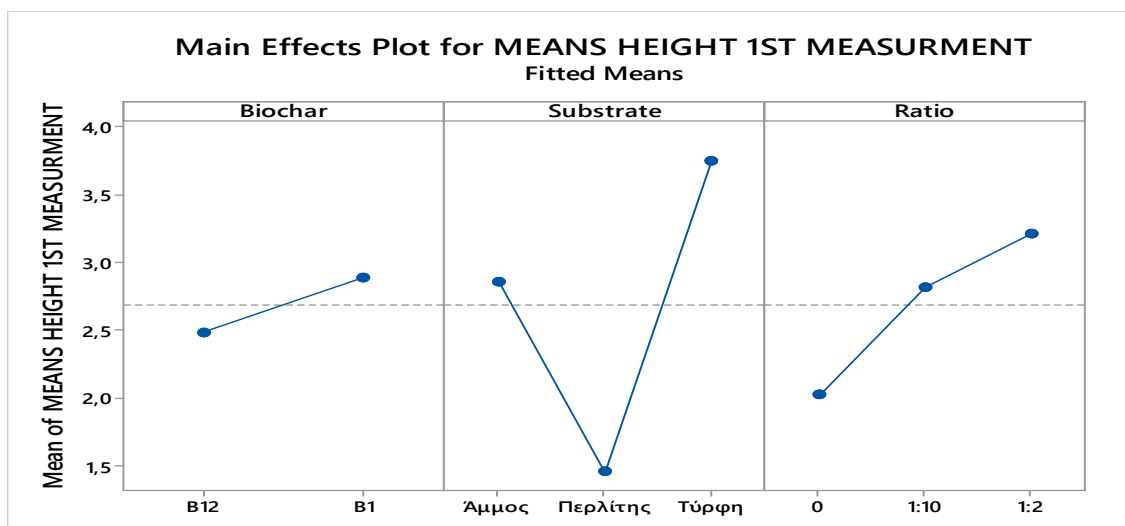
Σχήμα 61 Έλεγχος κανονικότητας μετρήσεων ανάπτυξης για την τομάτα για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1



Σχήμα 62 Έλεγχος διασποράς των υπολειμμάτων για τις μετρήσεις ανάπτυξης της τομάτας για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1

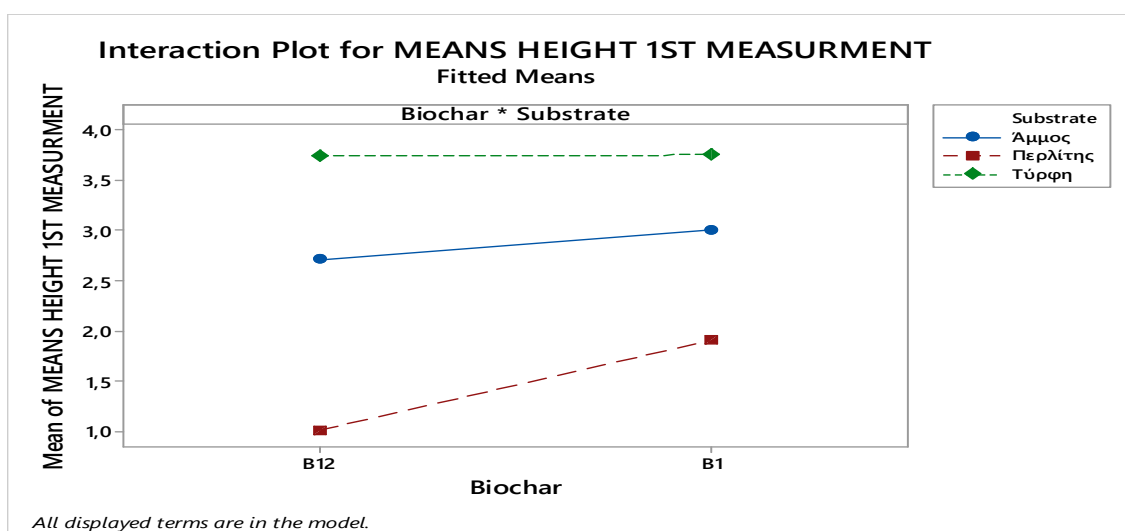
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	1	2,8112	2,8112	619,56	0,000
Substrate	2	60,7608	30,3804	6695,56	0,000
Ratio	2	17,2163	8,6081	1897,16	0,000
Biochar*Substrate	2	2,3378	1,1689	257,61	0,000
Biochar*Ratio	2	0,0949	0,0475	10,46	0,000
Substrate*Ratio	4	1,3431	0,3358	74,00	0,000
Error	56	0,2541	0,0045		
Lack-of-Fit	4	0,1791	0,0448	31,02	0,000
Pure Error	52	0,0750	0,0014		
Total	69	86,7358			



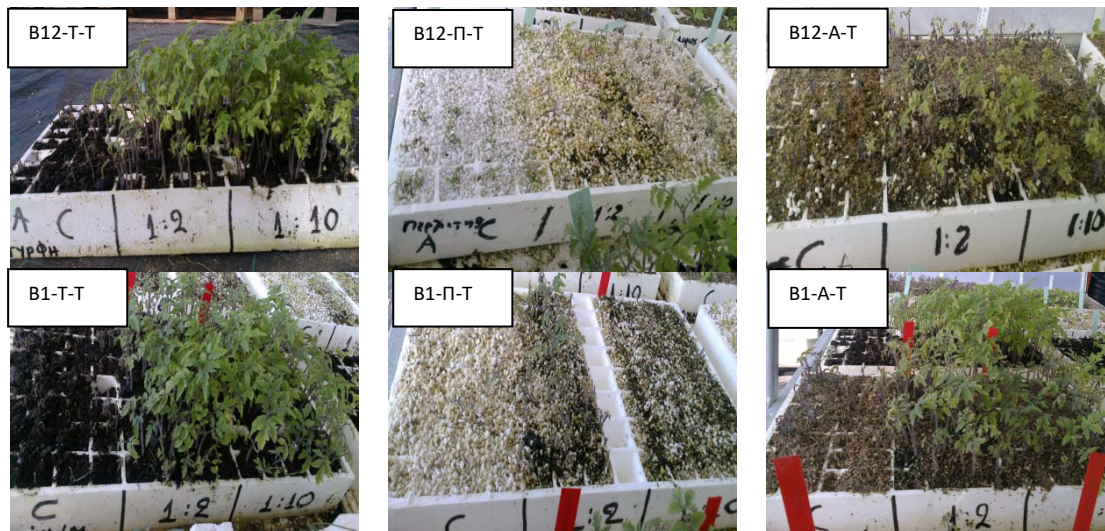
Σχήμα 63 Γραφική παράσταση κύριων αποτελεσμάτων για την ανάπτυξη της τομάτας για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1

Στο Σχήμα 63 παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα των μέσων της κάθε μεταχείρισης. Από το γράφημα προκύπτει πιο αποδοτικότερη στη βελτίωση του ρυθμού ανάπτυξης της τομάτας με μικρή διαφορά η προσθήκη βιοεξανθρακώματος B1 έναντι του B12, ως καταλληλότερο εμπορικό υπόστρωμα καταδεικνύεται η τύρφη και οριακά επικρατέστερη αναλογία η 1:2.



Σχήμα 64 Γραφική παράσταση αλληλεπίδρασης συνδυασμού βιοεξανθρακώματος με εμπορικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη της τομάτας για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1

Στη γραφική παράσταση του Σχήμα 64 απεικονίζονται οι αλληλεπιδράσεις του συνδυασμού βιοεξανθρακώματος και εμπορικού υποστρώματος αναφορικά με την επίδραση τους στην ανάπτυξη της τομάτας. Γενικά η προσθήκη βιοεξανθρακώματος B1 στο εμπορικό υπόστρωμα δημιουργεί καλύτερη συνθήκη για την ανάπτυξη των στελεχών της τομάτας με καλύτερο συνδυασμό αυτόν της τύρφης και της άμμου και πολύ λιγότερο του περγλίτη. Παράλληλα και το B12 φαίνεται να λειτουργεί όμοια με το B1 όταν συνδυάζεται με την τύρφη και την άμμο αλλά με τον περγλίτη δεν παρουσιάζει παρόμοια δράση.



