



Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
Πολυτεχνείο Κρήτης

Μεταπτυχιακή εργασία

*Διερεύνηση μείωσης τοξικότητας υγρών αποβλήτων και
κομπόστ μέσω προσθήκης βιοεξανθρακώματος (biochar)*



Ντούρμα Ευαγγελία

Ιούνιος 2018

Χανιά

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Κων/νος Κομνίτσας (επιβλέπων) - Σχολή ΜΗΧ.Ο.Π.

Καθηγήτρια Δέσποινα Βάμβουκα - Σχολή ΜΗΧ.Ο.Π.

Δρ. Άννα Κρητικάκη - Σχολή ΜΗΧ.Ο.Π

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας με την παρούσα εργασία, τον κύκλο σπουδών του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Ειδίκευσης «Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον», θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε εκείνους που συνέβαλλαν ουσιαστικά, στην ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κων/νο Κομνίτσα, επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, την καθοδήγηση, την επίβλεψη και την υπομονή του. Επίσης, οφείλω να τον ευχαριστήσω για την άψογη συνεργασία μας.

Σημαντικές υπήρξαν οι συμβουλές, τα σχόλια και οι προτάσεις της Δρ. Άννα Κρητικάκη. Την ευχαριστώ πολύ για τον χρόνο που διέθεσε και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις της.

Επίσης θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στην κα Δέσποινα Βάμβουκα, καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου για την συμπαράσταση και την αγάπη που μου προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια. Χωρίς εκείνη και την στήριξή της δε θα είχα φτάσει ως εδώ. Πάντα είναι δίπλα μου, με συμβουλεύει και με υποστηρίζει. Εξίσου σημαντική ήταν η συντροφιά των φίλων μου που γέμισαν την περίοδο αυτή με γέλιο, κέφι, διασκέδαση και ζωντάνια.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	6
Abstract	7
Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 1. Βιοεξανθράκωμα (Biochar) – Παραγωγή και Χαρακτηριστικά	9
1.1. Παραγωγή Βιοεξανθράκωματος	9
1.2. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του biochar	10
1.2.1. Χαρακτηριστικά παραγόμενου Biochar με χρήση πριονιδιού.....	10
1.2.2. Χαρακτηριστικά παραγόμενου Biochar από κελύφη φιστικιών.....	11
1.3. Εφαρμογές βιοεξανθράκωματος	12
Κεφάλαιο 2. Κομποστοποίηση	13
2.1. Υλικά και διαδικασία κομποστοποίησης	13
2.2. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την κομποστοποίηση	14
2.2.1. Πεδία διάθεσης κομπόστ	15
2.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας κομποστοποίησης.....	15
Κεφάλαιο 3. Πειραματική Διαδικασία	16
3.1. Υλικά και Μέθοδοι για την πραγματοποίηση των πειραμάτων	16
3.2. Τοξικότητα υγρών αποβλήτων.....	16
3.2.1. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων	18
3.3. Πειράματα Φυτοτοξικότητας	19
3.3.1. Παραγωγή βιοεξανθράκωματος (biochar).....	19
3.3.2. Προετοιμασία Μίγματος και Εκχυλισμάτων.....	19
3.3.3. Διεξαγωγή πειραμάτων φυτοτοξικότητας	19
3.4. Πειράματα φυτοτοξικότητας με έδαφος, κομπόστ και biochar	21
3.4.1. Προετοιμασία δειγμάτων.....	21
3.4.2. Διεξαγωγή πειραμάτων φυτοτοξικότητας	21
3.5. Αξιολόγηση φυτοτοξικότητας	22
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα	23
4.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων	23
4.2. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας	26
4.2.1.1. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας σε κομπόστ Αίγινας και biochar	26
4.2.2. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας μίγματος εμπορικού κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) και biochar.....	32
4.3.1. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας σε έδαφος, κομπόστ και biochar	36
Συμπεράσματα	43

Βιβλιογραφία	44
Ελληνική	44
Ξενόγλωσση.....	44
Διαδίκτυο.....	45
Παράρτημα.....	46
Α. Πειράματα φυτοτοξικότητας σε κομπόστ Αίγινας και biochar	46
Β. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας μίγματος εμπορικού κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) και biochar	50
Γ. Πειράματα φυτοτοξικότητας σε έδαφος από το Πολυτεχνείο Κρήτης, κομπόστ και biochar.....	53

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, σκοπός των πειραμάτων που διεξήχθησαν είναι να μελετηθεί ο βαθμός μείωσης της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων, τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία φιστικιών, καθώς και να εκτιμηθεί η μείωση της φυτοτοξικότητας του κομπόστ μέσω προσθήκης βιοεξανθρακώματος (biochar). Τα υγρά απόβλητα τα οποία εξετάστηκαν, προέρχονται από έκπλυση φιστικιών. Τα υγρά αυτά επεξεργάστηκαν με τη χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων, για να διαπιστωθεί, αν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή τους, αλλά και αν είναι εφικτή η διάθεσή τους στο έδαφος. Για τον έλεγχο της τοξικότητας του κομπόστ, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές πειραμάτων και χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη κομπόστ (compost), το ένα από τη εταιρεία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ Χανίων και το δεύτερο από την Αίγινα. Επίσης, τα βιοεξανθρακώματα (biochars) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, προήλθαν από την πυρόλυση φλοιών φιστικιών και από την πυρόλυση πριονιδιού στους 650°C για 1h. Ο έλεγχος της φυτοτοξικότητας αξιολογήθηκε με τον υπολογισμό του Δείκτη Βλάστησης GI (Germination Index). Για την πραγματοποίηση του ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν σπόροι κάρδαμου (*Lepidium sativum*).

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν, ότι για να επαναχρησιμοποιηθούν τα υγρά απόβλητα απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία τους. Επίσης, το κομπόστ το οποίο επέδρασε θετικά στην ανάπτυξη του καρδάμου ήταν εκείνο από την Αίγινα, ενώ η προσθήκη βιοεξανθρακώματος (biochar) βελτίωσε την ποιότητα των εκχυλισμάτων τα οποία προέκυπταν από τα κομπόστ.

Abstract

The aim of the experiments conducted for this thesis, was to study the reduction of the toxicity of the wastewaters resulting from the processing of pistachios, as well as to estimate the reduction of compost phytotoxicity by adding biochar. The wastewaters that were tested were derived from the washing of pistachios. These liquids were treated using buffer solutions to determine if they can be re-used and also if it is possible to dispose them on the ground. To test the compost toxicity, three series of experiments were carried out and two composts were used, one obtained from the municipal company for recycling of solid wastes (DEDISA) of Chania and the second one from Aegina. Also, the biochars used were derived from pistachio shell and from sawdust after pyrolysis at 650 ° C for 1h. Control of phytotoxicity was assessed by calculating the GI growth index (Germination Index). For this process, seeds of cardamom (*Lepidium sativum*) were used.

The results of the research have shown that for the re-use of wastewaters, further processing is needed. Also, the compost which had positive effect on the growth of cardamom was that from Aegina, while the addition of biochars improved the quality of the leachates that obtained from the composts.

Εισαγωγή

Είναι γνωστό πως εδώ και πολλές δεκαετίες, γίνονται εντατικές προσπάθειες για την προστασία του περιβάλλοντος, λόγω της συνεχούς επιβάρυνσής του από τις δραστηριότητες του ανθρώπου. Εκτός από τον τεράστιο όγκο των οικιακών απορριμμάτων, τα οποία δημιουργούνται σε καθημερινή βάση, στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος οδήγησε και η ανάπτυξη της βιομηχανίας, λόγω της ρύπανσης που προκαλείται, τόσο στον αέρα και στα ύδατα, όσο και στο έδαφος. Το έδαφος επιβαρύνεται από στερεά απόβλητα αλλά και από υγρά, τα οποία με τη σειρά τους μέσω διήθησης καταλήγουν στους υπόγειους υδροφορείς.

Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την απορρύπανση και την βελτίωση των εδαφών, είναι η χρήση προσροφητικών καθώς και βελτιωτικών υλικών. Τα συγκεκριμένα υλικά διαθέτουν την ικανότητα να δεσμεύουν οργανικούς καθώς και ανόργανους ρύπους. Κάποια από τα υλικά αυτά είναι το κομπόστ και το βιοεξανθράκωμα (biochar).

Το βιοεξανθράκωμα είναι στερεό υλικό, το οποίο προκύπτει έπειτα από την πυρόλυση βιομάζας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Λόγω του ότι το συγκεκριμένο προϊόν παρουσιάζει σημαντικές φυσικές και χημικές ιδιότητες καθώς και έντονο πορώδες, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση των εδαφών και την απομάκρυνση τοξικών ουσιών και άλλων ρύπων.

Η κομποστοποίηση, είναι μια διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται αποδόμηση της οργανικής ύλης των στερεών αποβλήτων. Πρόκειται για μια οικονομική, αλλά κυρίως φιλική για το περιβάλλον, μέθοδο ανακύκλωσης αποβλήτων. Το κυριότερο προϊόν της κομποστοποίησης είναι το κομπόστ, το οποίο αποτελεί μίγμα διαφορετικών υλικών. Επειδή χρησιμοποιείται, κατά κύριο λόγο στην γεωργία, είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί διερεύνηση της τοξικότητας του υλικού αυτού. Για τον έλεγχο της τοξικότητας αλλά και των συνεπειών στην ανάπτυξη και στην επιβίωση των φυτών, έπειτα από την χρήση του κομπόστ, εφαρμόζεται έλεγχος της φυτοτοξικότητας.

Η φυτοτοξικότητα αποτελεί το κυριότερο κριτήριο για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του κομπόστ για την χρήση του σε καλλιέργειες. Μελέτες έχουν δείξει ότι, η εφαρμογή μη ώριμου κομπόστ στο έδαφος, προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών. Αυτό συμβαίνει, διότι προκαλείται υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το οξυγόνο στο έδαφος. Το μη ώριμο κομπόστ εισάγει τοξικές ενώσεις, όπως βαρέα μέταλλα και φαινολικές ενώσεις, προκαλώντας έντονη συσσώρευση αλάτων και οργανικών οξέων, τα οποία επιβραδύνουν την ανάπτυξη των φυτών (Selim et al., 2012).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, σκοπός είναι να μελετηθεί ο βαθμός μείωσης της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων, τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία φιστικιών, καθώς και να εκτιμηθεί η μείωση της φυτοτοξικότητας του κομπόστ μέσω προσθήκης βιοεξανθρακώματος (biochar). Τα υγρά απόβλητα τα οποία εξετάστηκαν, προέρχονται από έκπλυση φιστικιών. Η επεξεργασία των υγρών αυτών, πραγματοποιήθηκε για να διαπιστωθεί, αν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή τους, αλλά και αν είναι εφικτή η απόρριψή τους στο έδαφος. Τα βιοεξανθρακώματα (biochars) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, προήλθαν από την πυρόλυση φλοιών φιστικιών και από την πυρόλυση πριονιδιού στους 650°C για 1h. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη κομπόστ, το ένα από την εταιρεία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ Χανίων και το δεύτερο από την Αίγινα.

Κεφάλαιο 1. Βιοεξανθράκωμα (Biochar) – Παραγωγή και Χαρακτηριστικά

Το βιοεξανθράκωμα (Biochar), είναι ένα πλούσιο σε C, πορώδες υλικό, το οποίο παράγεται μετά από θέρμανση της βιομάζας σε μέτρια θερμοκρασία κάτω από περιορισμένη ή ελεύθερη από O₂ ατμόσφαιρα (Κομνίτσας et al., 2016). Με την αργή πυρόλυση, η οποία περιλαμβάνει την θερμική επεξεργασία της βιομάζας με αργή θέρμανση σε ένα εύρος θερμοκρασιών, π.χ. 250 - 650°C σε ατμόσφαιρα χαμηλού O₂, προκύπτει η διατήρηση περίπου της μισής ποσότητας C της πρώτης ύλης.

Οι χημικές και φυσικές ιδιότητες του biochar επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό, τόσο από τη σύσταση της πρώτης ύλης, όσο και από την ακολουθούμενη διαδικασία. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του είναι η πορώδης δομή του, η οποία είναι σημαντική, όσον αφορά τη χρήση του για την βελτίωση εδαφών και την συγκράτηση του νερού στο έδαφος. Επιπλέον, το biochar αποτελεί εναλλακτική λύση για τη δέσμευση του C, τον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη, την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, είναι αρκετά προσροφητικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση οργανικών και ανόργανων ρύπων από υγρά απόβλητα, εδάφη καθώς και επικίνδυνα απόβλητα (Μαντωνανάκη, 2014; Ρεγκούζας, 2017).

Το biochar παρουσιάζει αυξημένη χημική και βιολογική σταθερότητα. Όταν εφαρμόζεται σε έδαφος, λόγω της προσροφητικότητας, μπορεί να βελτιώσει τη ποιότητα του εδάφους, να αναστείλει την κινητικότητα οργανικών και ανόργανων ρύπων προς βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες, εμποδίζοντας έτσι την ρύπανση των υπόγειων υδάτων.

Η παραγωγή του biochar μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση διαφόρων υποπροϊόντων όπως, συσσωματώματα ξύλου, καλαμπόκι, με χρήση γεωργικών αποβλήτων (φλοιό ρυζιού, κέλυφος φιστικιού), καθώς και με άλλα απόβλητα, συμπεριλαμβανομένης της υλός λυμάτων.

1.1.Παραγωγή Βιοεξανθράκωματος

Η παραγωγή βιοεξανθράκωματος πραγματοποιείται με θερμικές και βιολογικές μεθόδους. Στις βιολογικές μεθόδους περιλαμβάνονται η υδρόλυση, η ζύμωση και η αναερόβια χώνευση. Στις θερμικές μεθόδους περιλαμβάνεται η πυρόλυση.

Η κυριότερη διεργασία, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή biochar είναι η πυρόλυση. Μπορούν να διακριθούν τρία είδη πυρόλυσης, τα οποία εξαρτώνται τόσο από την θερμοκρασία όσο και από τον χρόνο θέρμανσης. Τα είδη είναι :

1. Η αργή πυρόλυση
2. Η ταχεία πυρόλυση και
3. Η ακαριαία πυρόλυση (Μαντωνανάκη, 2014)

Ανάλογα με το είδος της πυρόλυσης προκύπτουν biochars με διαφορετικές φυσικές καθώς και χημικές ιδιότητες. Η συμβατική πυρόλυση έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ξυλάνθρακα εδώ και χιλιάδες χρόνια. Σε αυτήν, η βιομάζα θερμαίνεται αργά στους περίπου 500° C και τα αέρια παραμένουν για 5 έως 30 λεπτά, σε αντίθεση με τη γρήγορη πυρόλυση που διαφεύγουν αμέσως. Η γρήγορη πυρόλυση απαιτεί ξηρή πρώτη ύλη, ταχεία μεταφορά θερμότητας, γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας με τη θέρμανση μικρών σωματιδίων βιομάζας (1-2 mm) έως 400-500 °C και χρόνους παραμονής του αερίου 1s (με μέγιστο τα 5s) (Mohan et al., 2014). Η πολύ γρήγορη πυρόλυση αναφέρεται ως ακαριαία πυρόλυση και αφορά την ταχεία μετακίνηση του υποστρώματος διαμέσου ενός θερμαινόμενου σωλήνα υπό βαρύτητα ή σε μια ροή αερίου. Αυτό το είδος της πυρόλυσης χρησιμοποιεί υψηλότερες θερμοκρασίες και μικρότερους χρόνους παραμονής και οι κύριες κατανομές των προϊόντων είναι παρόμοιες με αυτές της ταχείας πυρόλυσης (Chhiti and Kemiha, 2013).

Το στερεό προϊόν, δηλαδή το βιοεξανθράκωμα, έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, η οποία διατηρείται παρά τις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες της πυρόλυσης. Θεωρείται ότι η παραγωγή βιοεξανθρακώματος (biochar) κατά την πυρόλυση βιομάζας, συντελεί στο σχηματισμό πολυκυκλικών υδρογονανθράκων (PAHs) (Μαντωνανάκη 2014).

1.2. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του biochar

Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες του βιοεξανθρακώματος είναι η ενισχυμένη πορώδης δομή του. Κατά τη διεργασία της πυρόλυσης, η βιομάζα μετατρέπεται σε έναν σημαντικό βαθμό σε πτητικές ενώσεις, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο διάκενα και ρωγμές στο αρχικό υλικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πορώδους και της ειδικής επιφάνειας του βιοεξανθρακώματος, με τον βαθμό της αύξησης να εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής (Inyang et al., 2015). Επίσης, η πορώδης δομή του βιοεξανθρακώματος επηρεάζει την ειδική επιφάνειά του, η οποία αυξάνεται, λόγω του σχηματισμού νέων πόρων. Η ειδική επιφάνεια αποτελεί μία σημαντικότερη με τη σειρά της παράμετρο, σχετική με τις ευεργετικές ιδιότητες του βιοεξανθρακώματος, καθώς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την προσροφητική του ικανότητα και την συμπεριφορά του στο έδαφος, εάν χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (Ρεγκούζας, 2017).

Το βιοεξανθράκωμα έχει μια εξαιρετικά ετερογενή σύσταση, χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα, που περιλαμβάνει αρωματικές ενώσεις έξι ατόμων άνθρακα που συνδέονται μεταξύ τους σε δακτυλίους. Η ετερογενής σύσταση του biochar είναι αυτή που το κάνει σταθερό στο περιβάλλον (Μαντωνανάκη, 2014).

Το μέγεθος των σωματιδίων του βιοεξανθρακώματος (biochar) επηρεάζεται ανάλογα με το είδος της βιομάζας και της πυρόλυσης. Όταν εφαρμόζεται ακαριαία πυρόλυση το βιοεξανθράκωμα αποτελείται από πολύ λεπτόκοκκη σκόνη, ενώ στην αργή πυρόλυση παράγεται χονδρόκοκκο βιοεξανθράκωμα. Το μέγεθος των σωματιδίων του, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε περίπτωση που πρόκειται να πραγματοποιηθεί εφαρμογή στο έδαφος, καθώς επηρεάζει την επίδρασή του στο έδαφος (Bruun, 2011).

1.2.1. Χαρακτηριστικά παραγόμενου Biochar με χρήση πριονιδιού.