Σχήμα 65 Απεικόνιση πειραματικών τεμαχίων σε συνδυασμό όλων των εδαφικών υποστρωμάτων με τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 για την τομάτα

Tukey Pairwise Comparisons: Response = MEANS HEIGHT 1ST MEASUREMENT, Term = Biochar*Substrate

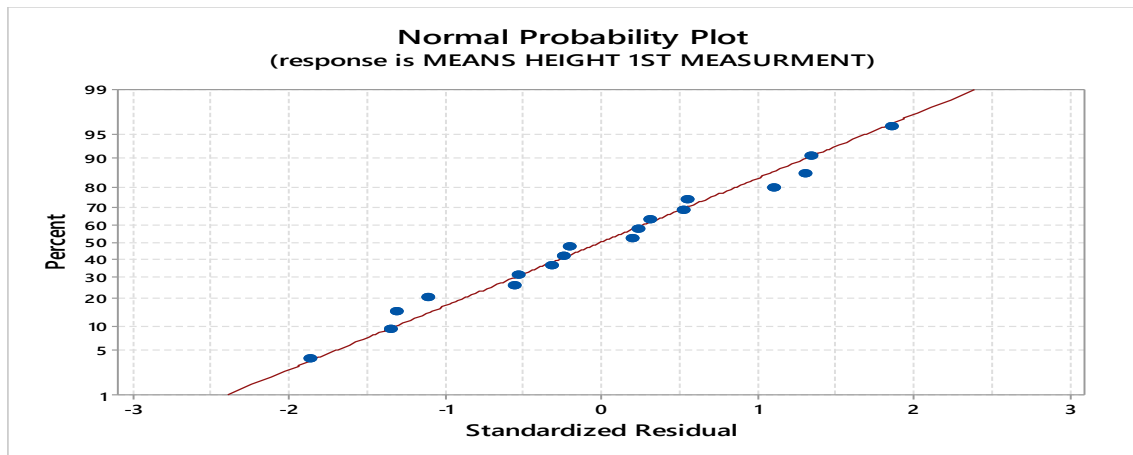
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Biochar*Substrate	N	Mean	Grouping
B1 Τύρφη	11	3,74939	A
B12 Τύρφη	12	3,73572	A
B1 Άμμος	12	3,00181	B
B12 Άμμος	12	2,70878	C
B1 Περλίτης	11	1,90316	D
B12 Περλίτης	12	1,00434	E

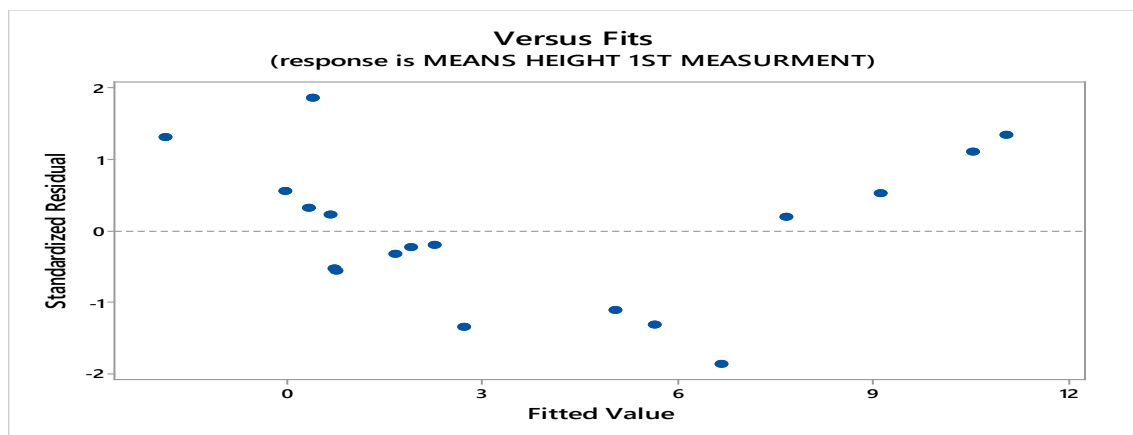
Means that do not share a letter are significantly different.

8.11.3.1 ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗ ΕΙΔΟΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΣΤΕΛΕΧΩΝ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Τα αποτελέσματα αξιολόγησης του ποσοστού επιβίωσης των στελεχών της τομάτας μετά από τη μεταφορά τους σε μεγαλύτερα σποροδοχεία, έδειξαν $p\text{-Value} > 0,05$, συνεπώς δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των εξεταζόμενων παραγόντων και των συνδυασμών τους. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της επίδρασης των βιοεξανθρακωμάτων στην ανάπτυξη των φυτών που είχαν υποστεί μεταφύτευση, η στατιστική ανάλυση της διακύμανσης των τριών παραγόντων κατέδειξε ως στατιστικά σημαντική τη διαφορά του συνδυασμού του βιοεξανθρακώματος – εδαφικού υποστρώματος με $p=0,041$. Ωστόσο επειδή δεν ήταν στατιστικά σημαντική η διαφορά που προέκυψε μεμονωμένα για τον κάθε παράγοντα που περιελάμβανε ο συνδυασμός κρίθηκε σκόπιμο να μην διερευνηθεί περαιτέρω η επίδραση του συνδυασμού.



Σχήμα 66 Έλεγχος κανονικότητας μετρήσεων ανάπτυξης επιβιώντων στελεχών τομάτας από μεταφύτευση



Σχήμα 67 Έλεγχος διασποράς των υπολειμμάτων των μετρήσεων ανάπτυξης επιβιώντων στελεχών τομάτας από μεταφύτευση

General Linear Model: % ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ versus Biochar; Substrate; Ratio

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	2	B12; B1
Substrate	Fixed	3	Άμμος; Περλίτης; Τύρφη
Ratio	Fixed	3	0; 1:10; 1:2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	1	200,0	200,00	0,19	0,683
Substrate	2	3733,3	1866,67	1,81	0,276
Ratio	2	1733,3	866,67	0,84	0,496
Biochar*Substrate	2	6933,3	3466,67	3,35	0,139
Biochar*Ratio	2	133,3	66,67	0,06	0,938
Substrate*Ratio	4	1733,3	433,33	0,42	0,790
Error	4	4133,3	1033,33		
Total	17	18600,0			

General Linear Model: MEANS HEIGHT 1ST MEASUREMENT versus Biochar; Substrate; Ratio

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Biochar	Fixed	2	B12; B1
Substrate	Fixed	3	Άμμος; Περλίτης; Τύρφη
Ratio	Fixed	3	0; 1:10; 1:2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Biochar	1	2,283	2,283	0,25	0,642
Substrate	2	67,766	33,883	3,74	0,121
Ratio	2	34,375	17,188	1,90	0,263
Biochar*Substrate	2	142,514	71,257	7,87	0,041
Biochar*Ratio	2	4,345	2,173	0,24	0,797
Substrate*Ratio	4	12,651	3,163	0,35	0,834
Error	4	36,233	9,058		
Total	17	300,166			

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα εξεταζόμενα βιοεξανθρακώματα σε τιμή pH₀ παρουσιάζουν αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια σωματιδίων οπότε σαν βελτιωτικά του εδάφους συγκρατούν τα ιχνοστοιχεία που ωφελούν την ανάπτυξη των φυτών, δημιουργώντας μια ευνοϊκή συνθήκη για τη θρέψη τους αλλά και για την προσρόφηση διαφόρων ρυπαντών από το έδαφος.

Το βιοεξανθράκωμα Β0 λόγω της υψηλής ιοντοανταλλακτικής ικανότητας που εμφάνισε έναντι των άλλων δυο θεωρήθηκε το πιο κατάλληλο για τον εμπλουτισμό του εδάφους και τη θρέψη των φυτών. Ωστόσο αυτό δεν επιβεβαιώθηκε από τη στατιστική ανάλυση στο πείραμα της ριζοβολίας της τομάτας.

Η μέτρηση της ειδικής επιφάνειας κατέδειξε καλύτερο προσροφητικό υλικό το Β12, ωστόσο σε σύγκριση με αποτελέσματα άλλων μελετών, τα βιοεξανθρακώματα φυτικής προέλευσης υπερτερούν με μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια. Από τις απεικονίσεις της επιφάνειας των βιοεξανθρακωμάτων αποδείχτηκε ότι πρόκειται για μη πορώδη υλικά με σχετικά συμπαγή δομή. Μόνο στο Β12 απεικονίστηκαν περισσότεροι πόροι, γεγονός που επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αναφέρονται στην ειδική επιφάνεια και το πορώδες. Από τα πειράματα των προσροφήσεων, τα πιο αξιόλογα αποτελέσματα τα είχε το Β12 στην προσρόφηση του μπλε του μεθυλενίου.