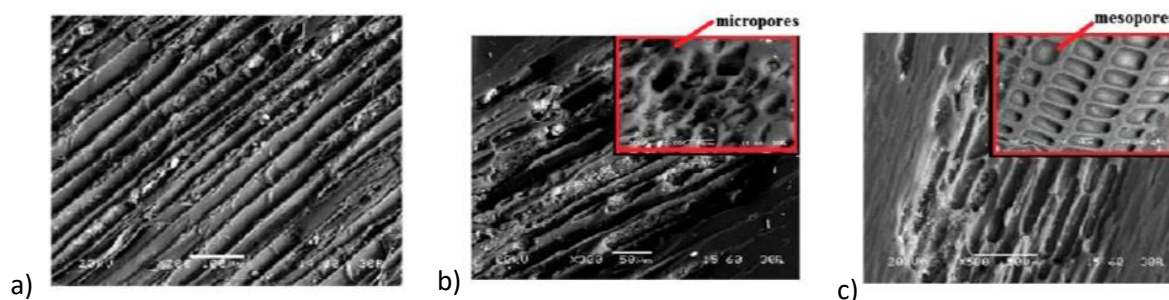
Οι Κομνίτσας et al. (2016), υπέβαλαν σε αργή πυρόλυση πριονίδι, το οποίο προερχόταν από την περιοχή των Χανίων Κρήτης, σε εύρος θερμοκρασιών 250 - 550°C για την παραγωγή biochar. Εξετάστηκε η ποιότητα του παραγόμενου biochar, αξιολογώντας την απόδοση της πυρόλυσης (Yp), την μεταβολή του pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) καθώς και την περιεκτικότητα άνθρακα (C), υδρογόνου (H), αζώτου (N) και οξυγόνου (O).

Πίνακας 1.1. Αξιολόγηση πριονιδιού (Sd) και παραγόμενου biochar σε διάφορες θερμοκρασίες.

	Sd	Sd250	Sd350	Sd450	Sd550
Yp %	-	77.0	30.6	13.8	7.8
pH	5.7	4.4	3.8	5.0	6.6
EC mS/ cm	0.38	0.17	0.20	0.22	0.42
C %	46.7	52.3	63.2	66.8	68.0
H %	5.81	3.54	2.09	1.88	1.51
N %	0.51	0.46	0.32	0.19	0.14
O %	46.98	43.7	34.9	31.13	30.35

Σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία από 250 έως 550°C, η απόδοση της πυρόλυσης μειώνεται από 77 σε 7.8%. Η μειωμένη απόδοση, η οποία προέκυψε στις υψηλές θερμοκρασίες, οφείλεται στην συμπύκνωση των αλειφατικών ενώσεων και στην απώλεια CH₄, H₂ και CO. Επίσης, αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης από τους 250 έως τους 550°C, προκαλεί αύξηση της περιεκτικότητας του C και μείωση της περιεκτικότητας σε H, N και O στο τελικό προϊόν.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εικόνες, οι οποίες λήφθηκαν με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM), για τον προσδιορισμό της δομής του παραγόμενου biochar. Η ανάλυση SEM παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την ομοιογένεια της μήτρας και την πορώδη δομή των παραγόμενων biochar.



Εικόνα 1.1. SEM εικόνες από a) Sd (x 200), b) Sd350 (x 300 και x 2000) και c) Sd 550 (x 500 και x 1000) (Κομνίτσας et al., 2016).

Σύμφωνα με την Εικόνα 1.1., η ινώδης δομή του πριονιδιού μεταβάλλεται όταν πραγματοποιείται πυρόλυση στους 350°C ή στους 550°C. Είναι προφανές ότι, όταν η θερμοκρασία της πυρόλυσης αυξάνεται από 350°C έως τους 550°C, σχηματίζεται μια μικροπορώδης και μεσοπορώδης δομή αντίστοιχα, με αιχμηρές και καμπυλωτές άκρες. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η διάμετρος των πόρων και αναπτύσσονται νέοι πόροι.

1.2.2. Χαρακτηριστικά παραγόμενου Biochar από κελύφη φιστικιών.

Οι Κομνίτσας et al. (2015), εξέτασαν την ποιότητα του παραγόμενου βιοεξανθρακώματος από κελύφη φιστικιών, τα οποία λήφθηκαν από την Αίγινα. Το υποπροϊόν αυτό, υποβλήθηκε σε αργή πυρόλυση σε εύρος θερμοκρασιών από 250 έως 650°C. Έπειτα, αξιολογήθηκαν οι κύριες ιδιότητες όπως η απόδοση της πυρόλυσης, η μεταβολή του pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) καθώς και την περιεκτικότητα άνθρακα (C), υδρογόνου (H), αζώτου (N) και οξυγόνου (O), όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2. Αξιολόγηση κελύφους φιστικιού (PI) και παραγόμενου biochar σε διάφορες θερμοκρασίες.

	PI	PI 250	PI300	PI 350	PI 450	PI 550	PI650
Υρ %	-	72.9	49.9	31.6	31.4	28.4	26.0
pH	4.25	4.68	4.96	5.11	6.71	7.15	8.81
EC mS/ cm	7.7	13.1	13.7	21.5	25.9	29.7	33.9
C %	45.93	54.20	66.67	69.98	75.0	77.25	79.34
H %	6.04	5.34	4.16	3.31	2.84	2.14	1.32
N %	0.42	0.37	0.34	0.23	0.21	0.18	0.05
O %	48	40	29	26	22	20	19

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα, η απόδοση της πυρόλυσης μειώνεται από 72.9 σε 26% με την αύξηση της θερμοκρασίας από 250 σε 650°C αντίστοιχα. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε σε μεταβολή του pH (από 4.25 σε 8.81) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (από 7.7 σε 33.9 mS/cm). Τέλος, παρατηρείται και σε αυτήν την περίπτωση αύξηση της περιεκτικότητας του άνθρακα και μείωση της περιεκτικότητας σε υδρογόνο, άζωτο και οξυγόνο.

1.3. Εφαρμογές βιοεξανθρακώματος

Το βιοεξανθράκωμα (biochar) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της ποιότητας των εδαφών, την διαχείριση των αποβλήτων, την μείωση της κλιματικής αλλαγής καθώς και για την παραγωγή ενέργειας.

Οι κυριότερες εφαρμογές τους είναι:

1. Η χρήση του ως προσροφητικό υλικό, για την απομάκρυνση ιόντων τοξικών μετάλλων, τα οποία δεν είναι εφικτό να απομακρυνθούν με άλλους τρόπους. Τα biochars όταν έρθουν σε επαφή με ανόργανους ρύπους πραγματοποιούν φυσική προσρόφηση, μέσω κάποιων μηχανισμών. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι οι ακόλουθοι: ανταλλαγή ιόντων μεταξύ μεταλλικού ιόντος και ανταλλάξιμων ιόντων στο biochar, κατακρήμνιση του ιόντος του μετάλλου και ηλεκτροστατική έλξη κατιόντος (Ahmad et al., 2014).
2. Η εφαρμογή του στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό υλικό. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των biochars, οι οποίες επηρεάζονται από τη θερμοκρασία πυρόλυσης, επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στην απόδοση προσρόφησης των οργανικών και ανόργανων ρύπων. Η βιομάζα, που έχει πυρολυθεί σε υψηλές θερμοκρασίες, είναι πιο αποτελεσματική για οργανικούς ρύπους, εξαιτίας της αυξημένης ειδικής επιφάνειας. Αντιθέτως, το biochar που προέρχεται από χαμηλές θερμοκρασίες πυρόλυσης είναι αποτελεσματικό για ανόργανους ρύπους, λόγω της παρουσίας περισσότερου οξυγόνου στις λειτουργικές ομάδες και μεγαλύτερης απελευθέρωσης κατιόντων. Έτσι, οι ιδιότητες προσρόφησης των biochars επηρεάζονται ανάλογα με τον ρύπο που απομακρύνεται (Ahmad et al., 2014).

Όταν το βιοεξανθράκωμα εφαρμόζεται στο έδαφος λειτουργεί ως υλικό που δεσμεύει στη δομή του τον οργανικό άνθρακα, ενισχύει την ποσότητα και διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, κυρίως του αζώτου και του φωσφόρου, ενώ παράλληλα είναι καλή πηγή ιχνοστοιχείων, όπως σίδηρος, μαγνήσιο και ασβέστιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση μεγαλύτερων ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών και την αποτελεσματικότερη ανάπτυξη φυτικού ιστού (Ρεγκούζας, 2017).

Κεφάλαιο 2. Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση βασίζεται στην διεργασία της φυσικής αποδόμησης των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων από μικροοργανισμούς. Η διεργασία είναι ίδια με την αποδόμηση που συντελείται στην φύση, για παράδειγμα στα δασικά εδάφη ή στους αγρούς. Το γεγονός ότι η διεργασία πραγματοποιείται υπό ελεγχόμενες συνθήκες διαφοροποιεί την κομποστοποίηση από την φυσική αποδόμηση που πραγματοποιείται στην φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων (Χαζιράκης, 2007).

Ο όρος κομποστοποίηση χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία της αερόβιας βιολογικής αποδόμησης της οργανικής ουσίας των στερεών απορριμμάτων, με την παρέμβαση του ανθρώπου κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (αερισμό, υγρασία, θερμοκρασία, pH και τον λόγο C/N). Σκοπός της αποδόμησης του οργανικού φορτίου είναι η δημιουργία ενός τελικού προϊόντος, ιδανικό για να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος, χωρίς να επιβαρυνθεί το περιβάλλον.

Η αερόβια διαδικασία οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας της οργανικής ύλης καθώς οι ανθρακικές ενώσεις καταναλώνονται ως ενεργειακές πηγές από τους μικροοργανισμούς. Στην διαδικασία αυτή πραγματοποιούνται φυσικές, χημικές και μικροβιακές αλλαγές καθιστώντας το τελικό προϊόν εντελώς διαφορετικό από το αρχικό (Χαζιράκης, 2007).

Τα κύρια προϊόντα της κομποστοποίησης είναι νερό, διοξείδιο του άνθρακα, αλλά κυρίως το κομπόστ (compost). Είναι ένα πλούσιο σε οργανική ύλη υλικό, με υψηλό χουμικό περιεχόμενο. Το κομπόστ χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό (ιδιαίτερα για αμμώδη, αργιλώδη, όξινα, πορώδη και ασβεστώδη εδάφη) ή ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών καθώς και για τη αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών. Επιπλέον, η αποδόμηση της οργανικής ουσίας των αποβλήτων, συνοδεύεται και από μείωση της μάζας των στερεών αποβλήτων κατά 50 – 60 % περίπου (Παναγιωτόπουλος, 2002).

2.1. Υλικά και διαδικασία κομποστοποίησης

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, τα βακτήρια, οι μύκητες και άλλα μικρόβια παράγουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), θερμότητα και νερό καθώς αποδομούν τα οργανικά υλικά του σωρού. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το κομπόστ (πλούσιο, σκούρο, θριφτό και άοσμο). Για την αποτελεσματική κομποστοποίηση χρειάζονται:

1. Οργανικό μίγμα υλικών (σε σωστές αναλογίες)
2. Αερισμός
3. Ελεγχόμενη μέγιστη δυνατή σχετική υγρασία
4. Μικρό μέγεθος υλικών

Η διαδικασία πραγματοποιείται σε δυο κύριες φάσεις:

1. Αρχικά, οι μικροοργανισμοί αποδομούν τα προς κομποστοποίηση υλικά σε απλούστερες ενώσεις, παράγοντας θερμότητα ως προϊόν της μεταβολικής τους δραστηριότητας. Το μέγεθος του κομποστοποιούμενου σωρού ελαττώνεται σε αυτό το στάδιο.
2. Στην δεύτερη φάση, το κομπόστ θεωρείται ώριμο. Οι μικροοργανισμοί εξαντλούν τα υπάρχοντα θρεπτικά υπολείμματα στον σωρό, η διαδικασία επιβραδύνεται και έτσι η παραγωγή θερμότητας σταδιακά ελαττώνεται και το κομπόστ ξηραίνεται και αποκτά εύθραυστη δομή. Όταν επέλθει αυτό το στάδιο το κομπόστ θεωρείται σταθερό ή ώριμο. Οποιαδήποτε μικροβιακή δραστηριότητα πλέον θα λαμβάνει χώρα σε πολύ αργούς ρυθμούς.

Για την κομποστοποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα οργανικά υλικά όπως κλαδέματα, ξερά φύλλα, φρούτα και λαχανικά, πριονίδια, απορρίμματα κουζίνας π.χ. τσόφλια αβγών, υπολείμματα καφέ, φίλτρα γαλλικού καφέ, κοπριά (π.χ. από αγελάδες,

άλογα, κότες ή κουνέλια), καθώς και φύκια ξεπλυμένα από τα άλατα με νερό. Τα απορρίμματα των σκύλων και των γατών δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται γιατί μπορούν να μεταδώσουν ασθένειες.

2.2. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση μπορεί να είναι ταχεία όταν οι συνθήκες είναι βέλτιστες και ενθαρρύνουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που συντελούν στην σταθεροποίηση του οργανικού υλικού (Τσάκωνα, 2007). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία της κομποστοποίησης είναι:

1. **Οξυγόνο:** Οι απαιτήσεις σε οξυγόνο κατά την διεργασία της κομποστοποίησης είναι μεγάλες, διότι είναι απαραίτητο για την αποδόμηση του οργανικού υλικού. Στο αρχικό στάδιο απαιτείται μεγάλη ποσότητα οξυγόνου ενώ στα επόμενα στάδια η απαίτηση μειώνεται σταθερά.
2. **Αερισμός:** Ο αερισμός είναι η διεργασία η οποία παρέχει στο υλικό της κομποστοποίησης το απαιτούμενο οξυγόνο, ενώ παράλληλα απομακρύνει τους παραγόμενους υδρατμούς, αέρια και θερμοκρασία που είναι παγιδευμένα στο υλικό. Ρόλος του αερισμού πέρα από την οξυγόνωση του υλικού είναι και η διατήρηση της θερμοκρασίας του υλικού σε ευνοϊκά για την κομποστοποίηση επίπεδα (Τσάκωνα, 2007).
3. **Μέγεθος Σωματιδίων και Πορώδες:** Το μέγεθος των υλικών επηρεάζει την διαδικασία της κομποστοποίησης. Όσο μικρότερα είναι τα τεμαχίδια του υλικού τόσο περισσότερο επιταχύνεται η διεργασία καθώς αυξάνεται η ενεργός επιφάνεια του υλικού (Χαζιράκης, 2007). _Με βάση το γεγονός ότι η συνολική διαθέσιμη επιφάνεια αυξάνει όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των σωματιδίων, συνεπάγεται ότι και η αερόβια αποδόμηση θα αυξάνει όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των σωματιδίων. Παρόλα αυτά πολύ μικρό μέγεθος σωματιδίων μειώνει το ενεργό πορώδες του υλικού (Τσάκωνα, 2007).
4. **Θρεπτικά Συστατικά:** Τα συστατικά τα οποία απαιτούνται για την πραγματοποίηση της διεργασίας είναι ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) καθώς και το κάλιο (K). Ο άνθρακας αποτελεί πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο απαιτείται για την παρασκευή των πρωτεϊνών καθώς επίσης και για την αναπαραγωγή των μικροοργανισμών. Τέλος, ο φώσφορος και το κάλιο απαιτούνται για την παραγωγή νέων κυττάρων και για τον μεταβολισμό.
5. **pH:** Η μέτρηση του pH ορίζει την οξύτητα του εδάφους. Ένα εύρος τιμών μεταξύ 6.5 και 8 θεωρείται ιδανικό για βέλτιστη και γρήγορη κομποστοποίηση. Διατηρώντας το pH σε σταθερά επίπεδα επιτυγχάνεται βέλτιστη απόδοση στην διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και στην δραστηριότητα των οργανισμών που συντελούν στην κομποστοποίηση.
6. **Υγρασία:** Η υγρασία είναι σημαντικός παράγοντας στην διαδικασία παραγωγής κομπόστ, διότι το νερό αποτελεί το μέσο για την πραγματοποίηση των χημικών αντιδράσεων και για τη μεταφορά των θρεπτικών. Κρατώντας την υγρασία σε σταθερά και ιδανικά επίπεδα, επιτυγχάνεται μια από τις σημαντικότερες συνθήκες που απαιτούνται για την κομποστοποίηση, ενώ και ο χρόνος της διεργασίας μειώνεται σημαντικά αφού παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες για να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί οι οποίοι αποδομούν την οργανική ύλη του σωρού. Η ιδανικά απαιτούμενη υγρασία είναι 40-60%.
7. **Θερμοκρασία:** Η μεταβολή της θερμοκρασίας εξαρτάται από την θερμότητα που παράγεται κατά την δράση των μικροοργανισμών και αντισταθμίζεται με τον κατάλληλο αερισμό, την επιφανειακή ψύξη του σωρού και την εξάτμιση της

περιεχόμενης υγρασίας (Χαζιράκης, 2007). Ο ρυθμός δράσης των μικροοργανισμών αυξάνεται, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, έως μια μέγιστη τιμή. Επομένως, πρέπει να ρυθμίζεται η θερμοκρασία στο μέγιστο δυνατά όριο επιβίωσης των μικροοργανισμών. Γενικά είναι αποδεκτό ότι για θερμοκρασίες μεταξύ 43 και 65°C επιτυγχάνεται αποδοτική κομποστοποίηση (Τσάκωνα, 2007).

2.2.1. Πεδία διάθεσης κομπόστ

Η κυριότερη χρήση της τεχνολογίας της κομποστοποίησης, αφορά την εφαρμογή του παραγόμενου κομπόστ ως βελτιωτικό εδαφών ή ως λίπασμα. Συμβάλει στην προστασία του εδάφους από περαιτέρω διάβρωση και παρέχει τη δυνατότητα χρήσης του ως υλικό αποκατάστασης ρυπασμένων περιοχών. Μια ακόμα εφαρμογή του κομπόστ πραγματοποιείται σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) ως υλικό επικαλύψεων.

2.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, γεγονός που την καθιστά βέλτιστη επιλογή στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης αποβλήτων. Στη συνέχεια αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης, τα οποία είναι τα εξής:

1. Απαιτείται μικρό λειτουργικό και επενδυτικό κόστος.
2. Υπάρχει η δυνατότητα χωροθέτησης σε μικρή απόσταση από την παραγωγή αποβλήτων, μειώνοντας έτσι το κόστος μεταφοράς τους.
3. Αποτελεί μια άμεσα εφαρμοζόμενη μέθοδο, λόγω του μικρού χρόνου κατασκευής.
4. Δεν παράγονται επικίνδυνα και τοξικά αέρια ή καρκινογόνες ουσίες.
5. Ευνοεί και ενθαρρύνει την ανακύκλωση όλων των βασικών υλικών.
6. Έχει καλύτερη απόδοση όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με άλλες τεχνικές.

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου, το οποίο όμως μπορεί να αντιμετωπιστεί, είναι το γεγονός ότι απαιτείται μεγάλος χώρος για τις εγκαταστάσεις μιας μονάδας κομποστοποίησης.

Κεφάλαιο 3. Πειραματική Διαδικασία

Σκοπός των πειραμάτων που διεξήχθησαν είναι να μελετηθεί ο βαθμός μείωσης της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων, τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία των φιστικιών στην Αίγινα, καθώς και να εκτιμηθεί η μείωση της φυτοτοξικότητας του κομπόστ μέσω προσθήκης βιοεξανθρακώματος (biochar). Τα υγρά απόβλητα προήλθαν από την έκπλυση φιστικιών σε δύο αγροκτήματα της Αίγινας, των κ. Αλυφαντή και κ. Κάτσα αντίστοιχα. Τα υγρά αυτά επεξεργάστηκαν με τη χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων, για να διαπιστωθεί, αν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή τους, αλλά και αν είναι εφικτή η απόρριψή τους στο έδαφος. Για τον έλεγχο της τοξικότητας του κομπόστ, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές πειραμάτων και χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη compost, το ένα από τη εταιρεία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ Χανίων και το δεύτερο από την Αίγινα.

3.1. Υλικά και Μέθοδοι για την πραγματοποίηση των πειραμάτων

Για την μείωση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής ρυθμιστικά διαλύματα:

1. υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$),
2. τριχλωριούχος Άργιλος (AlCl_3),
3. θειϊκός σίδηρος ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) και
4. καυστικό νάτριο (NaOH).

Για την μέτρηση της φυτοτοξικότητας τα υλικά, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, είναι:

1. Κομπόστ από την Αίγινα, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα ελέγχου (control) στην πρώτη σειρά πειραμάτων
2. Κομπόστ από την εταιρεία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα ελέγχου (control) στην δεύτερη σειρά πειραμάτων
3. Χώμα από το Πολυτεχνείο Κρήτης ως δείγμα ελέγχου (control) στην τρίτη σειρά πειραμάτων
4. Biochar από φιστίκι και πριονίδι.
5. Κάψουλες πορσελάνης για την πυρόλυση των βιοεξανθρακωμάτων.
6. Απιονισμένο νερό ως δείγμα ελέγχου (control) για την μέτρηση της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων
7. Σπόροι Κάρδαμου (*Lepidium Sativum*), 10 σπόροι για κάθε δοκιμή
8. Ειδικά τρυβλία Petri
9. Χάρτινα φίλτρα (Whatman διαμέτρου 150 mm)
10. Χάρτινα φίλτρα (Whatman διαμέτρου 90mm)

3.2. Τοξικότητα υγρών αποβλήτων

Η τοξικότητα είναι ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων. Ορίζεται, ως ο βαθμός στον οποίο τα απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων, έπειτα από μεγάλης διάρκειας έκθεσής τους σε αυτά.

Αρχικά, στα υγρά απόβλητα, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους και μετρήθηκε η συγκέντρωση κάποιων συστατικών. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν το pH, το Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Eh), η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC), η συγκέντρωση των φαινολών, το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), η περιεκτικότητα Fe, Mn, Cu, SO_4 , PO_4 , NO_3 , K και Zn. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν για το αρχικό υγρό καθώς και έπειτα από αρραίωση των υγρών αποβλήτων σε αναλογία κατ' όγκον 1:3 και 1:10.

Μέτρηση pH και Δυναμικού οξειδοαναγωγής

Η κινητικότητα των μεταλλικών ιόντων είναι συνάρτηση του pH και του Δυναμικού Οξειδοαναγωγής. Η ρύθμιση τους με κατάλληλες χημικές ενώσεις μπορεί να προκαλέσει καταβύθιση των βαρέων μετάλλων και να οδηγήσει στην μείωση της τοξικότητας των αποβλήτων.

Το pH και το Δυναμικό οξειδοαναγωγής των δειγμάτων μετρήθηκε σε ψηφιακό πεχάμετρο Precision pH/ORP Meter 920, της εταιρείας Benchtop Meter (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1. Πechάμετρο Precision pH/ORP Meter 920, της εταιρείας Benchtop Meter

Μέτρηση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) είναι η ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Σε ένα τέτοιο διάλυμα, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων στο υγρό. Επομένως, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των ιόντων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Τα διαλύματα των περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος. Αντίθετα, τα μόρια των οργανικών ενώσεων που δεν διίστανται όταν διαλυθούν στο νερό, άγουν ελάχιστα ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων στο πείραμα, μετρήθηκε σε αγωγιμόμετρο Bench Conductivity Meter EC215, της εταιρείας Hanna instruments (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Αγωγιμόμετρο Bench Conductivity Meter EC215, της εταιρείας Hanna instruments.

Προσδιορισμός συγκέντρωσης φαινολών

Οι φαινόλες απαντώνται σε πολλά υγρά απόβλητα και έχουν τοξική δράση όταν τα υγρά αυτά διατίθενται στο περιβάλλον χωρίς επεξεργασία. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των φαινολών στα δείγματα, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση χρωματογράφου Smart 3 Colorimeter, της εταιρείας LaMotte, έπειτα από την προσθήκη αντιδραστηρίων (Phenol Aminoantipyrine method, code 3652-01-Sc) (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3. Χρωματογράφος Smart 3 Colorimeter, της εταιρείας LaMotte.

Μέτρηση χημικά απαιτούμενου οξυγόνου COD

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο αποτελεί την ποσότητα οξυγόνου, η οποία απαιτείται, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η πλήρης χημική οξείδωση της οργανικής ύλης ενός αποβλήτου, οδηγώντας στον σχηματισμό CO_2 και H_2O .

Η μέθοδος προσδιορισμού του COD περιλαμβάνει την προσθήκη διχρωμικού καλίου, ενός καταλύτη (κυρίως άλας) και θειικού οξέος στο δείγμα. Στη συνέχεια, ακολουθεί θέρμανση του δείγματος για 2 ώρες στους 150°C , με τη χρήση του θερμοαντιδραστήρα της Wealtec και έπειτα προσδιορίζεται η συγκέντρωση του COD με τη χρήση του χρωματογράφου Smart 3 Colorimeter, της εταιρείας LaMotte (Εικόνα 3.3).

Μέτρηση Fe, Mn, Cu, SO_4 , PO_4 , NO_3 , K, Zn

Η παρουσία των παραπάνω συστατικών σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα υδατικά διαλύματα, χειροτερεύει την ποιότητα των νερών. Όπως, επίσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις φωσφορικών και νιτρικών προκαλούν το φαινόμενο του ευτροφισμού στους υδατικούς αποδέκτες.

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των συστατικών αυτών στα υγρά απόβλητα έγινε με τον χρωματογράφο Smart 3 Colorimeter, της εταιρείας LaMotte (Εικόνα 3.3), μετά από την προσθήκη ειδικών αντιδραστηρίων.

3.2.1. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Στην συνέχεια της πειραματικής διαδικασίας, έγινε προσπάθεια μείωσης της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων με την προσθήκη ρυθμιστικών διαλυμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν, υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), τριχλωριούχος άργιλος (AlCl_3) και θειικός σίδηρος ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), για την μείωση του φορτίου των αιωρούμενων κολλοειδών σωματιδίων, και την καταβύθιση ενώσεων (π.χ υδροξειδίων). Επίσης, προστέθηκε καυστικό νάτριο (NaOH) για την αύξηση του pH των διαλυμάτων, διότι τα ισχυρά όξινα ή αλκαλικά απόβλητα επεξεργάζονται δύσκολα με αποτέλεσμα να απαιτείται ρύθμιση του pH στα επιθυμητά όρια. Τα όρια που εξετάστηκαν στο παρόν πείραμα ήταν $\text{pH}=7$ και $\text{pH}=9$.

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν 1g/L AlCl_3 , $1\text{g/L FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $20\text{g/L NaOH } 0.5\text{M}$ και $20\text{g/L Ca}(\text{OH})_2$. Επίσης, μελετήθηκε η προσθήκη $10\text{g/L Ca}(\text{OH})_2$. Τέλος, μελετήθηκε ένα ακόμα δείγμα αποβλήτων, μετά την αραιώση κατ' όγκον 1:10 του αρχικού και προσθήκη $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 10 g/L .

Μετά την προσθήκη των ρυθμιστικών διαλυμάτων, προσδιορίστηκε η ποιότητα των υγρών αποβλήτων με την μέτρηση του pH, του Δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh), της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC), της συγκέντρωσης των φαινολών και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD).

3.3. Πειράματα Φυτοτοξικότητας

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε μίγμα κομπόστ αναμεμιγμένο με βιοεξανθράκωμα (biochar). Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη κομπόστ. Το πρώτο προήλθε από την Αίγινα και δημιουργήθηκε από ανακύκλωση αγροτικών αποβλήτων και το δεύτερο ήταν εμπορικό κομπόστ, το οποίο παράγεται από τη εταιρεία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ Χανίων. Στη συνέχεια, από τα μίγματα κομπόστ με βιοεξανθράκωμα δημιουργήθηκαν εκχυλίσματα και αξιολογήθηκε η φυτοτοξικότητά τους. Για τον έλεγχο της τοξικότητας του compost, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές πειραμάτων. Στην πρώτη σειρά, χρησιμοποιήθηκε κομπόστ από την Αίγινα και αναμίχθηκε με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Στην δεύτερη σειρά, το κομπόστ το οποίο αναμίχθηκε με τα biochars ήταν εκείνο από την ΔΕΔΙΣΑ Χανίων. Τέλος, στην τρίτη σειρά πειραμάτων, το υλικό για την διεξαγωγή του πειράματος, προέκυψε από την ανάμιξη εδάφους από το Πολυτεχνείο Κρήτης και κομπόστ από την Αίγινα με προσθήκη βιοεξανθράκωματος.

3.3.1. Παραγωγή βιοεξανθράκωματος (biochar)

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά υλικά για την παραγωγή των βιοεξανθράκωμάτων. Τσόφλια φιστικιών, τα οποία προέρχονται από την περιοχή της Αίγινας, η οποία είναι η κύρια περιοχή παραγωγής φιστικιών στην Ελλάδα και πριονίδι, το οποίο προέρχεται από ξυλουργείο στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, στην Κρήτη. Τα υλικά αυτά υποβλήθηκαν σε πυρόλυση σε μικρές ποσότητες, π.χ. 70g, στους 650°C για 1h, χρησιμοποιώντας κάψουλες πορσελάνης, σε συνθήκες περιορισμένης παρουσίας οξυγόνου.

3.3.2. Προετοιμασία Μίγματος και Εκχυλισμάτων

Το υλικό για την διεξαγωγή των πειραμάτων, προέκυψε από την ανάμιξη 100g κομπόστ με 10g biochar (από φιστίκι και πριονίδι) καθώς και με ανάμιξη 100g κομπόστ με 20g biochar. Στη συνέχεια έγινε διαβροχή με απιονισμένο νερό, η μάζα κάθε δείγματος αφέθηκε να ομογενοποιηθεί για 1 μήνα, 2 μήνες, 4 μήνες και 6 μήνες. Κάθε 15 μέρες διαβρέχονταν με 30mL νερό.

Για την παραγωγή των εκχυλισμάτων έγινε εκχύλιση του υλικού με χρήση απεσταγμένου νερού κατ' όγκον 1:10 χρησιμοποιώντας κωνικές φιάλες και τη συσκευή της Εικόνας 3.4. Η διάρκεια της κάθε δοκιμής ήταν 1h. Στη συνέχεια έγινε διήθηση με φίλτρα Whatman διαμέτρου 90mm. Στα υγρά πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν το pH, το Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Eh), η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC), η συγκέντρωση φαινολών και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD).



Εικόνα 3.4. Δονούμενος αναδευτήρας για την εκχύλιση σε δονούμενες κωνικές φιάλες

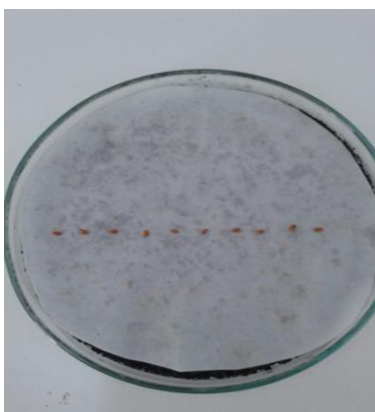
3.3.3. Διεξαγωγή πειραμάτων φυτοτοξικότητας

Στα ειδικά τρυβλία Petri τοποθετήθηκε ένα μέρος υλικού (κομπόστ+biochar), έτσι ώστε να καλύπτεται η επιφάνειά τους (Εικόνα 3.5). Το υλικό υφίσταται κορεσμό με ~20mL

απιονισμένο νερό και έπειτα καλύπτεται με φίλτρο Whatman διαμέτρου 150 mm. Στη συνέχεια, πάνω στο φίλτρο τοποθετούνται 10 σπόροι *Lepidium Sativum*. Κάθε τρυβλίο κλείνεται με το καπάκι του και φυλάσσεται σε θάλαμο σε θερμοκρασία 25°C για 3 ημέρες έτσι ώστε να αναπτυχθούν οι σπόροι. Μετά το πέρας των τριών ημερών μετρήθηκε το μήκος της ρίζας κάθε σπόρου καθώς και η ανάπτυξη του βλαστού. Για τα πειράματα όλων των δειγμάτων διεξήχθησαν 2 δοκιμές.

Όπως έχει προαναφερθεί, έγιναν 3 σειρές πειραμάτων για την εκτίμηση της μείωσης της φυτοτοξικότητας του κομπόστ με προσθήκη biochar. Κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων, ως δείγμα ελέγχου (control), στην πρώτη σειρά πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το κομπόστ από την Αίγινα. Αντιθέτως, στην δεύτερη σειρά πειραμάτων το δείγμα ελέγχου ήταν το κομπόστ από την εταιρεία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ, ενώ στην τρίτη σειρά πειραμάτων το δείγμα ελέγχου ήταν το έδαφος από το Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πριν την τοποθέτηση των σπόρων επάνω στο φίλτρο, αυτοί αποστειρώθηκαν με εμβάπτιση σε 90% αλκοόλη για 3 λεπτά και στη συνέχεια έγινε έκπλυσή τους με απιονισμένο νερό. Οι σπόροι, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν, επιτρέπουν στους βλαστούς και στις ρίζες τους να αναπτύσσονται γρήγορα.



Εικόνα 3.5.: Απεικόνιση της διάταξης για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας κομπόστ.

Για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, σε κάθε τρυβλίο τοποθετήθηκαν 10mL από κάθε υγρό, που προέκυψε από τη διήθηση, έπειτα καλύφθηκαν με φίλτρο Whatman διαμέτρου 150 mm και στη συνέχεια, πάνω στο φίλτρο, τοποθετήθηκαν 10 σπόροι *Lepidium Sativum*. Σε κάθε τρυβλίο τοποθετήθηκε το καπάκι του και φυλάχθηκε σε θάλαμο σε θερμοκρασία 25°C για 3 ημέρες έτσι ώστε να αναπτυχθούν οι σπόροι. Μετά το πέρας των τριών ημερών μετρήθηκε το μήκος της ρίζας κάθε σπόρου καθώς και η ανάπτυξη του βλαστού. Για τα πειράματα όλων των δειγμάτων διεξήχθησαν 2 δοκιμές.

Στον έλεγχο της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, το δείγμα ελέγχου (control) που χρησιμοποιήθηκε ήταν απιονισμένο νερό. Στην Εικόνα 3.6, παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη της διεξαγωγής των πειραμάτων φυτοτοξικότητας.



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση της διάταξης για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων.

3.4. Πειράματα φυτοτοξικότητας με έδαφος, κομπόστ και biochar

Στην τρίτη σειρά πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε χώμα από το Πολυτεχνείο Κρήτης, το οποίο αναμίχθηκε με το κομπόστ από την Αίγινα και βιοεξανθρακώματα από φιστίκι και πριονίδι. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν από το μίγμα.

3.4.1. Προετοιμασία δειγμάτων

Το χώμα που συλλέχθηκε, αφού πρώτα απομακρύνθηκαν οι ρίζες, τα φύλλα και οι πέτρες, κοσκινίστηκε σε -2mm για να σπάσουν τα συσσωματώματα.

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων τα μίγματα προέκυψαν σύμφωνα με τον πίνακα 3.1:

Πίνακας 3.1. Ποσότητες υλικών για την παρασκευή των μιγμάτων.

ΜΙΓΜΑΤΑ	ΕΔΑΦΟΣ (g)	ΚΟΜΠΟΣΤ (g)	BIOCHAR (φιστίκι)(g)	BIOCHAR(πριονίδι) (g)
GC1	100	10	0	0
GC2	100	30	0	0
GC3	100	10	1	0
GC4	100	10	0	1
GC5	100	10	5	0
GC6	100	10	0	5
GC7	100	30	1	0
GC8	100	30	0	1
GC9	100	30	5	0
GC10	100	30	0	5

Στη συνέχεια έγινε διαβροχή με απιονισμένο νερό, η μάζα κάθε μίγματος αφέθηκε να ομογενοποιηθεί για 1 μήνα, 2 μήνες, 4 και 6 μήνες. Κάθε 15 μέρες διαβρέχονταν με 30mL νερό.

Για την παραγωγή των εκχυλισμάτων έγινε εκχύλιση του υλικού με χρήση απεσταγμένου νερού κατ' όγκον 1:10 χρησιμοποιώντας κωνικές φιάλες και τον δονούμενο αναδευτήρα, ο οποίος αναφέρθηκε παραπάνω. Η διάρκεια της κάθε δοκιμής ήταν 1h. Στη συνέχεια έγινε διήθηση με φίλτρα Whatman διαμέτρου 90mm. Στα υγρά πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν το pH, το Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Eh), η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC), η συγκέντρωση φαινολών και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD).

3.4.2. Διεξαγωγή πειραμάτων φυτοτοξικότητας

Στα ειδικά τρυβλία τοποθετήθηκε ένα μέρος υλικού, έτσι ώστε να καλύπτεται η επιφάνειά τους. Το υλικό υφίσταται κορεσμό με ~20mL απιονισμένο νερό και έπειτα καλύπτεται με φίλτρο Whatman διαμέτρου 150 mm. Στη συνέχεια, πάνω στο φίλτρο τοποθετούνται 10 σπόροι *Lepidium Sativum*. Κάθε τρυβλίο κλείνεται με το καπάκι του και φυλάσσεται σε θάλαμο σε θερμοκρασία 25°C για 3 ημέρες έτσι ώστε να αναπτυχθούν οι σπόροι. Μετά το πέρας των τριών ημερών μετρήθηκε το μήκος της ρίζας κάθε σπόρου καθώς και η ανάπτυξη του βλαστού. Στην Εικόνα 3.7 απεικονίζεται το αποτέλεσμα της ανάπτυξης των σπόρων, μετά το πέρας των τριών ημερών της επώασης. Για τα πειράματα όλων των δειγμάτων διεξήχθησαν 2 δοκιμές.

Για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, σε κάθε τρυβλίο τοποθετήθηκαν 10mL από κάθε υγρό, που προέκυψε από τη διήθηση, έπειτα καλύφθηκαν με φίλτρο Whatman διαμέτρου 150 mm και στη συνέχεια ακολουθήθηκε η διαδικασία που

περιεγράφηκε παραπάνω. Το δείγμα ελέγχου (control), το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν απιονισμένο νερό.