Οι υψηλές θερμοκρασίες πυρόλυσης στις οποίες δημιουργήθηκαν τα εξεταζόμενα βιοεξανθρακώματα ήταν αιτία να χαλαρώσει το κρυσταλλικό πλέγμα και τα Β1 και Β12 παρουσιάστηκαν ως άμορφα [108].

Το βιοεξανθράκωμα Β1 έχει την πιο υψηλή συγκέντρωση σε ποσοστό κατά βάρος αζώτου (N), άνθρακα (C), υδρογόνου (H) και θείου (S). Επίσης, παρατηρήθηκε ότι τα συγκεκριμένα

βιοεξανθρακώματα παρουσίασαν χαμηλή περιεκτικότητά σε άνθρακα ενώ σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα αντίστοιχα γεωργικών υπολειμμάτων υπερτερούν κατά πολύ, οπότε είναι πιο ποιοτικά.

Τη μεγαλύτερη συγκέντρωση των αφομοιούμενων ιχνοστοιχείων την εμφάνισε το B12 και ακολούθως το B1, συνεπώς η προσθήκη των συγκεκριμένων βιοεξανθρακωμάτων θεωρήθηκε ευεργετική για την ανάπτυξη των φυτών και τον εμπλουτισμό του εδάφους με θρεπτικά.

Οι ανάγκες των φυτών σε ανόργανα στοιχεία διαφέρουν ανάλογα με το φυτικό είδος και έτσι εξηγείται ότι η θετική επιρροή στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος δεν ήταν ίδια και για τα τρία φυτικά είδη.

Στον έλεγχο επίδρασης του συνδυασμού βιοεξανθρακώματος εδαφικού υποστρώματος στη ριζοβολία, το B12 είχε καλύτερα αποτελέσματα από το B1 ενώ για το εμπορικό υπόστρωμα τα καλύτερα αποτελέσματα τα έδωσε η χρήση της τύρφης. Η τύρφη διαθέτει σπογγώδη και ινώδη σύσταση επομένως δίνει καλύτερο ισοζύγιο μεταξύ αέρα και νερού δημιουργώντας κατάλληλο περιβάλλον υγρασίας γύρω από τη ρίζα του φυτού, που είναι ευεργετικό κατά τις πρώτες εβδομάδες ανάπτυξης.

Στην αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του φυτικού είδους και του βιοεξανθρακώματος, το B12 λειτούργησε με παρόμοιο τρόπο για όλα τα φυτικά είδη ενώ το B1 δε φάνηκε να αποδίδει αναφορικά με τη ριζοβολία στο σπανάκι.

Τα βιοεξανθρακώματα που μελετήθηκαν λόγω της σύστασης τους θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό του εδάφους και όπως αποδείχτηκε και από την αξιολόγηση της ριζοβολίας, επέδρασαν θετικά.

Αναφορικά με την απόδοση ανάπτυξης των φυτικών ειδών στο σπανάκι και την τομάτα αποδοτικότερος συνδυασμός αποδείχτηκε η χρήση βιοεξανθρακώματος B1 με την τύρφη σε αναλογία 1:2. Ενώ για το μαρούλι λειτούργησε ο συνδυασμός βιοεξανθρακώματος B12 με την άμμο σε αναλογία 1:2. Καθώς φάνηκε η προσθήκη βιοεξανθρακώματος στο έδαφος πιθανότατα να διαφοροποίησε το pH δημιουργώντας μη αφομοιώσιμες μορφές στα ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος και το μαγγάνιο οπότε παρά το ότι το B12 είχε περισσότερο αφομοιώσιμα στοιχεία ήταν χαμηλή η απόδοση του στην ανάπτυξη.

10 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στη συγκεκριμένη έρευνα το βιοεξανθράκωμα ήταν από κλιβάνους εγκατεστημένους σε βιομηχανίες και παραχωρήθηκε έτοιμο προς διερεύνηση. Από τη στοιχειακή του ανάλυση αποδείχτηκε πως ήταν αμφίβολο αν πραγματικά η πυρόλυση έγινε απουσία οξυγόνου δεδομένης της ανύπαρκτης ποσότητας άνθρακα όπως προσδιορίστηκε εργαστηριακά. Είναι πιθανό αντί για πυρόλυση η βιομάζα να είχε υποστεί καύση, με ότι αυτό συνεπάγεται για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της έρευνας αφού αντί για βιοεξανθράκωμα είναι πιθανό να μελετήθηκε τέφρα. Έτσι προτείνεται να επαναληφθεί η μελέτη με βιοεξανθράκωμα που θα παραχθεί εργαστηριακά και όχι σε βιομηχανική κλίμακα για να είναι πλήρως ελεγχόμενες οι συνθήκες πυρόλυσης της βιομάζας. Με αυτό τον τρόπο θα εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα αναφορικά με τη δομή, τη σύσταση και τις ιδιότητες που μπορεί να αναπτύξουν τα ζωικής προέλευσης βιοεξανθρακώματα. Θα ήταν καλό να μελετηθεί παραγωγή τους ενδεχομένως και σε ένα χαμηλότερο εύρος θερμοκρασίας 350 - 500 °C ώστε να μη «χαθεί» σημαντικό μέρος από τα θρεπτικά συστατικά τους για τα φυτά. Οπότε θα μπορέσει ίσως να προταθεί μια λιγότερο ενεργοβόρα λειτουργία για τους πυρολυτικούς κλιβάνους που είναι εγκατεστημένοι σε σφαγεία και βυρσοδεψεία και να υπάρξει

διπλό όφελος: αφενός να μειωθεί το κόστος λειτουργίας και αφετέρου να δημιουργηθεί από τα ζωικά υποπροϊόντα ένα πλούσιο εδαφοβελτιωτικό.

Σε μελλοντική αντίστοιχη έρευνα, θα παρουσίαζε ενδιαφέρον να ολοκληρωθεί η πειραματική διαδικασία με τις φυτεύσεις με τη συγκομιδή και ανάλυση των καρπών για τον έλεγχο καταλληλότητάς τους προς βρώση, δεδομένων των επιμολύνσεων μέσω του φαινομένου της βιοσυσσώρευσης. Παράλληλα, καλό θα ήταν να πραγματοποιηθούν πειράματα έκπλυσης για να ελεγχθεί η διαπερατότητα των επιβλαβών ουσιών όπως τα βαρέα μέταλλα που περιέχονται για να αποφευχθούν επιμολύνσεις του υπόγειου υδροφορέα σε περίπτωση εφαρμογής στο πεδίο, σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Τέλος, καλό θα ήταν να μελετηθεί και έδαφος στο οποίο έχει προστεθεί το συγκεκριμένο βιοεξανθράκωμα για να διαπιστωθεί πως διαφοροποιείται με την προσθήκη η μηχανική και χημική σύσταση του και εάν βελτιώνονται κάποιες ιδιότητές του.