Εικόνα 3.7.: Απεικόνιση ανάπτυξης των σπόρων έπειτα από το τέλος του πειράματος με σκοπό τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας.

3.5. Αξιολόγηση φυτοτοξικότητας

Η φυτοτοξικότητα αξιολογείται με τον έλεγχο της ανάπτυξης των σπόρων, η οποία υπολογίζεται με τον προσδιορισμό της ανάπτυξης του βλαστού, την επιμήκυνση της ρίζας και του Δείκτη Βλάστησης (GI, Germination Index).

Ο Δείκτης Βλάστησης (GI), είναι μια ευαίσθητη παράμετρος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της τοξικότητας του κομπόστ. Η εφαρμογή μη σταθεροποιημένου κομπόστ στην καλλιέργεια, μπορεί να οδηγήσει σε εγκλωβισμό ή αδρανοποίηση των θρεπτικών συστατικών των φυτών και να προκληθεί φυτοτοξικότητα.

Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με την χρήση των ακόλουθων εξισώσεων (Selim et al., 2012)

$$\begin{aligned} & \text{Σχετική ανάπτυξη του βλαστού (\%)} \\ &= \frac{\text{Αρ. βλαστών που αναπτύχθηκαν στο δείγμα}}{\text{Αριθμός βλαστών στο δείγμα ελέγχου}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Σχετική επιμήκυνση της ρίζας (\%)} \\ &= \frac{\text{Μέση επιμήκυνση της ρίζας στο δείγμα}}{\text{Μέση επιμήκυνση της ρίζας στο δείγμα ελέγχου}} \times 100 \end{aligned}$$

$$GI = \frac{(\% \text{ ανάπτυξη βλαστού}) \times (\% \text{ επιμήκυνση της ρίζας})}{100\%}$$

Το μήκος των ριζών μετρήθηκε με τη χρήση χάρακα σε εκατοστά (cm). Για να θεωρηθεί ένας σπόρος αναπτυγμένος θα πρέπει το μήκος των ριζών να είναι πάνω από 0,5cm. Για τις ρίζες με μήκος μικρότερο των 0.5cm, θεωρείται μήκος μηδέν και επομένως ο σπόρος θεωρείται ότι δεν έχει αναπτυχθεί.

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν έπειτα από την πειραματική διαδικασία, η οποία ακολουθήθηκε για την μείωση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων, καθώς και τα αποτελέσματα της διερεύνησης της τοξικότητας του κομπόστ μέσω της προσθήκης βιοεξανθρακώματος (biochar). Για τα υγρά απόβλητα, δόθηκε έμφαση στις φυσικοχημικές ιδιότητες τους (pH, Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Eh), Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC), η συγκέντρωση φαινολών, χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)).

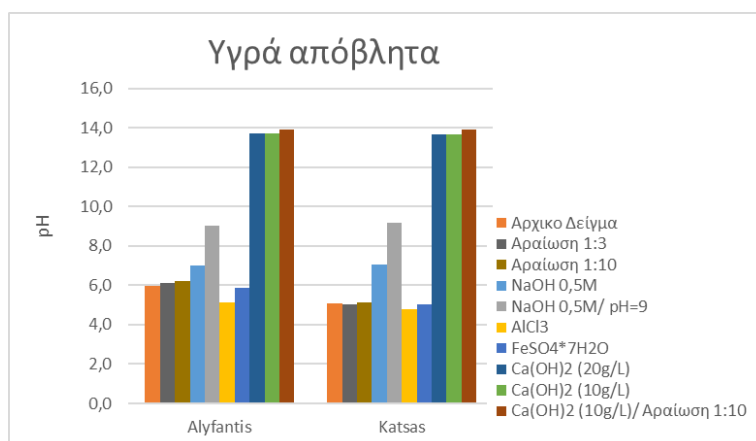
Όσον αφορά τα πειράματα φυτοτοξικότητας, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του Δείκτη Βλάστησης GI (Germination Index), στα μίγματα, τα οποία προέκυψαν με την ανάμιξη κομπόστ και biochar καθώς και στα εκχυλίσματα, τα οποία δημιουργήθηκαν από τα μίγματα αυτά. Επίσης, στα εκχυλίσματα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος των φυσικοχημικών ιδιοτήτων, όπως και στα υγρά απόβλητα της Αίγινας.

4.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Στο Διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH των υγρών αποβλήτων, από τα δύο αγροκτήματα της Αίγινας, των κ. Αλυφαντή και κ. Κάτσα, έπειτα από την αραιώση και την προσθήκη των αντιδραστηρίων. Οι τιμές του pH στα αρχικά δείγματα είναι 5,96 και 5,07 αντίστοιχα. Κατά την αραιώση κατ' όγκων 1:3, το pH αυξήθηκε (6,14) στο υγρό από την περιοχή του κ.Αλυφαντή, ενώ δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη μεταβολή (5,09) στο υγρό από την περιοχή του κ. Κάτσα, σε σχέση με το αρχικό δείγμα. Στην αραιώση κατ' όγκων 1:10, οι τιμές του pH αυξάνονται ελαφρά και στα δύο υγρά απόβλητα, σε pH=6,20 και pH=5,12, αντίστοιχα.

Όπως προαναφέρθηκε, κατά την διεξαγωγή των δοκιμών για την επεξεργασία των αρχικών υγρών αποβλήτων, έγινε προσθήκη NaOH, για την ρύθμιση του pH στα επιθυμητά όρια. Για pH=7 χρησιμοποιήθηκαν 16mL NaOH, ενώ για pH=9 χρησιμοποιήθηκαν 22mL NaOH.

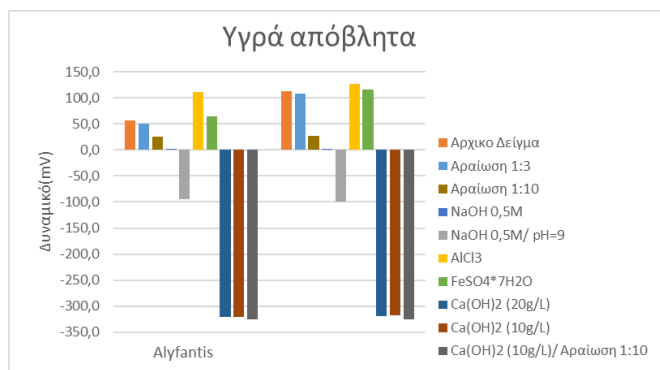
Με την προσθήκη $AlCl_3$ παρατηρείται μείωση του pH των αρχικών υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, οι τιμές μειώθηκαν σε 5,11 και 4,8 αντίστοιχα. Επίσης, μικρή μεταβολή παρατηρείται και με την προσθήκη $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, με τις τιμές του pH να μειώνονται σε 5,88 και 5,02 αντίστοιχα. Από το διάγραμμα 4.1 προκύπτει πως με την προσθήκη $Ca(OH)_2$, οι τιμές του pH των δειγμάτων διπλασιάζονται (pH 13,6- 13,9)σε σχέση με τα αρχικά δείγματα.



Διάγραμμα 4.1. Μεταβολή του pH των Υγρών Αποβλήτων από δύο περιοχές της Αίγινας μετά από αραιώση και προσθήκη των αντιδραστηρίων.

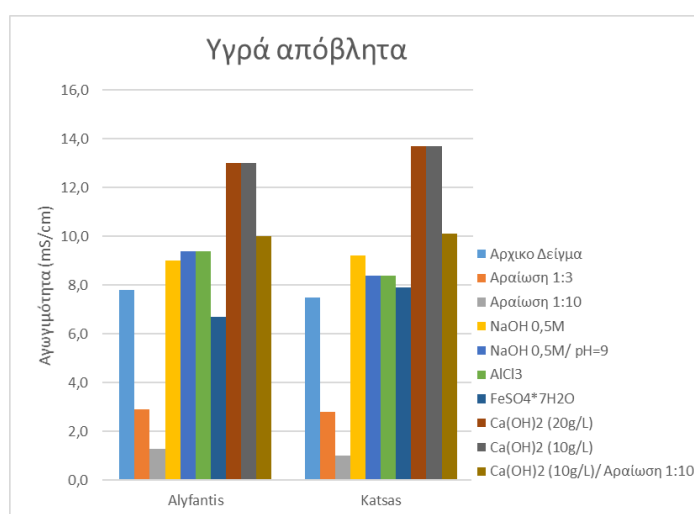
Στο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται η μεταβολή του Δυναμικού οξειδοαναγωγής των υγρών αποβλήτων, από τα δύο αγροκτήματα της Αίγινας, των κ. Αλυφαντή και κ. Κάτσα, έπειτα από την αραιώση και την προσθήκη των αντιδραστηρίων. Οι τιμές του Δυναμικού

Οξειδοαναγωγής είναι αντιστρόφως ανάλογες με τις τιμές του pH. Επομένως, με αύξηση του pH παρατηρείται μείωση του Δυναμικού οξειδοαναγωγής. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, οι σημαντικότερες μεταβολές δυναμικού οξειδοαναγωγής παρατηρούνται με την προσθήκη Ca(OH)_2 . Στα αρχικά δείγματα, οι τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής είναι 57,2 mV και 112,5 mV, αντίστοιχα. Έπειτα από την προσθήκη του Ca(OH)_2 και λόγω την αύξησης του pH, παρατηρείται μείωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής, με τις τιμές του να κυμαίνονται μεταξύ -320 έως -326 mV.



Διάγραμμα 4.2. Μεταβολή του Δυναμικού οξειδοαναγωγής των Υγρών Αποβλήτων από δύο περιοχές της Αίγινας.

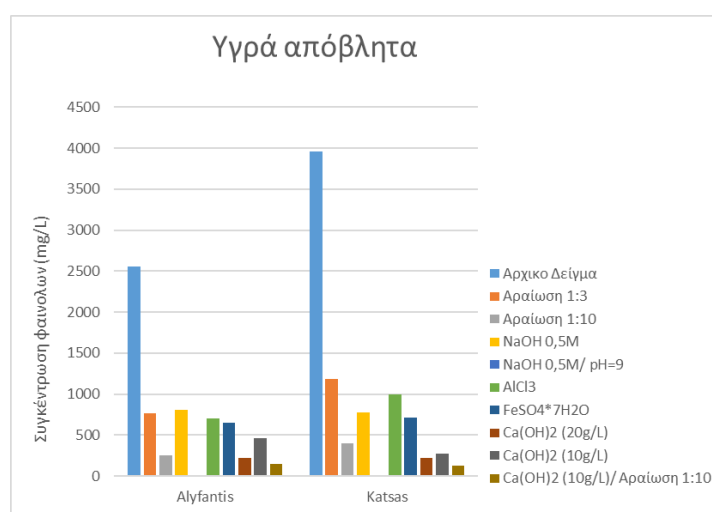
Το διάγραμμα 4.3 παρουσιάζει τις μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των υγρών αποβλήτων από τα δύο αγροκτήματα της Αίγινας. Η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων στο υγρό. Αυτό σημαίνει ότι, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των ιόντων, τόσο υψηλότερη είναι η αγωγιμότητα. Σύμφωνα με το διάγραμμα, η EC, από 7,8 mS/cm και 7,5 mS/cm στα αρχικά δείγματα, μειώθηκε κατά την αραίωση τους σε αναλογία κατ' όγκον 1:3 σε 2,9 mS/cm και 2,8 mS/cm, αντίστοιχα. Ενώ στην αραίωση κατ' όγκον 1:10, η EC μειώθηκε σε 1,3 mS/cm και 1,0 mS/cm. Με την προσθήκη ρυθμιστικών διαλυμάτων, η EC αυξήθηκε. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται με την προσθήκη Ca(OH)_2 (20g/L), όπου η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυξάνει σε 15,6 mS/cm και 14,8 mS/cm, αντίστοιχα. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.3, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μειώθηκε σε 6,7 mS/cm, στο δείγμα από την περιοχή του κ. Αλυφαντή, έπειτα από την προσθήκη $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.



Διάγραμμα 4.3. Μεταβολή της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας των Υγρών Αποβλήτων από δύο περιοχές της Αίγινας.

Στο διάγραμμα 4.4, απεικονίζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών, στα δείγματα των υγρών αποβλήτων, από τις δυο περιοχές της Αίγινας. Σύμφωνα με τον

Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), απαγορεύεται η απόρριψη υγρών αποβλήτων στο έδαφος και στα επιφανειακά ή στα υπόγεια ύδατα, εάν δεν διασφαλίζεται ότι οι τιμές των παραμέτρων (π.χ. pH, COD κ.α.) των αποβλήτων είναι μικρότερες από το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο. Επομένως, σε ένα υγρό απόβλητο, το επιτρεπόμενο όριο συγκέντρωσης φαινολών είναι 0,5 mg/L. Στη παρούσα εργασία, στα υγρά απόβλητα, τα οποία επεξεργάστηκαν, η περιεκτικότητα των φαινολών στα αρχικά δείγματα είναι 2560 mg/L από το αγρόκτημα του κ.Αλυφαντή και 3960 mg/L από το αγρόκτημα του κ.Κάτσα. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.4 η συγκέντρωση φαινολών, μειώθηκε μετά τις αραιώσεις, με τη μέγιστη μείωση να είναι στην αραιώση κατ' όγκον 1:10 (256mg/L και 396 mg/L). Επίσης, μείωση παρατηρείται και με την προσθήκη αντιδραστηρίων. Αναλυτικότερα, η συγκέντρωση των φαινολών, σε σχέση με τα αρχικά δείγματα, κυμάνθηκε μεταξύ 129-998 mg/L. Η μέγιστη μείωση (129 mg/L) πραγματοποιήθηκε με την προσθήκη $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (10g/L) στο δείγμα που προέρχεται από το αγρόκτημα του κ.Κάτσα, το οποίο έχει υποστεί αραιώση σε αναλογία 1:10. Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα παραπάνω, σε καμιά δοκιμή, η συγκέντρωση των φαινολών δεν προσεγγίσει το επιτρεπόμενο όριο.



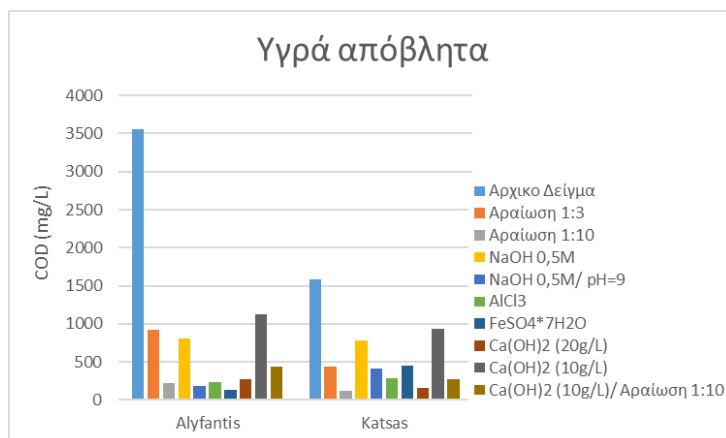
Διάγραμμα 4.4. Μεταβολή της συγκέντρωσης φαινολών των Υγρών Αποβλήτων από δύο περιοχές της Αίγινας.

Στο διάγραμμα 4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μείωσης του COD από τα υγρά απόβλητα των αγροκτημάτων της Αίγινας, του κ. Αλυφαντή και κ. Κάτσα. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), για την απόρριψη υγρών αποβλήτων στο έδαφος και στα επιφανειακά ή στα υπόγεια ύδατα, το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο του COD είναι 120 mg/L. Στο αρχικό δείγμα η συγκέντρωση του COD ήταν 3560 mg/L (Αλυφαντή) και 1580 mg/L (Κάτσα). Έπειτα από την αραιώση των δειγμάτων, παρατηρήθηκε απομάκρυνση του COD. Στην αραιώση 1:3, στο δείγμα από το κτήμα του κ. Αλυφαντή, η συγκέντρωση COD μειώθηκε στα 925 mg/L και στο κτήμα του κ. Κάτσα μειώθηκε στα 443 mg/L. Αντίστοιχα, μείωση παρατηρήθηκε και στην αραιώση 1:10 (222 mg/L και 124 mg/L, αντίστοιχα), με το δείγμα από το αγρόκτημα του κ. Κάτσα να προσεγγίζει το επιτρεπόμενο όριο.

Από τα αποτελέσματα στο Διάγραμμα 4.4 παρατηρείται ότι, με την προσθήκη των ρυθμιστικών διαλυμάτων, το οργανικό φορτίο των αρχικών υγρών αποβλήτων μειώθηκε ραγδαία. Οι μεγαλύτερες απομακρύνσεις παρατηρούνται με την προσθήκη NaOH μέχρι pH 9, με την προσθήκη 20 g/L $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και με την προσθήκη 1 g/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Με την προσθήκη NaOH, η συγκέντρωση COD μειώθηκε ραγδαία στο δείγμα από το κτήμα Αλυφαντή (179 mg/L). Με την προσθήκη $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, αρκετά μεγάλη μείωση παρατηρήθηκε ξανά στο δείγμα από το κτήμα Αλυφαντή (127 mg/L), προσεγγίζοντας αρκετά το επιτρεπόμενο όριο. Τέλος,

όσον αφορά τα δείγματα από το κτήμα Κάτσα, παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση στη συγκέντρωση του COD (160 mg/L), στο δείγμα στο οποίο προστέθηκε $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (20g/L).

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα νομοθετικά επιτρεπόμενα όρια, τα οποία αναφέρθηκαν προηγούμενα, η απόρριψη των υγρών απόβλητων από τις δύο περιοχές της Αίγινας, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί, διότι η συγκέντρωση COD δεν μειώθηκε κάτω από τα 120 mg/L.



Διάγραμμα 4.5. Μεταβολή τιμών του COD των Υγρών Αποβλήτων από δύο περιοχές της Αίγινας.

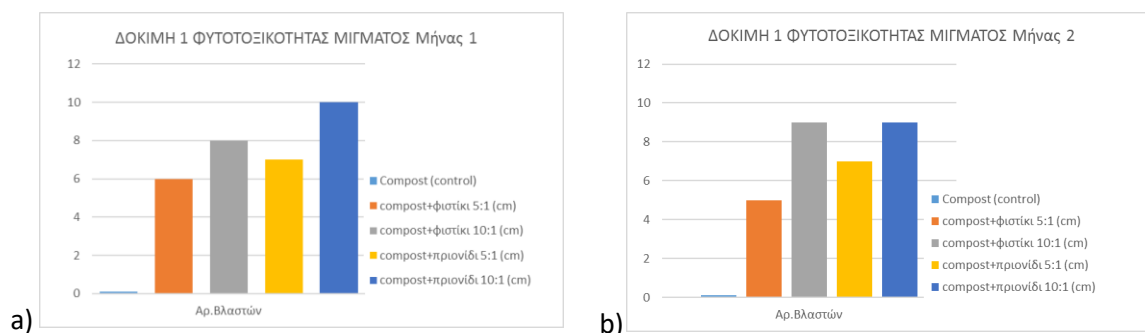
4.2. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας

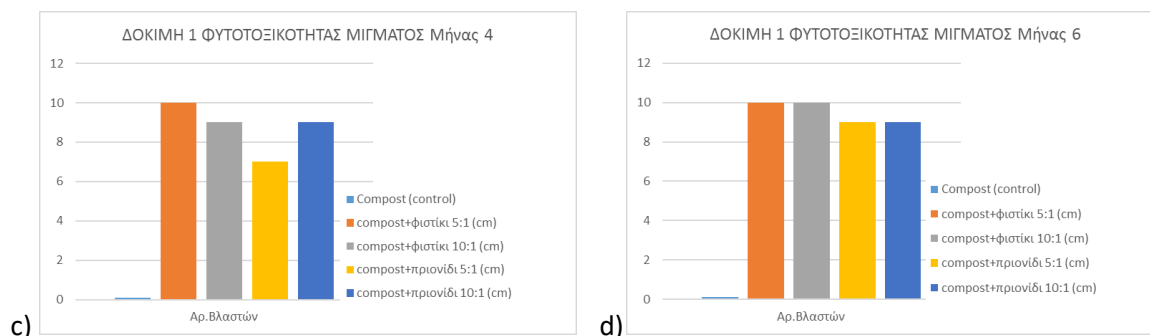
4.2.1.1. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας σε κομπόστ Αίγινας και biochar

Η πρώτη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση κομπόστ από την Αίγινα, ως δείγμα ελέγχου (control), με την προσθήκη βιοεξανθρακώματος (από πριονίδι και φιστίκι). Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Αρχικά, εξετάστηκε ο αριθμός των σπόρων, οι οποίοι αναπτύχθηκαν στους 6 μήνες της διεξαγωγής των πειραμάτων, στις δυο δοκιμές. Στα Διαγράμματα 4.6 και 4.7, παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του αριθμού των βλαστών που αναπτύχθηκαν στα μίγματα με κομπόστ, το οποίο δημιουργήθηκε από την ανακύκλωση αγροτικών αποβλήτων της Αίγινας και προσθήκη biochar από φιστίκι και πριονίδι.

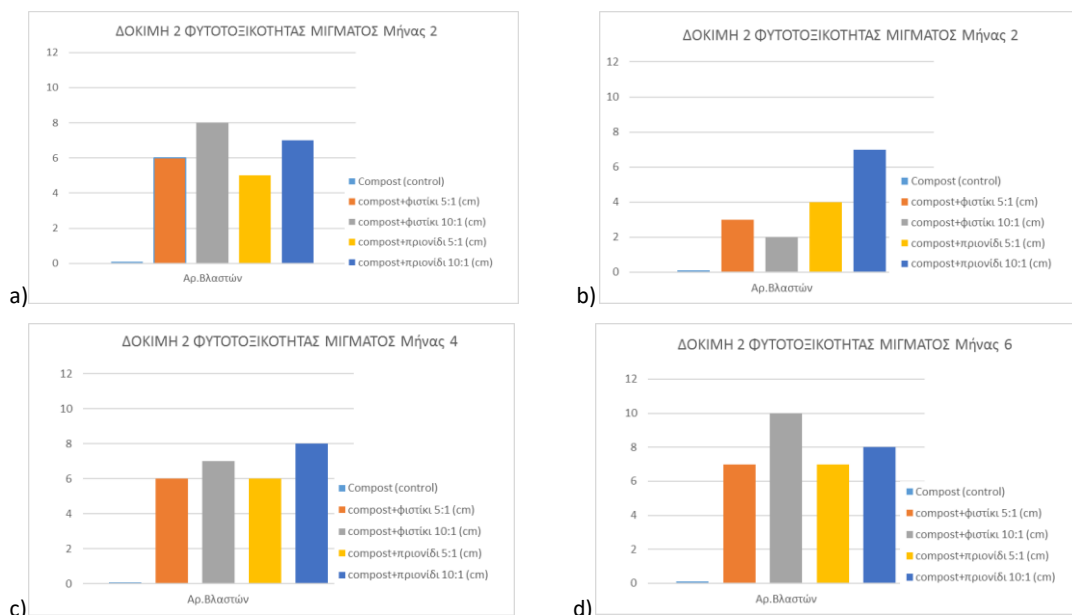
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.6, παρατηρείται ότι στο δείγμα ελέγχου (control), το οποίο ήταν το κομπόστ χωρίς την προσθήκη biochar, δεν αναπτύχθηκε κανένας σπόρος. Αντιθέτως, με την προσθήκη των biochars, παρατηρήθηκε ανάπτυξη βλαστών και σε ορισμένες περιπτώσεις αναπτύχθηκαν και οι 10 σπόροι της 1^{ης} δοκιμής. Αναλυτικότερα, μετά από ένα μήνα αναπτύχθηκαν όλοι οι σπόροι (10 σπόροι) στο μίγμα το οποίο περιείχε compost και πριονίδι σε αναλογία (10:1), ενώ για το μίγμα το οποίο περιείχε compost και φιστίκι σε αναλογία (5:1) χρειάστηκαν 4 μήνες. Τέλος, για το μίγμα το οποίο περιείχε compost + φιστίκι σε αναλογία (10:1) απαιτήθηκαν 6 μήνες για την ανάπτυξη όλων των σπόρων (10 σπόροι).





Διάγραμμα 4.6. 1^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα κομπόστ από την Αίγινα με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). α) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον πρώτο μήνα, β) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον δεύτερο μήνα, γ) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον τέταρτο μήνα, δ) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον έκτο μήνα.

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.7, παρατηρείται ότι και στην 2^η Δοκιμή προσδιορισμού της φυτοτοξικότητας, στο δείγμα ελέγχου (control), δεν αναπτύχθηκε κανένας σπόρος. Τουναντίον, με την ανάμιξη των biochars, παρατηρήθηκε ανάπτυξη βλαστών. Στην δεύτερη δοκιμή, αναπτύχθηκαν όλοι οι σπόροι (10 σπόροι), στο μίγμα το οποίο περιείχε κομπόστ και φιστίκι σε αναλογία (10:1), αλλά απαιτήθηκαν 6 μήνες.



Διάγραμμα 4.7. 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα κομπόστ από την Αίγινα με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). α) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον πρώτο μήνα, β) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον δεύτερο μήνα, γ) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον τέταρτο μήνα, δ) Αριθμός βλαστών οι οποίοι αναπτύχθηκαν τον έκτο μήνα.

4.2.1.2. Υπολογισμός Δείκτη ανάπτυξης (GI) σπόρων στα εκχυλίσματα

Στα εκχυλίσματα, τα οποία προέκυψαν με αραίωση του μίγματος (κομπόστ με προσθήκη biochar) με απιονισμένο νερό σε αναλογία όγκων 1:10, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του Δείκτη Βλάστησης (GI) των σπόρων. Στη συνέχεια, συνοψίζονται οι μεταβολές του Δείκτη Βλάστησης (GI) των δύο δοκιμών, στον Πίνακα 4.1 και στον Πίνακα 4.2.

Στην 1^η Δοκιμή για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1, το ποσοστό του Δείκτη GI αυξήθηκε κατά την πάροδο των μηνών. Παρατηρείται όμως, ότι στο εκχύλισμα compost + πριονίδι με αναλογία (5:1), ο GI του 1^{ου} μήνα είναι μεγαλύτερος (120%) σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες (95%, 103%). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μήκος των ριζών των σπόρων που αναπτύχθηκαν τους επόμενους μήνες, ήταν μικρότερο σε σχέση με τον 1ο μήνα (Μ.Ο. ριζών 2,9 cm τον 1ο μήνα, 2,3 cm τον 2ο μήνα).

Πίνακας 4.1. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων 1^{ης} Δοκιμής

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΔΟΚΙΜΗ 1				
ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
compost+ φιστίκι 5:1	79	45	111	174
compost+ φιστίκι 10:1	62	79	108	105
compost+ πριονίδι 5:1	120	95	95	103
compost+ πριονίδι 10:1	48	61	79	96

Στον πίνακα 4.2, ο οποίος αποτελεί την 2^η Δοκιμή για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, ο Δείκτης Ανάπτυξης GI αυξάνεται τον 4ο και 6ο μήνα, αλλά στα 3 από τα 4 εκχύλιστα του 2^{ου} μήνα μειώνεται. Σε αυτήν την περίπτωση η αιτία της μείωσης δεν οφείλεται στο μήκος των ριζών, αλλά στον αριθμό των βλαστών. Για παράδειγμα, στο εκχύλισμα compost+φιστίκι σε αναλογία 5:1, αναπτύχθηκαν 10 σπόροι τον 1ο μήνα αλλά μόλις 6 σπόροι των 2ο μήνα.

Πίνακας 4.2. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων 2^{ης} Δοκιμής

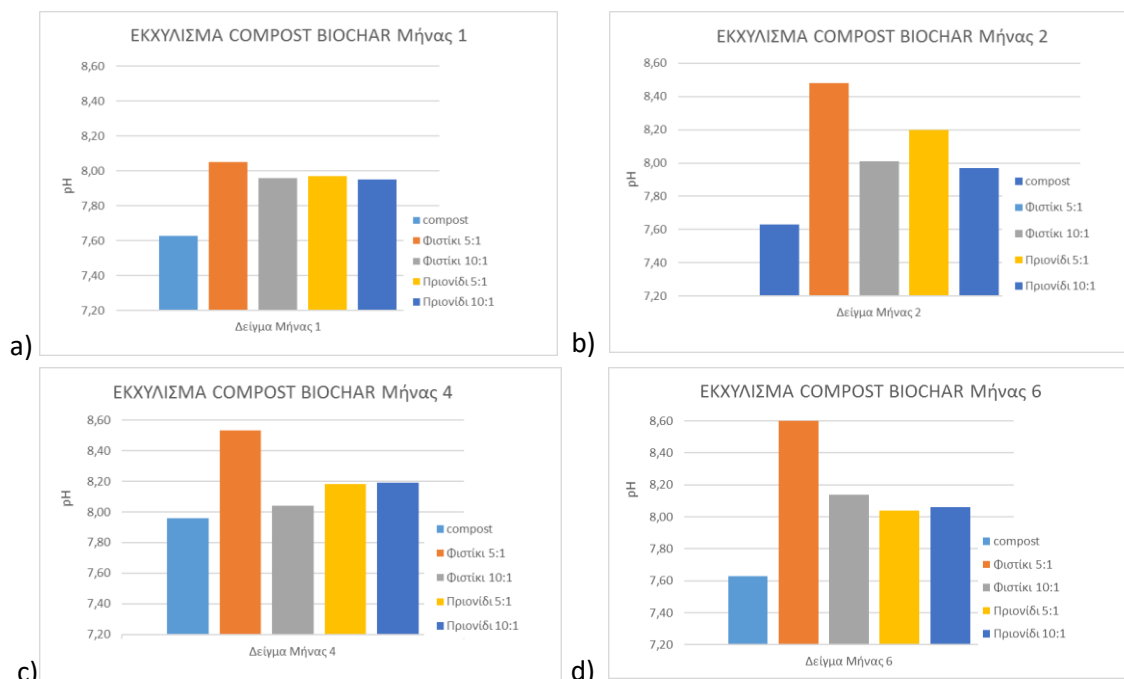
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΔΟΚΙΜΗ 2				
ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
compost+ φιστίκι 5:1	299	118	325	337
compost+ φιστίκι 10:1	255	328	439	293
compost+ πριονίδι 5:1	308	192	478	268
compost+ πριονίδι 10:1	194	179	388	242

Συγκρίνοντας τις δύο δοκιμές, το ποσοστό του δείκτη GI είναι μεγαλύτερο στην 2^η Δοκιμή, διότι στο δείγμα ελέγχου, αναπτύχθηκαν 9 σπόροι στην 1^η Δοκιμή και 5 σπόροι στην 2^η Δοκιμή (Παράρτημα Α). Η ανάπτυξη των σπόρων του δείγματος ελέγχου είναι σημαντική, από την στιγμή που για να υπολογιστεί ο Δείκτης Βλάστησης, λαμβάνονται υπόψιν, ο αριθμός των βλαστών που αναπτύχθηκαν στο δείγμα ελέγχου (control) καθώς και η μέση επιμήκυνση των ριζών.

Όπως επιχειρηματολογούν οι Selim et al. (2012), ένα κομπόστ θεωρείται ώριμο όταν ο Δείκτης Βλάστησης GI είναι μεγαλύτερος από το 60% σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Στην έρευνα τους, προσδιόρισαν την φυτοτοξικότητα εκχυλισμάτων κομπόστ, κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης, χρησιμοποιώντας σπόρους Καρδάμου (*Lepidium sativum*). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τους, στην αρχή της κομποστοποίησης, η τιμή του Δείκτη ανάπτυξης ήταν 18,76 – 20,53% σε σχέση με το δείγμα ελέγχου το οποίο ήταν απιονισμένο νερό. Με την πάροδο των ημερών, ο Δείκτης ανάπτυξης GI αυξήθηκε κατά 81,88- 97,46%.

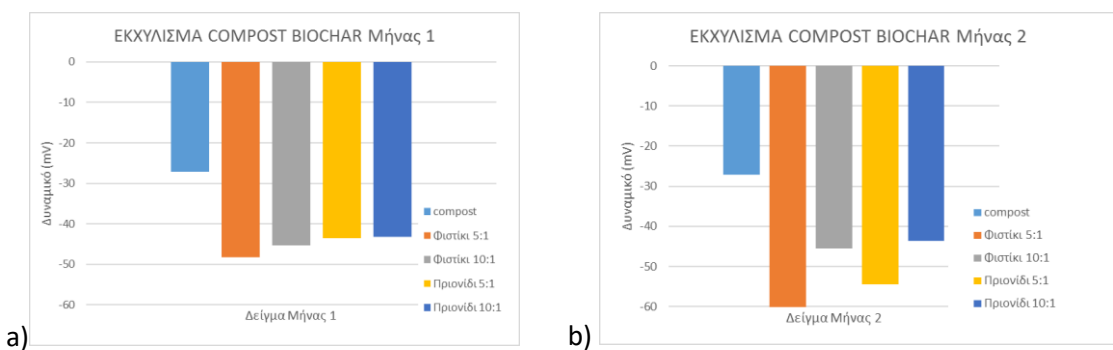
4.2.1.3. Προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων μίγματος compost Αίγινας και biochar

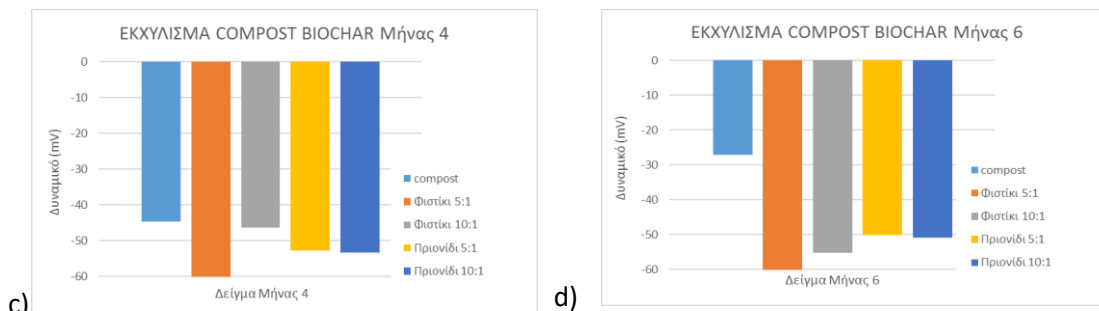
Στο Διάγραμμα 4.8 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH των εκχυλισμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη του κομπόστ με τα biochars (από φιστίκι και πριονίδι). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, δεν υπήρξε σημαντική μεταβολή του pH μεταξύ των εκχυλισμάτων. Παρατηρείται ότι αυξάνεται σταδιακά με τις τιμές του pH να κυμαίνονται μεταξύ του 7,6 με 8,7.



Διάγραμμα 4.8. Μεταβολή του pH των εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

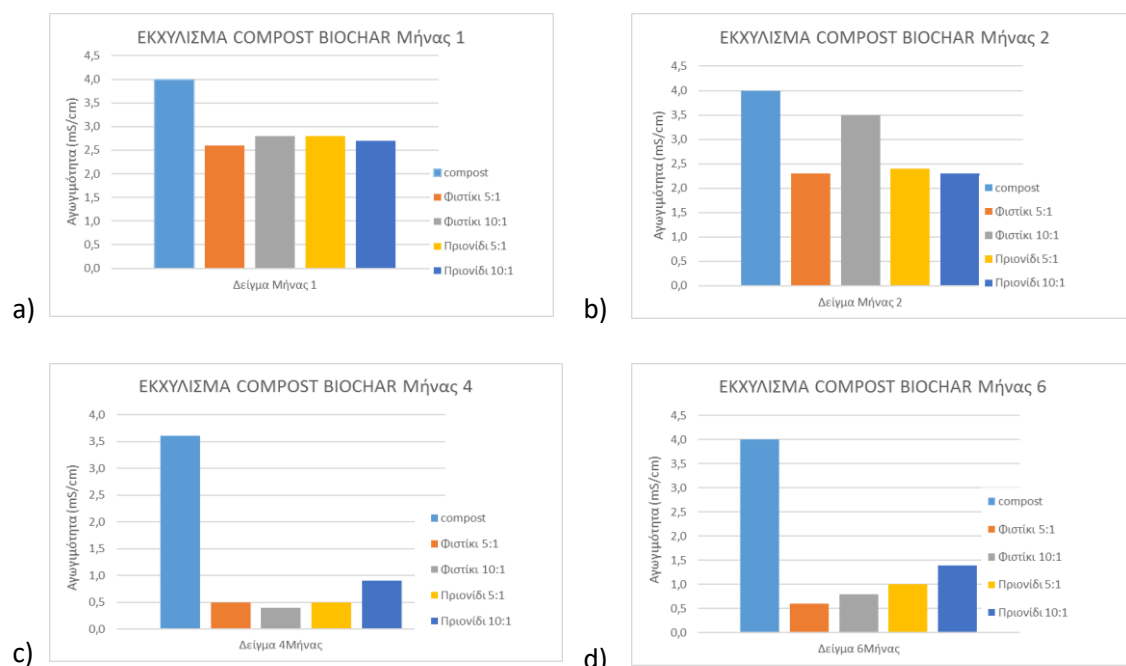
Στο Διάγραμμα 4.9 παρουσιάζεται η μεταβολή του Δυναμικού οξειδοαναγωγής των εκχυλισμάτων κομπόστ με προσθήκη Biochar. Οι τιμές του Δυναμικού είναι αντιστρόφως ανάλογες με τις τιμές του pH. Επομένως, με την αύξηση του pH, παρατηρήθηκε η μείωση του Δυναμικού οξειδοαναγωγής.