11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.goldeco.gr/pedia-drasis/biomaza/>
2. Βάμβουκα Δ., 2002, Βιομάζα, Βιοενέργεια και Περιβάλλον, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
3. Novak, J.M., Lima I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C. Ahmedna, M.Rahrah,D., Watts, D.W., Busscher, W.J., Schomberg, H., 2009 "Characterization of designer biochar produced at different temperature and their effect on a ioamy sand Ann Environ Sci 3,195-206
4. Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R.,2009, "Biochar climate change and soil: a review to guide future research". CSIRO Land and Water Science Report 05/09, February 2009
5. Xincai Chen, Guangcun Chen, Linggui Chen, Yingxu Chen, Johannes Lehmann, Murray B. McBride, Antony G. Hay,2011, "Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis at hardwood and corn straw in aqueous solution"
6. Lehmann, J., 2007a, "A handfull of carbon". Nature 447, 143-144
7. Lehmann, J., 2007b, "Bioenergy in the black". Front. Ecol.Environ.5,381-387
8. Laird, D.A., 2008, "The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing dioenergy, permanently sequestering carbon, while improving water and soil quality". Argon. J.100,178-181
9. Woolf, D., 2008, "Biochar as soil amendment: a review of environmental implications"
10. Ying Ding, Yu-Xue Liu, Wei-Xiang Wu, De-Zhi Shi, Min Yang, Zhe-Ke Zhong, 2009, "Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns" [10]
11. Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., & Engelhard, M.H., 2006, "Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes". Organic Geochemistry, 37,1477-1488
12. Forbes, M.S., Raison, R.J., & Skjemstad, J.O., 2006. "Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems". Science of the Total Environment, 370, 190-206
13. Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., et al., 2006, "Black carbon increases cation exchange capacity in soils". Soil Science Society of America Journal, 70, 1719-1730
14. Cheng, C.H., Lehmann, J., & Engelhard, M.H., 2008, "Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface change along a climosequence". Geochimica et Comochimica Acta, 72, 1598-1610
15. Mathews, J. A., 2008, "Carbon-negative biofuels". Energy Policy, 36, 940-945
16. Schmidt M.W.I., Noack A.G., 2000, "Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. Global Biogeochemical Cycles"
17. Lehmann J., Joseph S., 2009, "Biochar for environmental management: An introduction. Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan"
18. Schmidt M.W.I., Noack A.G., 2000, "Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges", Global Biogeochemical Cycles
19. Yang, Y.N., Sheng, G.Y.,2003, "Enhanced pesticide sorption by soils containing particulate matter from corps residue durns". Environ. Sci. Technol.37,3635-3639
20. Chun, Y., Sheng, G.Y.,Chiou, C.T., Xing, B.S., 2004, "Composition and sorptive properties of crops residue-derived chars". Environ. Sci. Technol.38, 4649-4655
21. Zhu, D.Q., Kwon, S., Pignatello, J.J., 2005, "Adsorption of single-ring organic compounds to wood charcoals prepared under different thermochemical conditions". Environ. Sci. Technol.39, 3990-3998
22. Wang, X.L., Sato, T., Xing, B.S.,2006, "Competitive sorption of pyrene on wood chars". Environ, Sci. Technol. 40,3267-3272

23. Wang , X.L., Lin , K.D., Hou, Z.N., Richardson, B., Gan, J., 2010, "Sorption of the herbicide terbuthylazine in two New Zealand forest soils amended with biosolids and biochars". *J. Soils Sediments* 10,283-289
24. Nguyen, T.H., Cho, H.H., pster, D.L., Ball, W.P., 2007, "Evidence for a pore-filling mechanism in adsorption of aromatic hydrocarbonates to a natural wood char". *Environ, Sci. Technol.* 41,1212-1217
25. Wang , X.L., Xng, B.S., 2007, "Sorption of organic contaminants by biopolymer-derived chars. *Environ, Sci. Technol.* 41, 8342-8348
26. Chen , B.L., Zhou, D.D., Zhu, L.Z., 2008, "Transitional adsorption and partition of non polar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures". *Environ, Sci. Technol.* 42, 5137-5143
27. Chen, B.L., Chen, Z.N., 2009, "Sorption of naphthalene and 1-naphthol by biochars of orange peels with different pyrolytic temperatures". *Chromospheres*, 76, 127-133
28. Yu, X.Y., pan, L.G., Ying, G.G., Kookana , R.S., 2010, "Enhanced and irreversible sorption of pesticide pyrimethanil by soil amended with biochar". *J. Environ. Sci.* 22, 615-620
29. Oya, A., & lu, W. G., 2002, "Deodorization performance of charcoal particles loaded with orthophosphoric acid against ammonia and trimethylamine". *Carbon* , 40, 1391-1399
30. Iyobe, T., Asada,T., Kawata, K., & Oikawa, K., 2004, "Comparison of removal efficiencies for ammonia and amine gases between woody charcoal and activated carbon". *Journal of Health Science*, 50, 148-153
31. Μαγγόλης Α. Διπλωματική Εργασία, «Εκρόφηση φωσφόρου από βιοεξαθράκωμα (BIOCHAR)», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2014
32. Glaser , B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberg, G., & Zech, W., 2000, "Black carbon in density fraction of anthropogenic soils of the Brazilian Amzon region". *Organic Geochemistry*, 31, 669-678
33. Major J., Steiner, C., Ditommaso, A., Falcao, N.P.S., & Lehmann, J., 2005, "Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: Compost, fertilizer, manure and charcoal applications". *Weed Biology and management* 5, 69-76
34. Steiner , C., Teixeira, W., Lehmann, J., Nehis, T., de Macedo, J. L. V., Blum, W. E. H., et al., 2007, "Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil". *Plant and soil*, 291, 275-290
35. McHenry, M. P., 2009, "Agricultural biochar production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129, 1-7
36. Jia, Q., Lua, A.C., 2008, "Effects of pyrolysis conditions on the physical characteristics of oil-palm-shell activated carbons used in aqueous phase phenol adsorption". *J. Appl. Pyrolysis* 83, 175-179
37. Haghseresht, F., Nouri, S., Finnerty, J.J., Lu, G.Q., 2002, "Effects of surface chemistry on aromatic compound adsorption from dilute aqueous solutions by activated carbon". *J. Phys. Chem. B* 106, 10935-10943
38. Wu-Jun Liu, Fan-Xin Zeng, Hong Jiang,Xue-Song Zhang, 2011, "Preparation of high adsorption capacity bio-chars from waste biomass". *Bioresource Technology* 102, 8247-8252

39. Day, D., Evans, R. J., Lee, J.W., Reicosky, D., 2005, "Economical CO₂, SO_x and NO_x capture from fossil-fuel utilization with combined renewable hydrogen production and large-scale carbon sequestration". *Energy* 30, 2558-2579
40. Xincan Chen, Guancun Chen, Lingui Chen, Yingxu Chen, Johannes Lehmann, Murray B. McBride, Antony G. Hay, 2011, "Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis at hardwood and corn straw in aqueous solution". *Bioresource Technology* 102, 877-8884
41. Kearns, J.P., Wellborn, L.S., Summers, R.S., Knappe, D.R.U., 2014, "2,4-D adsorption to biochars: Effect of preparation conditions on equilibrium adsorption with commercial activated carbon literature data". *Water Research* 62, 20-28
42. Σπυριδάκης Στυλιανός διπλωματική εργασία «Εκτίμηση της ποιότητας εξανθρακωμάτων από δημοτικά και ζωικά απόβλητα ενεργειακές ή περιβαλλοντικές εφαρμογές» Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2015
43. Cascarosa E., Boldrin A., Astrup T., 2013, Pyrolysis and gasification of meat-and-bone-meal: Energy balance and GHG accounting, *Waste Management*, vol. 33, p. 2501-2508.
44. Cascarosa E., Gasco L., Gea G., Sánchez J.L., Arauzo J., 2011a, Co-gasification of meat and bone meal with coal in a fluidized bed reactor, *Fuel*, vol. 90, p. 2798-2807
45. Ayllón M., Gea G., Murillo M.B., Sánchez J.L., Arauzo J., 2005, Kinetic study of meat and bone meal pyrolysis: an evaluation and comparison of different possible kinetic models, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 74, p. 445-453.
46. Lombardi L., Carnevale E., Corti A., 2006, Greenhouse effect reduction and energy recovery from waste landfill, *Energy*, vol. 31, p. 3208-3219
47. <http://www.agroenergy.gr/categories/%CE%B6%CF%89%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%85%CF%80%CE%BF%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1>
48. Fryda L., Panopoulos K., Vourliotis P., Pavlidou E., Karakas E., 2006, Experimental investigation of fluidized co-combustion of meat and bone meal with coals and olive bagasse, *Fuel*, vol. 85, p. 1685-1699.
49. Sarkar S., Kumar A., 2010, Large-scale biohydrogen production from bio-oil, *Bioresource Technology*, vol. 101, p. 7350-7361.
50. Skoulou V., Zabaniotou A., 2007, Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, p. 1698-1719
51. <http://www.chemeng.ntua.gr/courses/bpy/files/pyrolysis.pdf>
52. http://ainatem7.blogspot.gr/2009/05/blog-post_2525.html
53. Παπαδάκης Μ., Μεταπτυχιακή Διατριβή με θέμα «Μελέτη κινητικότητας βαρέων μετάλλων σε εδάφη με προσθήκη βιοεξανθρακωμάτων (BIOCHARS) με πειράματα στηλών», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2014
54. Radlein D. J. K. Piskorz and P. Majerski 1996. Method of producing slow release nitrogenous organic fertilizer from biomass. *Journal of Environmental Quality*
55. . M. Beeckmans and P. C. Ng, 1971. Pyrolyzed Sewage Sludge: Its Production and Possible Utility Faculty of Engineering Science. University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, Volume 5, Number 1
56. Ιωάννης Κ. Μητσιός. «Γονιμότητα Εδαφών», Εκδόσεις Zymel 2004
57. Μπούρας Γ. Διπλωματική εργασία με θέμα «Πυρόλυση Λυματολάσπης και Παραγωγή βιοεξανθρακώματος», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2012
58. H. Llana Coalla, J.M. Blanco Fernández, M.A. Morís Morán, M.R. López Bobo, 2009. Biogas generation apple pulp. *Bioresource Technology* 100, p: 3843-3847