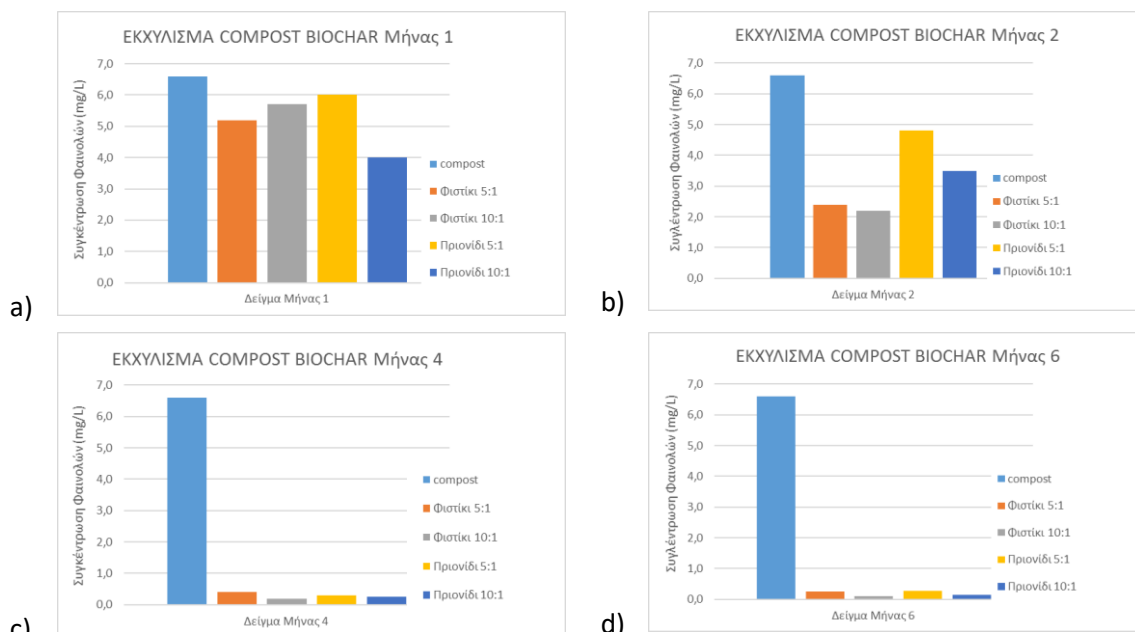
Διάγραμμα 4.9. Μεταβολή των τιμών Δυναμικού οξειδοαναγωγής (mV) εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

Στο διάγραμμα 4.10 παρουσιάζονται οι μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των εκχυλισμάτων κομπόστ Αίγινας με προσθήκη biochar. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων στο υγρό. Αυτό σημαίνει ότι, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των ιόντων, τόσο υψηλότερη είναι η αγωγιμότητα. Η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC), σε μια καλλιέργεια επηρεάζεται από τα θρεπτικά στοιχεία κατά την ομαλή ανάπτυξη της. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στο Διάγραμμα 4.10, η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και αυτό οφείλεται στην κατανάλωση των θρεπτικών στοιχείων. Τον έκτο μήνα η EC αυξάνεται σε σχέση με τον τέταρτο μήνα, στα εκχυλίσματα κομπόστ και φιστίκι σε αναλογία 10:1 (0.8 mS/cm), κομπόστ και πριονίδι σε αναλογία 5:1 (1,0 mS/cm) και κομπόστ και πριονίδι σε αναλογία 10:1 (1,4 mS/cm).



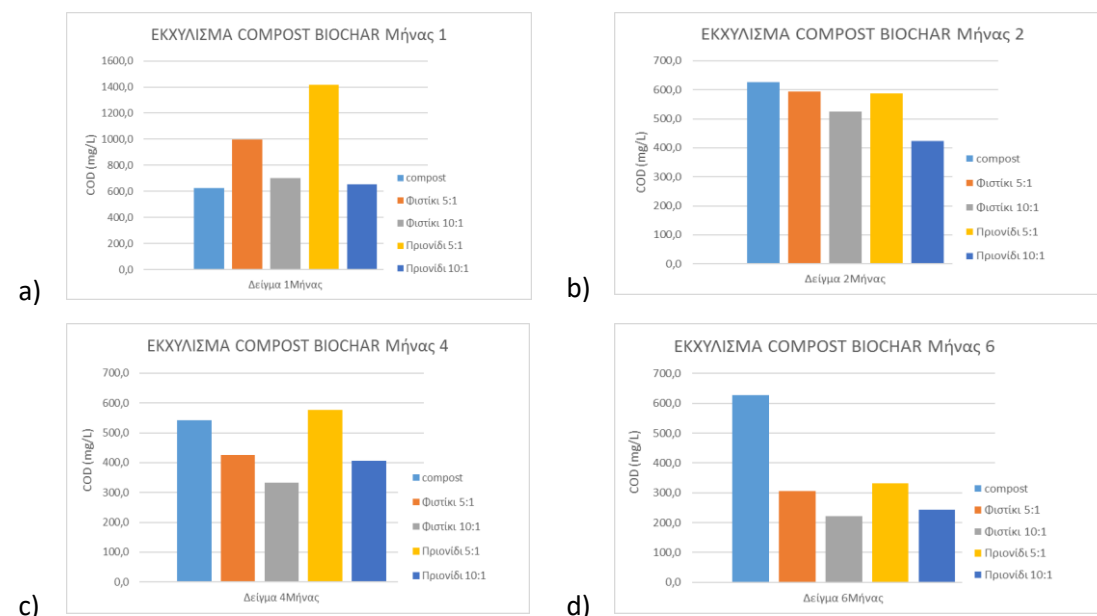
Διάγραμμα 4.10. Μεταβολή της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (mS/cm) εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

Στο διάγραμμα 4.11, παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών των εκχυλισμάτων. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο περιεκτικότητας των φαινολών για την ποιότητα του νερού, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την μέγιστη ανάπτυξη ενός φυτού, είναι 0,5 mg/L. Στην πρώτη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης των φαινολών σε όλα τα εκχυλίσματα με την πάροδο του χρόνου, καθώς και η επίτευξη της μείωσης τους κάτω από το επιτρεπτό όριο. Η μέγιστη μείωση (0,11 mg/L) παρατηρήθηκε στο εκχύλισμα κομπόστ με φιστίκι σε αναλογία 10:1, τον 6ο μήνα.



Διάγραμμα 4.11. Μεταβολή συγκέντρωσης φαινολών (mg/L) εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

Στο διάγραμμα 4.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μείωσης του COD στα εκχυλίσματα, τα οποία προέκυψαν από την ανάμιξη κομπόστ Αίγινας με biochar. Το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο της συγκέντρωσης COD, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), για την ποιότητα του νερού το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός φυτού, είναι 120 mg/L. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.12, παρατηρείται ότι το οργανικό φορτίο των εκχυλισμάτων μειώθηκε. Η υψηλότερη μείωση παρατηρείται στο εκχύλισμα με ανάμιξη κομπόστ και φιστίκι σε αναλογία 10:1 (222 mg/L), σε σχέση με το δείγμα ελέγχου (627 mg/L), αλλά σε κανένα εκχύλισμα δεν επιτεύχθηκε η μείωση κάτω από το επιτρεπόμενο όριο.



Διάγραμμα 4.12. Μεταβολή της συγκέντρωσης του COD (mg/L) εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας με προσθήκη biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας

4.2.2. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας μίγματος εμπορικού κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) και biochar

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας, χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα ελέγχου (control), εμπορικό κομπόστ από την εταιρία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ Χανίων. Όπως και στην πρώτη σειρά πειραμάτων, έτσι και εδώ έγινε προσθήκη biochar (από πριονίδι και φιστίκι) για την παραγωγή των μιγμάτων καθώς και των εκχυλισμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν έπειτα από την αραίωση (1:10) των μιγμάτων. Επίσης, στα εκχυλίσματα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος των φυσικοχημικών ιδιοτήτων. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας.

Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας, όσον αφορά τα μίγματα, παρατηρήθηκε ότι δεν αναπτύχθηκε κανένας σπόρος στα δείγματα, καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης (6 μήνες).

Το εμπορικό κομπόστ, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα, προήλθε από την εταιρία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ Χανίων, στην οποία λειτουργεί το Εργαστήριο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ). Για την παραγωγή οργανικού υλικού για χρήση ως βελτιωτικό εδάφους, επεξεργάζονται τα υπολείμματα τροφών, φρούτων και λαχανικών καθώς και χαρτιά υγείας και χαρτοπετσέτες, προσθέτοντας στο κλάσμα διάφορα φυτικά υπολείμματα (όπως κλαδιά), αφού προηγουμένως τεμαχιστούν. Σκοπός αυτής της προσθήκης είναι να δώσουν τον απαραίτητο όγκο στο οργανικό κλάσμα προκειμένου να εξασφαλιστεί ο αναγκαίος αερισμός κατά την κομποστοποίηση. Η Διαλογή των Βιολογικών Αποβλήτων γίνεται με την τοποθέτηση καφέ κάδων σε μεγάλους παραγωγούς (λαϊκές, λέσχες σίτισης, παντοπωλεία κ.λπ.). Τα απόβλητα, εισέρχονται στην εγκατάσταση και ακολουθούν την διαδικασία κομποστοποίησης και ωρίμανσης για να προκύψει έτοιμο κομπόστ (<http://www.dedisa.gr/kobostopoihsi>, πρόσβαση 15/12/2017).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα υπολείμματα συμβατικών καλλιεργειών (όπως τομάτας, αγγουριού, κολοκυθιού) πρέπει να αποφεύγονται διότι στις ρίζες τους και στο υπέργειο τμήμα υπάρχουν μύκητες, οι οποίοι μπορούν να μολύνουν το κομπόστ που θα παραχθεί. Επίσης όταν στις καλλιέργειες υπάρχουν υπολείμματα φυτοφαρμάκων εμποδίζεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών της αποσύνθεσης. Αποφεύγονται φλούδες εσπεριδοειδών σε μεγάλες ποσότητες διότι λόγω της μεγάλης οξύτητας που έχουν εμποδίζουν την ανάπτυξη ορισμένων μικροοργανισμών της χώνευσης, καθώς και οι πευκοβελόνες και όλα τα προϊόντα άλεσης των κλαδιών από όλα τα πευκοειδή επειδή χωνεύονται δύσκολα. Επίσης, δεν επιτρέπεται η χρήση υλικών που έχουν σχέση με την ανθρώπινη σωματική δραστηριότητα (ούρα, κόπρανα), ή και με κατοικίδια ζώα, λόγω του φόβου μόλυνσης με επικίνδυνα παθογόνα.

Επομένως, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, η λάθος επιλογή των υλικών για την παραγωγή κομπόστ, για την χρήση του στο έδαφος ως βελτιωτικό, ίσως να απέτρεψε την ανάπτυξη των βλαστών στα δείγματα της παρούσας έρευνας.

4.2.2.1. Υπολογισμός Δείκτη ανάπτυξης (GI) σπόρων στα εκχυλίσματα

Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, τα οποία προέκυψαν με αραίωση του μίγματος (κομπόστ με προσθήκη biochar) με απιονισμένο νερό σε αναλογία όγκον 1:10, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του Δείκτη Βλάστησης (GI). Έγιναν δύο δοκιμές για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας. Στη συνέχεια, συνοψίζονται οι μεταβολές του Δείκτη Βλάστησης (GI) των δύο δοκιμών, στον Πίνακα 4.3 και στον Πίνακα 4.4.

Στην 1^η Δοκιμή (Πίνακας 4.3), παρατηρείται σταδιακή αύξηση του ποσοστού του Δείκτη Βλάστησης (GI), καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης. Διαπιστώνεται, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα, ότι η καλύτερη ανάπτυξη των σπόρων στον πρώτο μήνα (147%), προέκυψε στο εκχύλισμα το οποίο περιείχε compost & biochar (πριονίδι) σε αναλογία 10:1. Αντιθέτως, στον

έκτο και τελικό μήνα του πειράματος, την καλύτερη ανάπτυξη είχε το εκχύλισμα το οποίο περιείχε compost & biochar (φιστίκι) σε αναλογία 10:1 (248%). Αυτό συνέβη, διότι, από τον 2^ο μήνα και έπειτα, στο συγκεκριμένο εκχύλισμα, υπήρξε ανάπτυξη όλων των σπόρων (10 σπόροι) (Παράρτημα Β).

Πίνακας 4.3. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων στα εκχυλίσματα 1η Δοκιμή, (Compost από ΔΕΔΙΣΑ)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΔΟΚΙΜΗ 1				
ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
compost+ φιστίκι 5:1	121	149	180	197
compost+ φιστίκι 10:1	110	199	210	248
compost+ πριονίδι 5:1	90	197	199	241
compost+ πριονίδι 10:1	147	143	179	190

Στον πίνακα 4.4, ο οποίος αποτελεί την 2^η Δοκιμή του πειράματος για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, ο Δείκτης Ανάπτυξης GI αυξάνεται σταδιακά σε όλα τα δείγματα, με την πάροδο των μηνών. Σε αυτήν την περίπτωση, η μεγαλύτερη ανάπτυξη από τον πρώτο έως και τον έκτο μήνα των μετρήσεων, προέκυψε στο εκχύλισμα compost & biochar(φιστίκι) σε αναλογία 10:1 (104% τον 1^ο μήνα, 194% τον 2^ο μήνα). Στο συγκεκριμένο εκχύλισμα, υπήρξε μεγαλύτερος αριθμός αναπτυγμένων σπόρων (8-9 σπόροι), αλλά και το μήκος των ριζών στο δείγμα ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με τα άλλα δείγματα (Παράρτημα Β).

Πίνακας 4.4. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων στα εκχυλίσματα 2η Δοκιμή, εκχυλίσματα (Compost από ΔΕΔΙΣΑ)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΔΟΚΙΜΗ 2				
ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
compost+ φιστίκι 5:1	27	88	99	193
compost+ φιστίκι 10:1	104	176	181	194
compost+ πριονίδι 5:1	80	133	138	182
compost+ πριονίδι 10:1	86	105	124	194

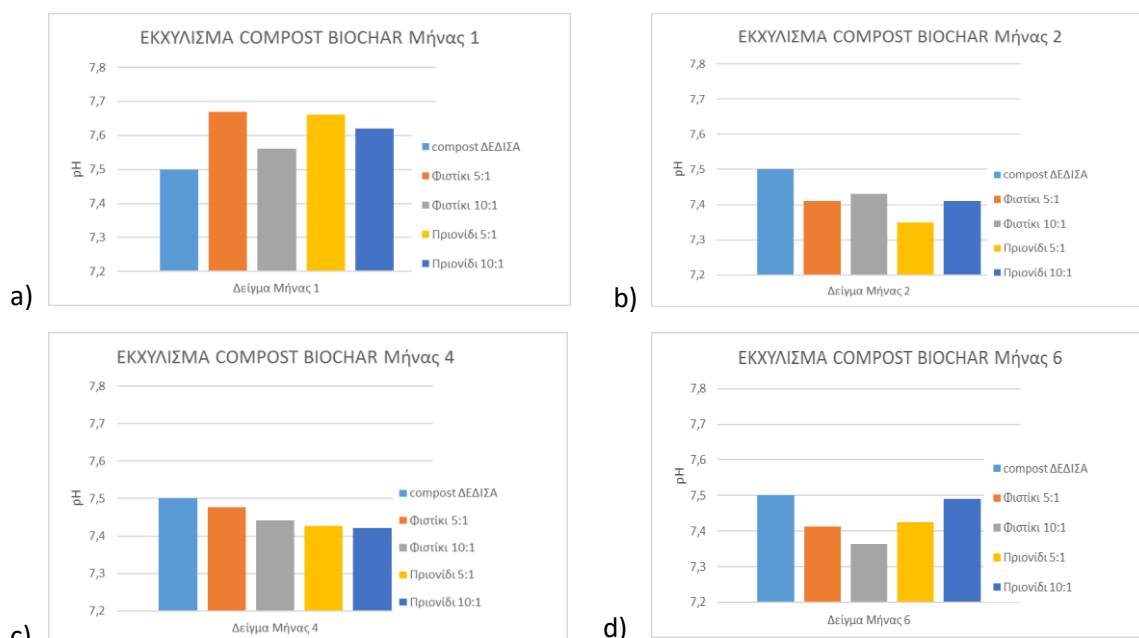
Συγκρίνοντας τις δύο δοκιμές, το ποσοστό του δείκτη GI είναι μεγαλύτερο στην 1^η Δοκιμή. Ο υπολογισμός του Δείκτη GI προκύπτει λαμβάνοντας υπόψιν δυο συντελεστές, ένας εκ των οποίων είναι ο αριθμός των σπόρων οι οποίοι αναπτύχθηκαν. Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, παρατηρήθηκε ότι στην δεύτερη δοκιμή, οι σπόροι οι οποίοι αναπτύχθηκαν ήταν λιγότεροι (5-9 σπόροι) σε σχέση με την πρώτη δοκιμή (7-10 σπόροι) (Παράρτημα Β).

Οι Sun et al. (2016), ανέπτυξαν μια διαδικασία κομποστοποίησης με σκοπό την παραγωγή κομπόστ (πλούσιο σε νιτρικά άλατα) από στερεό κλάσμα κοπριάς γαλακτοπαραγωγής. Σε ένα στάδιο της έρευνας τους, προσδιόρισαν την φυτοτοξικότητα εκχυλισμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν από την αραίωση του κομπόστ με απιονισμένο νερό, χρησιμοποιώντας σπόρους *Lepidium sativum*. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, η τιμή του Δείκτη Βλάστησης GI κυμάνθηκε από 29,6% στο αρχικό υλικό κομποστοποίησης, έως 112,1% στο τελικό προϊόν την 40η ημέρα της κομποστοποίησης.