59. Κωνσταντίνος Φ. Αραβαντινός, μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, «Προσθήκη πυρολυμένης βιομάζας (biochar) για τη βελτίωση αστικών εδαφών», τμήμα Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2016
60. Chiang K.Y., Chou P.H., Hua C.R., Chien K.L., Cheeseman C., 2009, Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 171, p. 76-82
61. Singh nee' Nigam P., Pandey A., 2009, *Biotechnology for agro-industrial residues utilization*, SPRINGER publications, chapter 11.
62. Sutcu M., Akkurt S., 2010, Utilization of recycled paper processing residues and clay of different sources for the production of porous anorthite ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 30, p. 1785-1793.
63. Νικόλαος Θεοχάρης, «Αναερόβια χώνευση στερεών αποβλήτων εκκοκκιστηρίου και παραγωγή βιοεξανθρακώματος», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2017
64. Ελ-Χατίμπ Ντ., Διπλωματική Εργασία, «Μετρήσεις σημείου ανάφλεξης και χαρακτηριστικών καύσης διαφόρων βιοκαυσίμων και των μιγμάτων τους με λιγνίτη, μέσω μεθόδων θερμικής ανάλυσης», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τομέας Αξιοποίησης Ενεργειακών Πόρων της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, 2011
65. Narodoslawsky M., Obernberger I., 1995, Verwendung von holzaschen zur kompostierung, Final Report for the Research Project Nr 4159 of the Jubil-äumsfonds der Österreichischen Nationalbank, Technical University of Graz, Graz
66. van Loo S., Koppejan J., 2002, *Handbook of biomass combustion and co-firing*, IEA Bioenergy, Twente Univ. Press, Enschede, p.215.
67. Jala s., Goyal D., 2006, Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production-a review, *Bioresource Technology* 97, p. 1136.
68. M. K. Hossain, V. Strezov, P. F. Nelson, 2009. Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 85, p: 442–446
69. <http://books.google.gr/books?id=UONAKQ6w2qgC&pg=PA164&lpg=PA164&dq=subiaco+pyrolysis+plant&source=bl&ots=bgRdCkzIks&sig=t13DNP7YRJsR0sEtKyNwclWV77I&hl=el&sa=X&ei=zJY9r0D-c4QT3ppy0Dw&ved=0CDgQ6AEwAg#v=onepage&q&f=true>
70. <http://www.eedsa.gr/>
71. Πελλέρα Φρατζέσκα, «Προσρόφηση Cu(II) από υδατικό διάλυμα σε βιο-εξανθράκωμα (biochar) μετά από υδροθερμική επεξεργασία και πυρόλυση αγροβιομηχανικών αποβλήτων», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2010
72. Bahng M.K., Mukarakate C., Robichaud D.J., Nilmos M.R., 2009, Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing, *Analytica Chimica Acta*, vol. 651, p. 117-138.
73. Γραμμέλης Π., «Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας σε εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 2003.
74. Ντουζίδης Αθανάσιος Μάριος, διπλωματική εργασία «Σύνθεση προσροφητικών υλικών με βάση το γραφένιο για την απομάκρυνση οργανικών ρύπων σε υδατικά διαλύματα», Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2017
75. Λέκκας,Θ. Δ., (1996), Περιβαλλοντική Μηχανική Ι. Διαχείριση υδατικών πόρων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη
76. Μπάμπη Κωνσταντίνα Γ., Κουμενίδης Κωνσταντίνος Μ., Λέκκας Θεμιτοκλής «Προσδιορισμός και ελαχιστοποίηση των αλογονοπαράγωγων του μεθανίου στο πόσιμο νερό της Αθήνας», Αθήνα , Απρίλιος 2006

77. Αθανάσιος Δ. Βλαμίδης διπλωματική εργασία με θέμα «Γεωχημική –Ορυκτοχημική μελέτη του παλυκορσκήτη της περιοχής Βεντζιων Γρεβενών», Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009
78. https://en.wikipedia.org/wiki/Elemental_analysis
79. Παναγιωτίδης Παναγιώτης, διδακτορική διατριβή «Συνθετικές προσεγγίσεις της κατανόησης των αλληλεπιδράσεων των μεταλλοϊόντων τιτανίου και καδμίου με φυσιολογικά και μη φυσιολογικά ligands σε δυαδικά και τριαδικά υδατικά συστήματα», Α.Π.Θ, Τμήμα Χημικών, 2009
80. http://wikipedia.qwika.com/en2el/Methylene_blue
81. <https://el.wikipedia.org/wiki/Φαινόλη>
82. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B132/471/3119,12545/>
83. https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3504/2/02_chapter_6.pdf
84. Ζαχαριάκη Μαρία, πτυχιακή εργασία «Επιδράσεις των χουμικών παραγόντων στην αύξηση και θρέψη υποκείμενων άμπελοι (Vitis Vinifera L.) σε συνθήκες χλώρωσης», Τμήμα Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2015
85. http://www.valentine.gr/seed_germination_gr.php
86. Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών Και Εκδόσεων «Διόφαντος» Τομέας Γεωπονίας, Τροφίμων Και Περιβάλλοντος, «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ»
87. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%AC%CE%BA%CE%B9>
88. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CE%BA%CE%B9>
89. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9>
90. http://www.teidasorponias.gr/site/news/xtra/morfologia/chimikes_idiotites_edafous.pdf
91. Χρυσούλα Β. Ρίγα, διπλωματική εργασία «Συστήματα πλοήγησης: εφαρμογές στη γεωπονία», Σχολή Τροφίμων Βιοτεχνολογίας & Ανάπτυξης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2015
92. Balwant Singh, Marta Camps-Arbestain, Johannes Lehmann, “Biochar: A Guide to Analytical Methods”, Chapter 12 Xiaodong Gao and Caroline A. Masiello, “Analysis of biochar porosity by pycnometry”, 2017
93. Ρεπανάς Α. «Σύνθεση Βιοαποικοδομήσιμων Νανοσωματιδίων για μεταφορά φαρμάκων», Διατμηματικό Π.Μ.Σ. Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες, Α.Π.Θ, 2013
94. Λαβρανού Αλεξία, μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, «Γενοτοξικές και κυτταροτοξικές επιδράσεις συνθετικών και φυσικών εξανθρακωμάτων», Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών πόρων, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2013
95. Xue-jiao Tong, Jui-yu Li, Jin-hua Yuan, Ren-kou Xu, 2011, “Adsorption of Cu (II) by biochars generated from tree crops straws”. Chemical Engineering Journal 172, 828-834
96. Αρβανιτίδης Ι. Σημειώσεις «Προχωρημένες μέθοδοι εξέτασης τροφίμων», Π.Μ.Σ. Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας & Οργάνωσης Παραγωγής στη Βιομηχανία Τροφίμων, Αλεξάνδρειο Α.Τ.Ε.Ι.Θ, 2015
97. <https://engineering.jhu.edu/labs/wp-content/uploads/sites/76/2015/11/EDS-Protocol.pdf>
98. Αικατερίνη Π. Γαβριήλ, Διδακτορική Διατριβή «Σύνθεση, απομόνωση και φυσικοχημικός χαρακτηρισμός ενώσεων μεταξύ Ο-, Ν- οργανικών υποστρωμάτων και μεταλλοτοξινών», Τμήμα Χημικών, Α.Π.Θ, 2009
99. Τζαμπραηλίδου Γ. «Αρχαιομετρική Προσέγγιση Υαλουργικής Τεχνολογίας της Περιοχής Αμαθούντας, Κύπρος, κατά τον 5ο - 6ο αιώνα μ.Χ., με Φυσικοχημικές και Φασματοσκοπικές

Τεχνικές», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προστασία, Συντήρηση και Αποκατάσταση Έργων Τέχνης και Μηχανισμών», Α.Π.Θ., 2010

100. Μανουσάκη Κλειώ, Μεταπτυχιακή Διατριβή «Η μέθοδος των διαδοχικών εκχυλίσεων για τη μέτρηση βιοδιαθεσιμότητας βαρέων μετάλλων», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείο Κρήτης, 2012

101. Σουρουβάλη Ναταλία, Διπλωματική Εργασία «Διερεύνηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης σε μέταλλα από υπόλειμμα πυθμένα δεξαμενής αργού πετρελαίου», Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2017

102. Χριστοδούλου Ευάγγελος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής & Ζωικής Παραγωγής, πτυχιακή διατριβή «Προσδιορισμός διαθεσιμότητας στοιχείων χαλκού, σιδήρου, ψευδαργύρου, μαγγανίου, καδμίου και μολύβδου σε εδάφη της Θεσσαλίας»

103. <http://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/threpsi-lipansi/item/1452-xlorotika-fylla-kai-sidiros-i-simasia-tou-sidirou-gia-ta-fyta>

104. Δρ. Κωνσταντίνος Σινανής, «Χημικά λιπάσματα επικίνδυνα, ρυπογόνα ή ζωογόνα», https://www.elke.teicrete.gr/LinkClick.aspx?fileticket=cL8V61J_rfc%3D&tabid=670, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Τ.Ε.Ι. Κρήτης

105. Δρ. Χρήστος Α. Μακρίδης, «Θρέψη φυτών & λίπανση καλλιεργειών», https://e-class.teilar.gr/modules/document/file.php/AGRI106/%CE%98%CE%A1%CE%95%CE%A8%CE%97_%CE%A6%CE%A5%CE%A4%CE%8F%CE%9D%20_%CE%9B%CE%99%CE%A0%CE%91%CE%9D%CE%A3%CE%97_5.1.17.pdf

106. Αικατερίνη Πανόγλου, Πανεπιστήμιο Πατρών, τμήμα Γεωλογίας, «Βιογεωχημική μελέτη του φυτού *Origanum Majorana*, με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας»

107. <https://agrosimnoulos.gr/kalliergeia-spanaki/>

108. A. Shaabana, Sian-Meng Sea, Nona Merry M. Mitamb, M.F. Dimina, 2013, "Characterization of biochar derived from rubber wood sawdust through slow pyrolysis on surface porosities and functional groups". *Procedia Engineering* 68, 365-371

109. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) αριθ. 142/2011 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

110. Αρβανιτέλλης Γεώργιος, Πτυχιακή Εργασία «Τεχνολογικός εξοπλισμός και περιβαλλοντικές επιπτώσεις μονάδας επεξεργασίας δέρματος – βυρσοδεψείου», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τ.Ε.Ι. Δυτ. Ελλάδας, 2015

111. Soni C.G., Wang Z., Dalai A.K., Pugsley T., Fonstad T., 2009, Hydrogen production via gasification of meat and bone meal I two-stage fixed bed reactor system, *Fuel*, vol.88, p. 920-925.

112. Cummins E., McDonnell K.P., Ward S.M., 2006, Dispersion modelling and measurement of emissions from the co-combustion of meat and bone meal with peat in a fluidized bed, *Bioresource Technology*, vol. 97, p. 903-913.

113. Senneca O., 2008, Characterization of meat and bone meal mill for coal co-firing, *Fuel*, vol. 87, p. 3262-3270.

114. Skodras G., Grammelis P., Basinas P., 2007, Pyrolysis and combustion behavior of coal-MBM blends, *Bioresource Technology*, vol. 98, p. 1-8

115. Ahmad M., Lee S.S., Dou X., Mohan D., Sung J.K., Yang J.E., Ok Y.S., 2012, "Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water". *Bioresource Technology* 118, 536-544

116. http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/chimikes_idiotites_edafous.pdf

117. Χρυσούλα Β. Ρίγα, Διπλωματική Εργασία «Συστήματα πλοήγησης: εφαρμογές στη γεωπονία», Σχολή Τροφίμων Βιοτεχνολογίας & Ανάπτυξης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2015

118. Sarkhot D.V., Ghezzehei T.A. Berhe A.A, 2013, "Effectiveness of biochar for sorption of ammonium and phosphate from dairy effluent". *Journal of Environmental Quality* 42, 1545-1554

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ

Πίνακας Α. 1 Μετρήσεις απορρόφησης για δημιουργία καμπύλης αναφοράς για το μπλε του μεθυλενίου

ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ [$\lambda=620$ nm]		
A/A	Συγκέντρωση C (mg/l)	Απορρόφηση
1	0	0
2	2	0,07
3	4	0,169
4	6	0,28
5	8	0,361
6	10	0,434

Πίνακας Α. 2 Αποτελέσματα μετρήσεων απορρόφησης/συγκέντρωσης σε διαλύματα μπλε του μεθυλενίου

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΕ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ					
B12					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B12
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	0,112	100	80	20	25%
2	0,113	100	81,1	18,9	23%
3	0,102	100	72,1	27,9	39%
4	0,111	100	79,3	20,7	26%
5	0,118	100	84,2	15,8	19%
6	0,119	100	85,3	14,7	17%
7	0,112	100	80	20	25%
B1					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B1
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	0,131	100	93,1	6,9	7,4%
2	0,137	100	97,3	2,7	2,8%
3	0,127	100	90,3	9,7	10,7%
4	0,14	100	100	0	0,0%
5	0,137	100	97,8	2,2	2,2%
6	0,121	100	86,3	13,7	15,9%
7	0,118	100	84,2	15,8	18,8%
B0					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B0
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	0,161	100	99	1	1,0%
2	0,142	100	85,3	14,7	17,2%
3	0,143	100	86,1	13,9	16,1%
4	0,16	100	98,3	1,7	1,7%
5	0,159	100	97,5	2,5	2,6%
6	0,153	100	93,2	6,8	7,3%
7	0,146	100	88,3	11,7	13,3%

Πίνακας Α. 3 Μετρήσεις απορρόφησης για δημιουργία καμπύλης αναφοράς για τη φαινόλη

ΦΑΙΝΟΛΗ [$\lambda=270$ nm]		
A/A	Συγκέντρωση C (mg/l)	Απορρόφηση
1	0	0
2	5	0,08
3	8	0,123
4	10	0,145
5	20	0,298
6	50	0,754

Πίνακας Α. 4 Αποτελέσματα μετρήσεων απορρόφησης/συγκέντρωσης σε διαλύματα φαινόλης

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΦΑΙΝΟΛΗΣ ΣΕ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ					
B12					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B12
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	1,499	100	99,933	0,067	0%
2	1,491	100	99,4	0,6	1%
3	1,48	100	98,667	1,333	1%
4	1,483	100	98,867	1,133	1%
5	1,469	100	97,933	2,067	2%
6	1,467	100	97,8	2,2	2%
7	1,486	100	99,067	0,933	1%
B1					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B1
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	1,491	100	99,4	0,6	0,6%
2	1,476	100	98,4	1,6	1,6%
3	1,471	100	98,067	1,933	2,0%
4	1,487	100	99,133	0,867	0,9%
5	1,482	100	98,8	1,2	1,2%
6	1,466	100	97,733	2,267	2,3%
7	1,467	100	97,8	2,2	2,2%
B0					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B0
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	1,5	100	100	0	0,0%
2	1,492	100	99,467	0,533	0,5%
3	1,487	100	99,133	0,867	0,9%
4	1,481	100	98,733	1,267	1,3%
5	1,485	100	99	1	1,0%
6	1,472	100	98,133	1,867	1,9%
7	1,469	100	97,933	2,067	2,1%

Πίνακας Α. 5 Μετρήσεις απορρόφησης για δημιουργία καμπύλης αναφοράς για τις χουμικές ενώσεις

ΧΟΥΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ [$\lambda=330$ nm]		
A/A	Συγκέντρωση C (mg/l)	Απορρόφηση
1	0	0
2	2,5	0,036
3	5	0,068
4	10	0,147
5	20	0,304
6	30	0,449

Πίνακας Α. 6 Αποτελέσματα μετρήσεων απορρόφησης/συγκέντρωσης σε διαλύματα χουμικών ενώσεων