4.2.2.2. Προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων κομπόστ ΔΕΔΙΣΑ και biochar

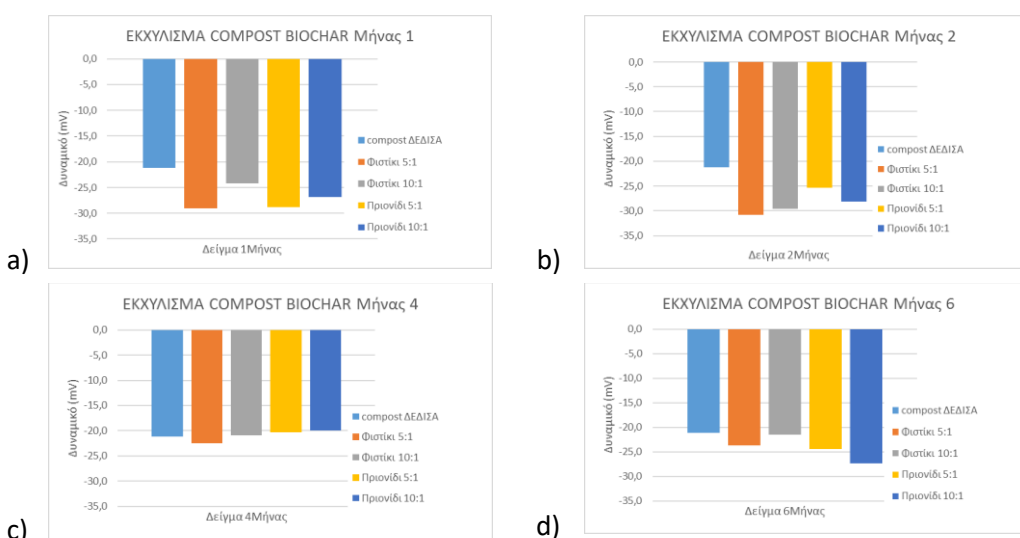
Στο Διάγραμμα 4.13 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH των εκχυλισμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη του κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με τα biochars (από φιστίκι και

πριονίδι). Σύμφωνα με το διάγραμμα, παρατηρείται σημαντική μεταβολή του pH μεταξύ των δειγμάτων, σε σχέση με το δείγμα ελέγχου (control). Στο δείγμα ελέγχου το pH είναι 7,5, ενώ το pH των εκχυλισμάτων κυμαίνεται μεταξύ του 7,67- 7,35. Διαπιστώνεται, ότι με την προσθήκη των biochars, το pH αυξήθηκε (π.χ. 7,67) τον πρώτο μήνα διεξαγωγής του πειράματος, στη συνέχεια όμως, με την πάροδο των μηνών, μειώθηκε (7,35), γεγονός το οποίο οφείλεται στην οξύτητα του εμπορικού κομπόστ από την εταιρία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ.



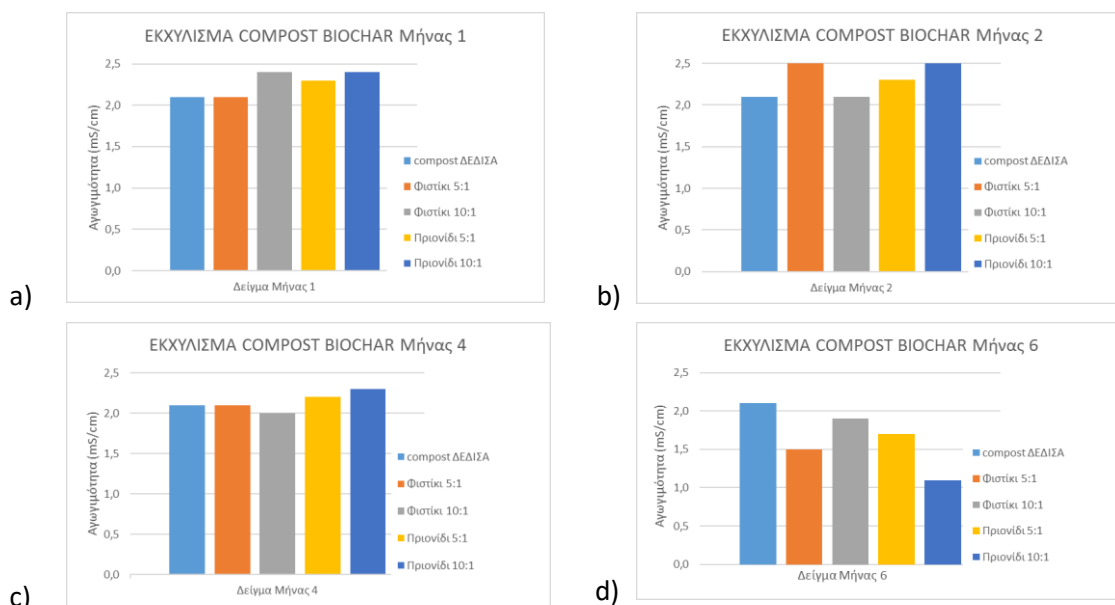
Διάγραμμα 4.13. Μεταβολή του pH των εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

Στο Διάγραμμα 4.14, παρουσιάζεται η μεταβολή του Δυναμικού οξειδοαναγωγής των εκχυλισμάτων κομπόστ από την ΔΕΔΙΣΑ Χανίων με προσθήκη Biochar. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι τιμές του Δυναμικού είναι αντιστρόφως ανάλογες με τις τιμές του pH. Επομένως, με την αύξηση του pH, παρατηρήθηκε η μείωση του Δυναμικού οξειδοαναγωγής. Οι τιμές του Δυναμικού κυμαίνονται μεταξύ -21,2mV έως -30,8mV.



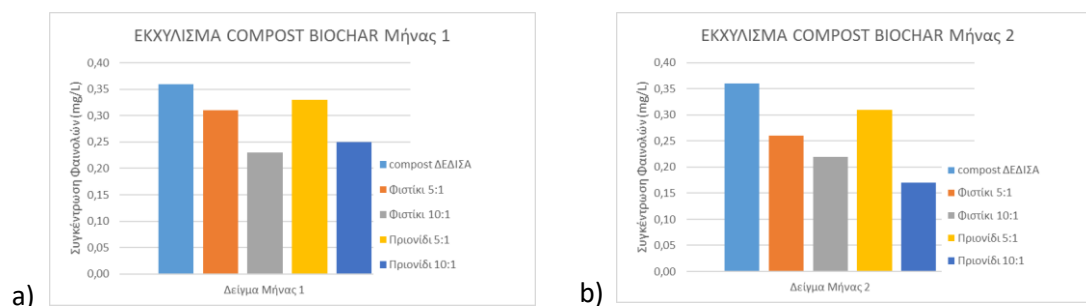
Διάγραμμα 4.14. Μεταβολή των τιμών Δυναμικού οξειδοαναγωγής (mV) εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

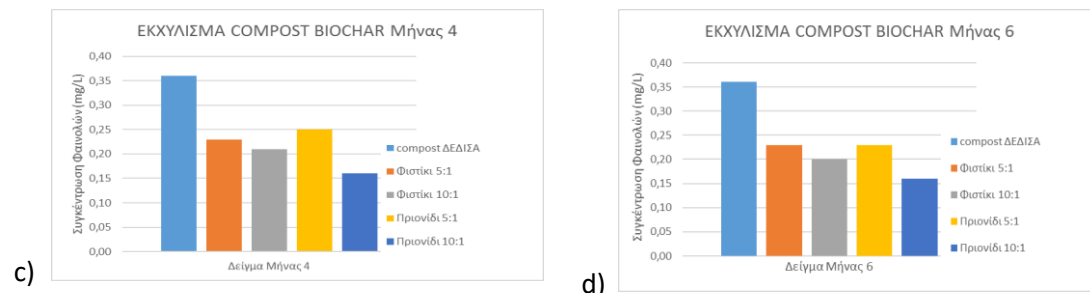
Στο διάγραμμα 4.15, παρουσιάζονται οι μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των εκχυλισμάτων κομπόστ από την εταιρία ανακύκλωσης ΔΕΔΙΣΑ Χανίων, με προσθήκη βιοεξανθρακώματος (από φιστίκι και πριονίδι). Κατά την ομαλή ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC) επηρεάζεται από την κατανάλωση των θρεπτικών στοιχείων. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.15, η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα, στους πρώτους 4 μήνες παρουσιάζει αύξηση (2,2 – 2,5 mS/cm), σε σχέση με το δείγμα ελέγχου (κομπόστ ΔΕΔΙΣΑ) (Παράρτημα Β). Αντιθέτως, η EC μειώνεται τον 6^ο μήνα διεξαγωγής του πειράματος. Στο εκχύλισμα το οποίο περιείχε κομπόστ και πριονίδι σε αναλογία 10:1, τον 6^ο μήνα, η τιμή της EC μειώθηκε σε 1,1 mS/cm, σε σχέση με το δείγμα ελέγχου (2,1 mS/cm).



Διάγραμμα 4.15. Μεταβολή της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (mS/cm) εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

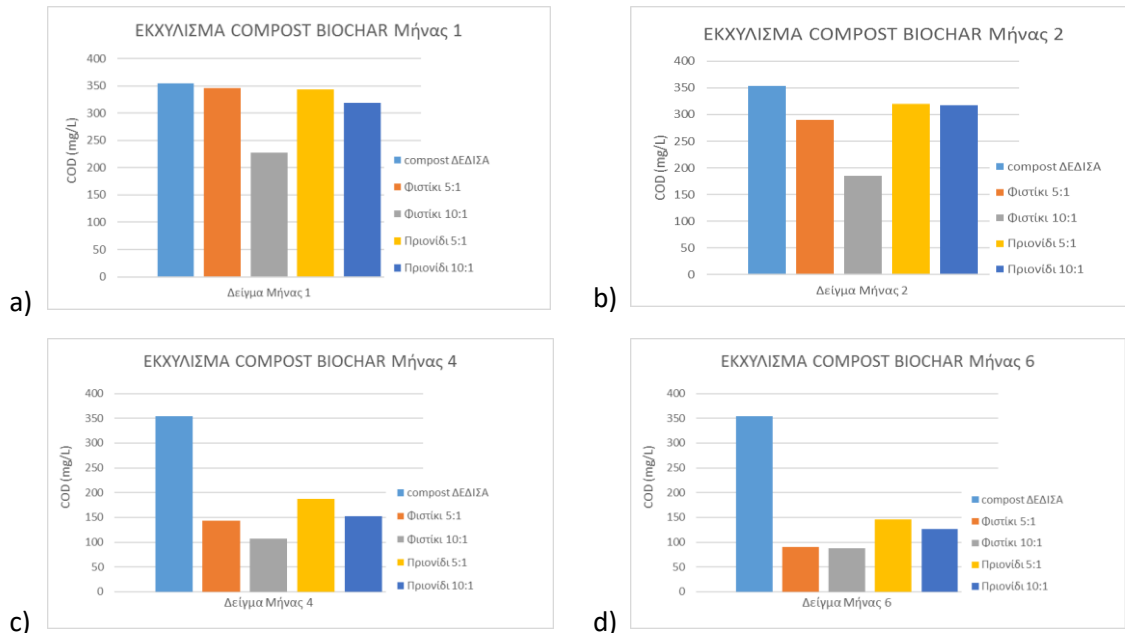
Στο διάγραμμα 4.16, παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών στα εκχυλίσματα, τα οποία δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη του κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με τα biochars (από πριονίδι και φιστίκι). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο συγκέντρωσης φαινολών για την ποιότητα του νερού, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την μέγιστη ανάπτυξη ενός φυτού, είναι 0,5 mg/L. Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης των φαινολών σε όλα τα εκχυλίσματα καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Η συγκέντρωση φαινολών στο δείγμα ελέγχου (κομπόστ ΔΕΔΙΣΑ) ήταν 0,36 mg/L, ενώ στα εκχυλίσματα κυμαίνεται μεταξύ 0,16-0,33 mg/L. Επομένως, διαπιστώνεται ότι, υπήρξε μείωση της συγκέντρωσης φαινολών κάτω από το επιτρεπτό όριο. Η μέγιστη μείωση (0,16 mg/L) παρατηρήθηκε τον 6ο μήνα στο εκχύλισμα το οποίο περιείχε κομπόστ και πριονίδι σε αναλογία 10:1.





Διάγραμμα 4.16. Μεταβολή της συγκέντρωσης φαινολών (mg/L) των εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με προσθήκη biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

Στο διάγραμμα 4.17, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μείωσης του COD στα εκχυλίσματα, τα οποία προέκυψαν από την ανάμιξη κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με biochar. Το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο της συγκέντρωσης COD, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), για την ποιότητα του νερού το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός φυτού, είναι 120 mg/L. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.17, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του COD μειώνεται σταδιακά σε όλα τα εκχυλίσματα καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Η συγκέντρωση COD στο δείγμα ελέγχου ήταν 354 mg/L, ενώ στα εκχυλίσματα, τους μήνες διεξαγωγής του πειράματος (6 μήνες), κυμάνθηκε από 88 mg/L έως 346 mg/L. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι το οργανικό φορτίο των εκχυλισμάτων μειώθηκε σταδιακά, με τη συγκέντρωση του COD να φτάνει κάτω από το επιτρεπόμενο όριο τον τέταρτο μήνα διεξαγωγής του πειράματος, στο εκχύλισμα με κομπόστ και φιστίκι σε αναλογία 10:1 (107 mg/L). Επίσης, μείωση του COD, φτάνοντας κάτω από το επιτρεπτό όριο, παρατηρείται στο εκχύλισμα το οποίο περιείχε φιστίκι 5:1 (91 mg/L) αλλά και στο εκχύλισμα το οποίο περιείχε κομπόστ και φιστίκι σε αναλογία 10:1 (88 mg/L) τον έκτο μήνα.



Διάγραμμα 4.17 Μεταβολή της συγκέντρωσης του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD) (mg/L) εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) με biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας

4.3.1. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας σε έδαφος, κομπόστ και biochar

Η τρίτη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση εδάφους από το Πολυτεχνείο Κρήτης ως δείγμα ελέγχου (control), το οποίο αναμείχθηκε με κομπόστ από την Αίγινα με προσθήκη biochar (από

πριονίδι και φιστίκι). Για την πραγματοποίηση του πειράματος, προέκυψαν 10 μίγματα προς εξέταση. Από τα 10 αυτά μίγματα, δημιουργήθηκαν εκχυλίσματα έπειτα από αραίωση σε αναλογία 10:1. Επίσης, στα εκχυλίσματα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος των φυσικοχημικών ιδιοτήτων. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας.

Για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των μιγμάτων, τα οποία προέκυψαν με ανάμιξη εδάφους, κομπόστ και biochar, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του Δείκτη Βλάστησης (GI). Έγιναν δύο δοκιμές για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας. Στη συνέχεια, συνοψίζονται οι μεταβολές του Δείκτη Βλάστησης (GI) των δύο δοκιμών, στον Πίνακα 4.5 και στον Πίνακα 4.6, αντίστοιχα.

Στην 1^η Δοκιμή (Πίνακας 4.5), παρατηρείται ομαλή και σταδιακή αύξηση του ποσοστού του Δείκτη Βλάστησης (GI), κατά την πάροδο των μηνών. Διαπιστώνεται, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα, ότι η καλύτερη ανάπτυξη των σπόρων στον πρώτο μήνα (141%), προέκυψε στο μίγμα GC10. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι, στο μίγμα GC10 αναπτύχθηκαν και οι 10 σπόροι της δοκιμής, σε σχέση με το δείγμα ελέγχου, στο οποίο αναπτύχθηκαν 6 σπόροι (Παράρτημα Γ). Τον έκτο μήνα του πειράματος, την καλύτερη ανάπτυξη είχε το μίγμα GC1 (268%). Αυτό συνέβη, διότι, από τον 2^ο μήνα και έπειτα, στο συγκεκριμένο μίγμα, υπήρξε μεγαλύτερη επιμήκυνση των ριζών στους σπόρους που αναπτύχθηκαν (Παράρτημα Γ).

Πίνακας 4.5. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων Μίγματος 1ης Δοκιμής

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΔΟΚΙΜΗ 1				
ΜΙΓΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
GC1	105	110	257	268
GC2	88	89	199	211
GC3	122	123	221	225
GC4	132	132	221	224
GC5	88	97	188	191
GC6	91	95	137	167
GC7	78	80	97	114
GC8	89	90	130	142
GC9	96	97	210	239
GC10	141	141	198	239

Στην 2^η Δοκιμή (Πίνακας 4.6) για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των μιγμάτων, ο Δείκτης Βλάστησης GI αυξάνεται σταδιακά κατά την πάροδο των μηνών διεξαγωγής της μελέτης. Οι σπόροι οι οποίοι αναπτύχθηκαν στο δείγμα ελέγχου ήταν 5 (Παράρτημα Γ). Τον πρώτο μήνα, η μέγιστη ανάπτυξη του Δείκτη GI παρατηρήθηκε στο μίγμα GC1 (105%), διότι αναπτύχθηκαν 7 σπόροι, αλλά και η μέση επιμήκυνση των ριζών ήταν μεγαλύτερη (2,14 cm) σε σχέση με τα άλλα μίγματα. Σύμφωνα με τον πίνακα 4.6, η μέγιστη ανάπτυξη προέκυψε στο μίγμα GC10 (295%), λόγω του αριθμού των σπόρων (10 σπόροι), οι οποίοι αναπτύχθηκαν αλλά και λόγω του μήκους των ριζών (3,01 cm) (Παράρτημα Γ).

Πίνακας 4.6. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων Μίγματος 2ης Δοκιμής

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΔΟΚΙΜΗ 2				
ΜΙΓΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
GC1	105	108	180	185
GC2	66	70	149	200
GC3	85	85	159	165
GC4	100	101	198	206
GC5	56	69	167	174
GC6	73	98	159	200
GC7	83	95	117	142
GC8	50	76	134	184
GC9	94	96	243	287
GC10	95	96	244	295

Συγκρίνοντας τις δύο δοκιμές, το ποσοστό του Δείκτη GI είναι περίπου στα ίδια επίπεδα. Ίσως να θεωρηθεί ότι στη 1^η δοκιμή, η ανάπτυξη είναι μεγαλύτερη διότι στο δείγμα ελέγχου, αναπτύχθηκαν 6 σπόροι στην 1^η Δοκιμή ενώ στην 2^η Δοκιμή 5 σπόροι (Παράρτημα Γ). Ο Δείκτης Βλάστησης GI υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των βλαστών που αναπτύσσονται στο μίγμα, καθώς και την μέση επιμήκυνση των ριζών. Τέλος, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, στο μίγμα GC10 παρατηρήθηκε καλύτερη ανάπτυξη του Δείκτη GI και στις δύο δοκιμές (239% στην 1^η Δοκιμή, 295% στη 2^η Δοκιμή) τον έκτο μήνα διεξαγωγής του πειράματος.

4.3.1.1. Υπολογισμός Δείκτη ανάπτυξης (GI) σπόρων στα εκχυλίσματα

Στον Πίνακα 4.7 και στον Πίνακα 4.8, παρουσιάζονται οι μεταβολές του Δείκτη ανάπτυξης (GI) για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων. Τα εκχυλίσματα, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, δημιουργήθηκαν έπειτα από την αραίωση των μιγμάτων, τα οποία προέκυψαν έπειτα από την ανάμιξη εδάφους με κομπόστ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι), με απιονισμένο νερό σε αναλογία κατ' όγκον 1:10. Πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας. Στη συνέχεια, συνοψίζονται οι μεταβολές του Δείκτη Βλάστησης GI των δύο δοκιμών, στον Πίνακα 4.7 και στον Πίνακα 4.8.