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΣΕ ΒΙΟΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑ					
B12					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B12
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	0,296	20	19,474	0,526	2,6%
2	0,295	20	19,408	0,6	3,0%
3	0,3	20	19,737	1,333	6,7%
4	0,301	20	19,803	1,133	5,7%
5	0,298	20	19,605	2,067	10,3%
6	0,297	20	19,539	2,2	11,0%
7	0,297	20	19,539	0,933	4,7%
B1					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B1
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	0,295	20	19,408	0,592	3,1%
2	0,303	20	19,934	0,066	0,3%
3	0,303	20	19,934	0,066	0,3%
4	0,301	20	19,803	0,197	1,0%
5	0,301	20	19,803	0,197	1,0%
6	0,303	20	19,934	0,066	0,3%
7	0,297	20	19,539	0,461	2,4%
B0					% ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ B0
Χρόνος t (d)	Απορρόφηση	C ₀ (mg/l)	C _e (mg/l)	C ₀ - C _e (mg/l)	$[(C_0 - C_e)/C_0] \times 100\%$
1	0,3	20	19,737	0,263	1,3%
2	0,298	20	19,605	0,395	2,0%
3	0,296	20	19,474	0,526	2,7%
4	0,3	20	19,737	0,263	1,3%
5	0,301	20	19,803	0,197	1,0%
6	0,299	20	19,671	0,329	1,7%
7	0,293	20	19,276	0,724	3,8%

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Πίνακας Α. 7 Πειραματικό σχέδιο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ																		
	ΑΜΜΟΣ						ΤΥΡΦΗ						ΠΕΡΛΙΤΗΣ					
	B1			B12			B1			B12			B1			B12		
	C	1:2	1:10	C	1:2	1:10	C	1:2	1:10	C	1:2	1:10	C	1:2	1:10	C	1:2	1:10
ΣΠΑΝΑΚΙ																		
ΜΑΡΟΥΛΙ																		
ΤΟΜΑΤΑ																		

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ (B12, B1, B0) ΓΙΑ ΤΗ ΡΙΖΟΒΟΛΙΑ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ (ΣΠΑΝΑΚΙ, ΜΑΡΟΥΛΙ, ΤΟΜΑΤΑ)

Πίνακας Α. 8 Μετρήσεις ριζοβολίας φυτικών ειδών (σπανάκι, μαρούλι, τομάτα) για τα βιοεξανθρακώματα B12 & B1

Species	Biochar	Substrate	Ratio	N	%ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ
Σπανάκι	B12	Άμμος	0	8	25
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:2	10	31,25
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:10	11	34,375
Σπανάκι	B12	Περλίτης	0	9	28,125
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:2	21	65,625
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:10	13	40,625
Σπανάκι	B12	Τύρφη	0	15	46,875
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:2	14	43,75
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:10	19	59,375
Σπανάκι	B1	Άμμος	0	4	12,5
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:2	7	21,875
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:10	4	12,5
Σπανάκι	B1	Περλίτης	0	11	34,375
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:2	2	6,25
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:10	9	28,125
Σπανάκι	B1	Τύρφη	0	8	25
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:2	14	43,75
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:10	14	43,75
Μαρούλι	B12	Άμμος	0	12	37,5
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:2	21	65,625
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:10	11	34,375
Μαρούλι	B12	Περλίτης	0	17	53,125
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:2	16	50
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:10	11	34,375
Μαρούλι	B12	Τύρφη	0	11	34,375
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:2	14	43,75

Species	Biochar	Substrate	Ratio	N	%ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:10	16	50
Μαρούλι	B1	Άμμος	0	18	56,25
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:2	22	68,75
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:10	15	46,875
Μαρούλι	B1	Περλίτης	0	19	59,375
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:2	18	56,25
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:10	17	53,125
Μαρούλι	B1	Τύρφη	0	12	37,5
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:2	18	56,25
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:10	14	43,75
Τομάτα	B12	Άμμος	0	62	48,4375
Τομάτα	B12	Άμμος	1:2	52	40,625
Τομάτα	B12	Άμμος	1:10	84	65,625
Τομάτα	B12	Περλίτης	0	49	38,28125
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:2	24	18,75
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:10	64	50
Τομάτα	B12	Τύρφη	0	30	23,4375
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:2	79	61,71875
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:10	102	79,6875
Τομάτα	B1	Άμμος	0	39	30,46875
Τομάτα	B1	Άμμος	1:2	60	46,875
Τομάτα	B1	Άμμος	1:10	61	47,65625
Τομάτα	B1	Περλίτης	0	41	32,03125
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:2	40	31,25
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:10	67	52,34375
Τομάτα	B1	Τύρφη	0	100	78,125
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:2	101	78,90625
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:10	86	67,1875

Πίνακας Α. 9 Μετρήσεις ριζοβολίας τομάτας για τα βιοεξανθρακώματα B12, B1 & B0

Species	Biochar	Substrate	Ratio	N	%ΡΙΖΟΒΟΛΙΑΣ
Τομάτα	B12	Άμμος	0	62	48,4375
Τομάτα	B12	Άμμος	1:2	52	40,625
Τομάτα	B12	Άμμος	1:10	84	65,625
Τομάτα	B12	Περλίτης	0	49	38,28125
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:2	24	18,75
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:10	64	50
Τομάτα	B12	Τύρφη	0	30	23,4375
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:2	79	61,71875
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:10	102	79,6875
Τομάτα	B1	Άμμος	0	39	30,46875
Τομάτα	B1	Άμμος	1:2	60	46,875
Τομάτα	B1	Άμμος	1:10	61	47,65625
Τομάτα	B1	Περλίτης	0	41	32,03125
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:2	40	31,25

Τομάτα	B1	Περλίτης	1:10	67	52,34375
Τομάτα	B1	Τύρφη	0	100	78,125
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:2	101	78,90625
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:10	86	67,1875
Τομάτα	B0	Άμμος	0	65	50,78125
Τομάτα	B0	Άμμος	1:2	18	14,0625
Τομάτα	B0	Άμμος	1:10	25	19,53125
Τομάτα	B0	Περλίτης	0	64	50
Τομάτα	B0	Περλίτης	1:2	59	46,09375
Τομάτα	B0	Περλίτης	1:10	17	13,28125
Τομάτα	B0	Τύρφη	0	71	55,46875
Τομάτα	B0	Τύρφη	1:2	57	44,53125
Τομάτα	B0	Τύρφη	1:10	43	33,59375

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΑ B12 & B1

Πίνακας Α. 10 Μετρήσεις αξιολόγησης ανάπτυξης για το σπανάκι για τα βιοξανθρακώματα B12 & B1

Species	Biochar	Substrate	Ratio	MEANS HEIGHT 1ST MEASUREMENT
Σπανάκι	B12	Άμμος	0	1,11
Σπανάκι	B12	Άμμος	0	1,125
Σπανάκι	B12	Άμμος	0	1,1
Σπανάκι	B12	Άμμος	0	1,15
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:2	
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:2	1,7
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:2	2,008571
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:2	2,305
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:10	
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:10	1,4375
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:10	1,4875
Σπανάκι	B12	Άμμος	1:10	1,256667
Σπανάκι	B12	Περλίτης	0	0,615
Σπανάκι	B12	Περλίτης	0	0,655
Σπανάκι	B12	Περλίτης	0	0,635
Σπανάκι	B12	Περλίτης	0	0,546667
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:2	2,0025
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:2	2,011667
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:2	1,938571
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:2	1,903333
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:10	2,08
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:10	1,3875
Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:10	1,4

Σπανάκι	B12	Περλίτης	1:10	1,386
Σπανάκι	B12	Τύρφη	0	1,81
Σπανάκι	B12	Τύρφη	0	1,793333
Σπανάκι	B12	Τύρφη	0	
Σπανάκι	B12	Τύρφη	0	1,821667
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:2	3,491667
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:2	3,55
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:2	3,475
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:2	3,46
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:10	2,8
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:10	2,8175
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:10	2,803333
Σπανάκι	B12	Τύρφη	1:10	2,77
Σπανάκι	B1	Άμμος	0	2,05
Σπανάκι	B1	Άμμος	0	2,05
Σπανάκι	B1	Άμμος	0	1,9
Σπανάκι	B1	Άμμος	0	
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:2	3,45
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:2	3,426667
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:2	3,425
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:2	
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:10	2,8
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:10	
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:10	
Σπανάκι	B1	Άμμος	1:10	3,076667
Σπανάκι	B1	Περλίτης	0	1,266667
Σπανάκι	B1	Περλίτης	0	1,25
Σπανάκι	B1	Περλίτης	0	1,185
Σπανάκι	B1	Περλίτης	0	1,33
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:2	
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:2	1,87
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:2	1,82
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:2	
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:10	1,415
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:10	1,3425
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:10	1,25
Σπανάκι	B1	Περλίτης	1:10	1,2
Σπανάκι	B1	Τύρφη	0	1,8
Σπανάκι	B1	Τύρφη	0	1,796667
Σπανάκι	B1	Τύρφη	0	1,813333
Σπανάκι	B1	Τύρφη	0	1,79
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:2	3,225
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:2	3,45
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:2	3,452
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:2	3,383333
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:10	2,615
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:10	2,455

Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:10	2,49
Σπανάκι	B1	Τύρφη	1:10	2,4875

Πίνακας Α. 11 Μετρήσεις αξιολόγησης ανάπτυξης για το μαρούλι για τα βιοεξανθρακώματα B12 & B1

Species	Biochar	Substrate	Ratio	MEANS HEIGHT 1ST MEASUREMENT
Μαρούλι	B12	Άμμος	0	1,588333
Μαρούλι	B12	Άμμος	0	1,62
Μαρούλι	B12	Άμμος	0	
Μαρούλι	B12	Άμμος	0	
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:2	3,55
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:2	3,458333
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:2	3,502857
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:2	
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:10	4,014
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:10	4,03
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:10	
Μαρούλι	B12	Άμμος	1:10	
Μαρούλι	B12	Περλίτης	0	0,998333
Μαρούλι	B12	Περλίτης	0	0,99
Μαρούλι	B12	Περλίτης	0	1,015
Μαρούλι	B12	Περλίτης	0	
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:2	2,2425
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:2	2,14
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:2	2,226667
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:2	
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:10	2,036667
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:10	2,0075
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:10	
Μαρούλι	B12	Περλίτης	1:10	
Μαρούλι	B12	Τύρφη	0	0,905
Μαρούλι	B12	Τύρφη	0	0,985
Μαρούλι	B12	Τύρφη	0	1,084
Μαρούλι	B12	Τύρφη	0	
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:2	4,4175
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:2	4,5625
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:2	5,235
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:2	
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:10	3,76875
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:10	3,83375
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:10	
Μαρούλι	B12	Τύρφη	1:10	
Μαρούλι	B1	Άμμος	0	2,03
Μαρούλι	B1	Άμμος	0	2,046
Μαρούλι	B1	Άμμος	0	2,035
Μαρούλι	B1	Άμμος	0	
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:2	2,99125

Species	Biochar	Substrate	Ratio	MEANS HEIGHT 1ST MEASUREMENT
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:2	2,951429
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:2	3,062857
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:2	
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:10	2,70375
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:10	2,707143
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:10	
Μαρούλι	B1	Άμμος	1:10	
Μαρούλι	B1	Περλίτης	0	0,512857
Μαρούλι	B1	Περλίτης	0	0,525
Μαρούλι	B1	Περλίτης	0	0,503333
Μαρούλι	B1	Περλίτης	0	
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:2	1,3225
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:2	1,267143
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:2	1,316667
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:2	
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:10	0,97
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:10	1,035
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:10	1,002
Μαρούλι	B1	Περλίτης	1:10	
Μαρούλι	B1	Τύρφη	0	3,008571
Μαρούλι	B1	Τύρφη	0	3,16
Μαρούλι	B1	Τύρφη	0	
Μαρούλι	B1	Τύρφη	0	
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:2	2,228333
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:2	2,182857
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:2	2,174
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:2	
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:10	1,0825
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:10	0,976
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:10	1,146
Μαρούλι	B1	Τύρφη	1:10	

Πίνακας Α. 12 Μετρήσεις αξιολόγησης ανάπτυξης για την τομάτα για τα βιοεξανθρακώματα B12 & B1

Species	Biochar	Substrate	Ratio	MEANS HEIGHT 1ST MEASUREMENT
Τομάτα	B12	Άμμος	0	2,016956522
Τομάτα	B12	Άμμος	0	2,118
Τομάτα	B12	Άμμος	0	2,08
Τομάτα	B12	Άμμος	0	2,110909091
Τομάτα	B12	Άμμος	1:2	3,1625
Τομάτα	B12	Άμμος	1:2	3,146666667
Τομάτα	B12	Άμμος	1:2	3,266666667

Τομάτα	B12	Άμμος	1:2	3,246428571
Τομάτα	B12	Άμμος	1:10	2,8178125
Τομάτα	B12	Άμμος	1:10	2,885454545
Τομάτα	B12	Άμμος	1:10	2,837307692
Τομάτα	B12	Άμμος	1:10	2,816666667
Τομάτα	B12	Περλίτης	0	0,603076923
Τομάτα	B12	Περλίτης	0	0,62
Τομάτα	B12	Περλίτης	0	0,572
Τομάτα	B12	Περλίτης	0	0,573333333
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:2	1,28
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:2	1,38
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:2	1,431111111
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:2	1,402727273
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:10	1,046315789
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:10	1,0475
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:10	1,034
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:10	1,062
Τομάτα	B12	Τύρφη	0	2,834285714
Τομάτα	B12	Τύρφη	0	2,82
Τομάτα	B12	Τύρφη	0	2,814285714
Τομάτα	B12	Τύρφη	0	2,808888889
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:2	4,25047619
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:2	4,335714286
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:2	4,347777778
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:2	4,284210526
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:10	4,065925926
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:10	4,139444444
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:10	4,0040625
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:10	4,1236
Τομάτα	B1	Άμμος	0	2,530909091
Τομάτα	B1	Άμμος	0	2,518888889
Τομάτα	B1	Άμμος	0	2,561666667
Τομάτα	B1	Άμμος	0	2,502857143
Τομάτα	B1	Άμμος	1:2	3,542857143
Τομάτα	B1	Άμμος	1:2	3,56375
Τομάτα	B1	Άμμος	1:2	3,538181818
Τομάτα	B1	Άμμος	1:2	3,528421053
Τομάτα	B1	Άμμος	1:10	2,962142857
Τομάτα	B1	Άμμος	1:10	2,952
Τομάτα	B1	Άμμος	1:10	2,916875
Τομάτα	B1	Άμμος	1:10	2,903125
Τομάτα	B1	Περλίτης	0	1,277272727
Τομάτα	B1	Περλίτης	0	1,313
Τομάτα	B1	Περλίτης	0	1,37
Τομάτα	B1	Περλίτης	0	1,3
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:2	2,422142857
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:2	2,377333333

Τομάτα	B1	Περλίτης	1:2	2,42
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:2	
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:10	1,966666667
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:10	2,001538462
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:10	1,966153846
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:10	2,037692308
Τομάτα	B1	Τύρφη	0	2,748636364
Τομάτα	B1	Τύρφη	0	2,81
Τομάτα	B1	Τύρφη	0	2,844230769
Τομάτα	B1	Τύρφη	0	2,8125
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:2	4,414444444
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:2	4,434285714
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:2	4,446333333
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:2	4,464583333
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:10	4,033333333
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:10	3,980869565
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:10	3,993529412
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:10	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΥΤΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΣΤΕΛΕΧΩΝ & ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ

Πίνακας Α. 13 Μετρήσεις από το πείραμα της μεταφύτευσης για την αξιολόγηση της επίδρασης του βιοεξανθρακώματος στο ποσοστό επιβίωσης & την ανάπτυξη των στελεχών της τομάτας

Species	Biochar	Substrate	Ratio	N	MEANS HEIGHT 1ST MEASUREMENT	
					%ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ	
Τομάτα	B12	Άμμος	0	0	0	0
Τομάτα	B12	Άμμος	1:2	2	40	3,49
Τομάτα	B12	Άμμος	1:10	1	20	2
Τομάτα	B12	Περλίτης	0	3	60	0,78
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:2	3	60	1,59
Τομάτα	B12	Περλίτης	1:10	1	20	1,23
Τομάτα	B12	Τύρφη	0	4	80	4,04
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:2	5	100	12,96
Τομάτα	B12	Τύρφη	1:10	5	100	9,88
Τομάτα	B1	Άμμος	0	3	60	3,79
Τομάτα	B1	Άμμος	1:2	3	60	12,1
Τομάτα	B1	Άμμος	1:10	4	80	7,97
Τομάτα	B1	Περλίτης	0	0	0	0
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:2	3	60	1
Τομάτα	B1	Περλίτης	1:10	1	20	0,8
Τομάτα	B1	Τύρφη	0	4	80	3,06
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:2	3	60	0,84
Τομάτα	B1	Τύρφη	1:10	0	0	0