Στην 1^η Δοκιμή (Πίνακας 4.7), για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, παρατηρήθηκε αύξηση του Δείκτη GI καθ' όλη την διάρκεια μελέτης (6 μήνες). Οι τιμές του GI τον πρώτο μήνα κυμάνθηκαν από 45 έως 91%. Τον έκτο μήνα ο δείκτης ανάπτυξης GI κυμάνθηκε μεταξύ 55% με 94%. Παρατηρείται, επίσης, ότι ο GI παραμένει σταθερός στον 2^ο και 4^ο μήνα, στα εκχυλίσματα GC6 (92%), GC8(58%), GC9 (66%) και στο εκχύλισμα GC10 (57%). Επίσης, στο εκχύλισμα GC10 ο GI μειώθηκε (57%) τον δεύτερο και τέταρτο μήνα σε σχέση με τον πρώτο μήνα (65%). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέση επιμήκυνση των ριζών των σπόρων οι οποίοι αναπτύχθηκαν, ήταν μικρότερη (4.43 cm) σε σχέση με τον δείγμα ελέγχου (control) (6.18 cm).

Πίνακας 4.7. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων στο Εκχύλισμα 1ης Δοκιμής

ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΔΟΚΙΜΗ 1				
ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
GC1	74	79	82	84
GC2	45	46	54	55
GC3	72	73	75	76
GC4	59	60	64	66
GC5	50	52	89	94
GC6	91	92	92	94
GC7	75	75	85	87
GC8	58	58	58	65
GC9	61	66	66	68
GC10	65	57	57	72

Στην 2^η Δοκιμή (Πίνακας 4.8) για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, ο Δείκτης Βλάστησης GI αυξάνεται σταδιακά σε όλα τα εκχυλίσματα, εκτός από το εκχύλισμα GC1. Στο εκχύλισμα αυτό, παρατηρείται μείωση του Δείκτη GI από 50% σε 47% τον τέταρτο μήνα. Η μείωση οφείλεται στο μήκος των ριζών, διότι στο δείγμα ελέγχου η μέση επιμήκυνση της ρίζας των σπόρων, οι οποίοι αναπτύχθηκαν ήταν 5.61 cm, ενώ στο εκχύλισμα GC1 η επιμήκυνση των ριζών ήταν 2.64 cm. Επίσης, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.8, το εκχύλισμα GC5 και το GC7, παρουσίασαν απότομη μεταβολή τον τέταρτο μήνα. Αναλυτικότερα, στο GC5 ο GI ήταν 111% και στο GC7 106%. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στον αριθμό των σπόρων οι οποίοι αναπτύχθηκαν στα εκχυλίσματα αυτά (Παράρτημα Γ).

Πίνακας 4.8. Συγκεντρωτικός πίνακας του Δείκτη Βλάστησης (GI) σπόρων στο Εκχύλισμα 2ης Δοκιμής

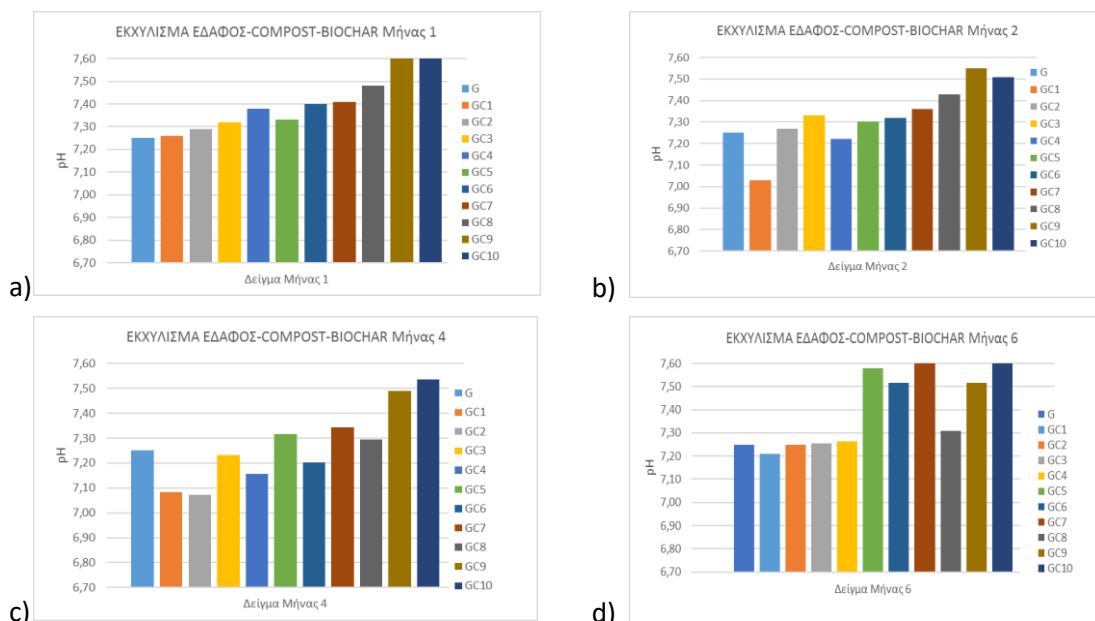
ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (GI) % ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΔΟΚΙΜΗ 2				
ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ	1 μήνας	2 μήνας	4 μήνας	6 μήνας
GC1	50	52	47	55
GC2	43	47	56	58
GC3	51	52	54	57
GC4	79	80	84	91
GC5	66	69	111	113
GC6	61	64	73	90
GC7	69	70	106	108
GC8	51	52	61	93
GC9	63	67	67	94
GC10	52	55	56	83

Οι Samaniego et al. (2017), επεξεργάστηκαν τα στερεά απόβλητα από την περιοχή Chimborazo του Εκουαδόρ, με την μέθοδο της κομποστοποίησης. Δημιουργήθηκαν έξι κομπόστ, από την μίξη διαφορετικών υλικών και στη συνέχεια οι ερευνητές, προσδιόρισαν την φυτοτοξικότητά τους, χρησιμοποιώντας σπορόφυτα είδη. Για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Βλάστησης GI. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, η τιμή του GI, στα έξι διαφορετικά κομπόστ, κυμάνθηκε από 59,5% έως 80,7%.

4.3.1.2. Προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων μίγματος με έδαφος, κομπόστ και biochar

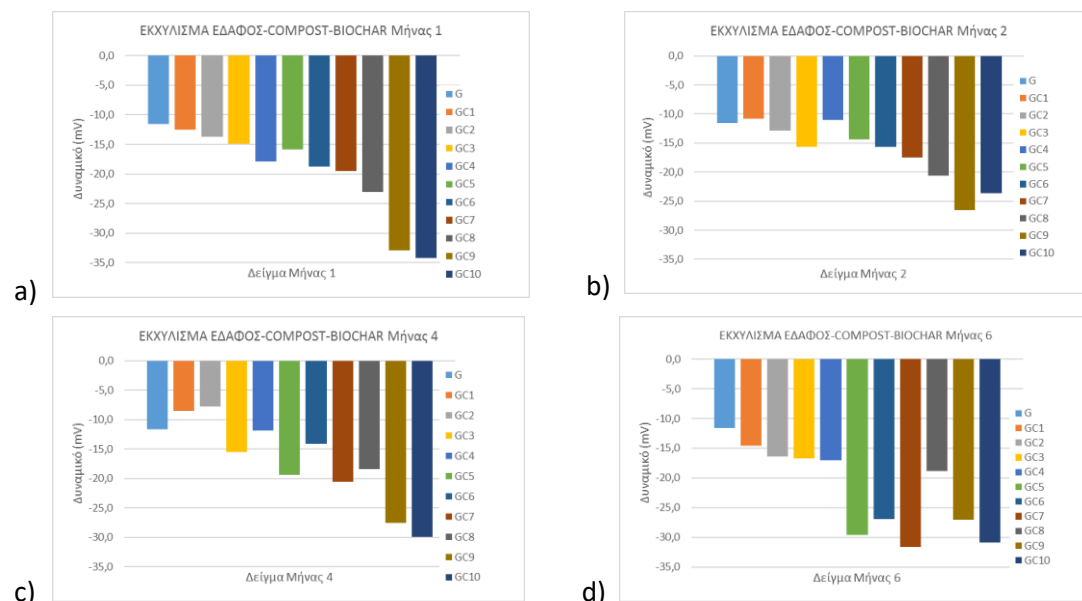
Στο Διάγραμμα 4.18 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH των εκχυλισμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη εδάφους από το Πολυτεχνείο Κρήτης και κομπόστ από την Αίγινα με προσθήκη biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Το pH στο δείγμα ελέγχου ήταν 7,25,

ενώ το pH των εκχυλισμάτων κυμάνθηκε μεταξύ του 7,26- 7,72. Σύμφωνα με το διάγραμμα, δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή του pH μεταξύ των εκχυλισμάτων σε σχέση με το δείγμα ελέγχου (control), υπάρχει βέβαια, σχετική βελτίωση. Κατά την πάροδο των μηνών της διεξαγωγής του πειράματος, το pH όλων των εκχυλισμάτων αυξάνεται σταδιακά.



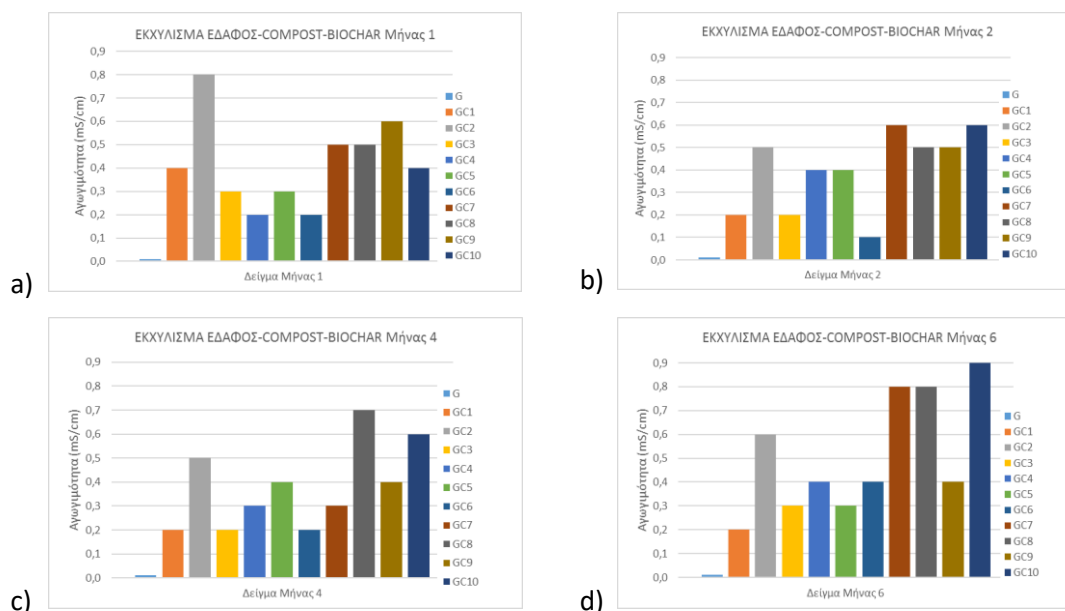
Διάγραμμα 4.18. Μεταβολή του pH των εκχυλισμάτων με έδαφος, κομπόστ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

Στο Διάγραμμα 4.19, παρουσιάζεται η μεταβολή του Δυναμικού οξειδοαναγωγής (mV) των εκχυλισμάτων, τα οποία προέκυψαν από την ανάμιξη εδάφους από το Πολυτεχνείο Κρήτης με κομπόστ από την Αίγινα και την προσθήκη Biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι τιμές του Δυναμικού είναι αντιστρόφως ανάλογες με τις τιμές του pH. Επομένως, με την αύξηση του pH, παρατηρήθηκε η μείωση του Δυναμικού οξειδοαναγωγής. Οι τιμές του Δυναμικού στο δείγμα ελέγχου ήταν -11,6 mV, ενώ στα εκχυλίσματα οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ -7,8mV έως -30,9mV.



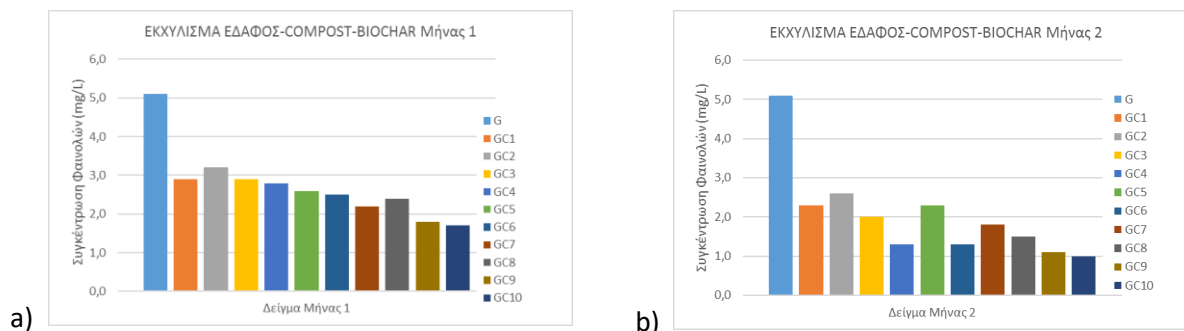
Διάγραμμα 4.19. Μεταβολή των τιμών Δυναμικού οξειδοαναγωγής (mV) εκχυλισμάτων με έδαφος, κομπόστ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

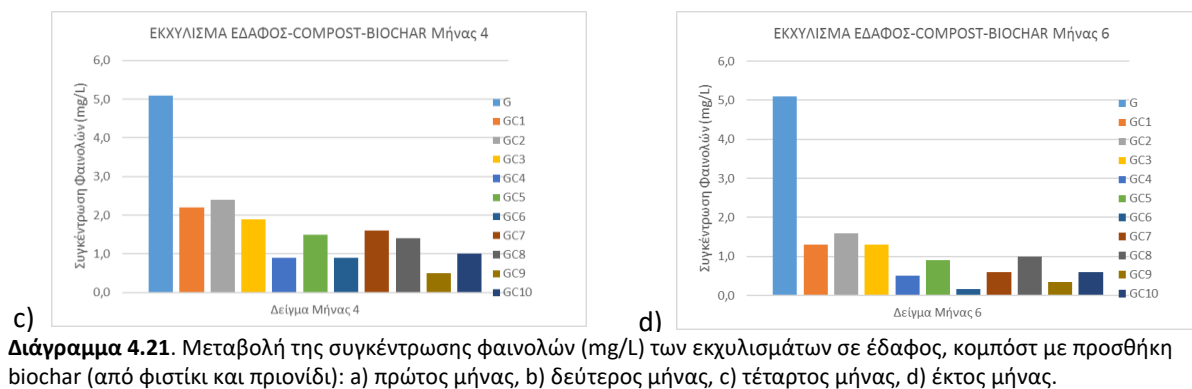
Στο διάγραμμα 4.20, παρουσιάζονται οι μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των εκχυλισμάτων, τα οποία προέκυψαν αναμινύοντας έδαφος (Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ από την Αίγινα με προσθήκη biochar(από φιστίκι και πριονίδι). Κατά την ομαλή ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC) επηρεάζεται από την κατανάλωση των θρεπτικών στοιχείων. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.20, η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα, είναι μηδενική στο δείγμα ελέγχου, ενώ αυξάνεται στα υπόλοιπα εκχυλίσματα με τις τιμές της EC να κυμαίνονται από 0,1 έως 0,8 mS/cm.



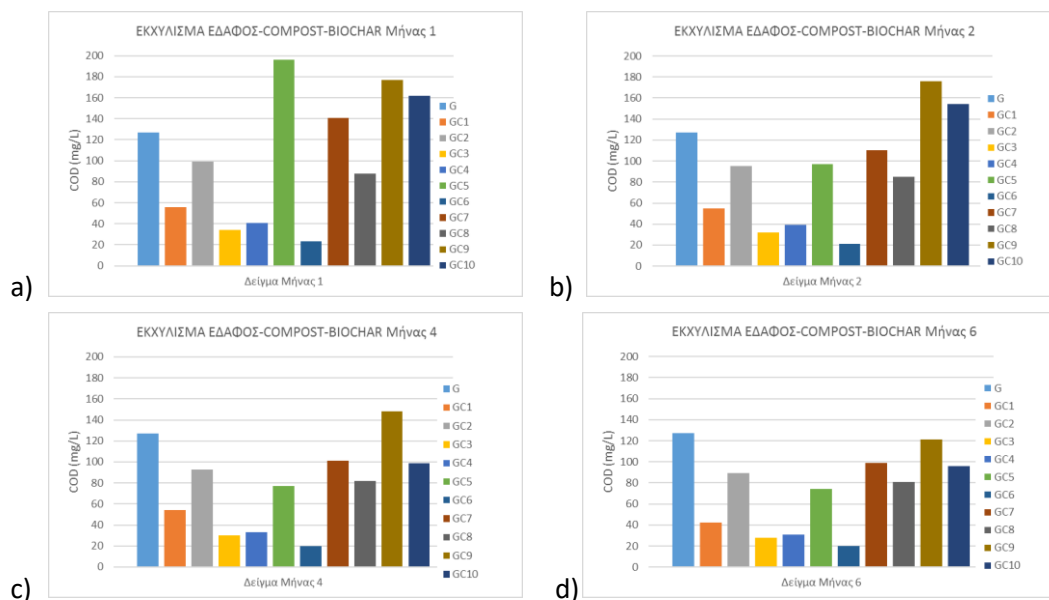
Διάγραμμα 4.20. Μεταβολή τιμών Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (mS/cm) εκχυλισμάτων σε έδαφος, κομπόστ με προσθήκη biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας.

Στο διάγραμμα 4.21, παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών των εκχυλισμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη εδάφους από το Πολυτεχνείο Κρήτης, με κομπόστ από την Αίγινα και προσθήκη biochar (φιστίκι, πριονίδι). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο συγκέντρωσης φαινολών για την ποιότητα του νερού, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την μέγιστη ανάπτυξη ενός φυτού, είναι 0,5 mg/L. Στην τρίτη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων, παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης των φαινολών σε όλα τα εκχυλίσματα καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης (6 μήνες). Η συγκέντρωση φαινολών στο δείγμα ελέγχου (έδαφος από το Πολυτεχνείο Κρήτης) ήταν 5,1 mg/L, ενώ στα εκχυλίσματα κυμάνθηκε μεταξύ 0,2-3,2 mg/L. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.21, διαπιστώνεται ότι, υπήρξε μείωση της συγκέντρωσης των φαινολών κάτω από το επιτρεπτό όριο τον έκτο μήνα διεξαγωγής του πειράματος, στα εκχυλίσματα GC4(0,5 mg/L), GC6(0,2 mg/L) και GC9(0,3 mg/L). Η μέγιστη μείωση (0,2 mg/L) παρατηρήθηκε στο εκχύλισμα GC6.





Στο διάγραμμα 4.22, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απομάκρυνσης του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD) στα εκχυλίσματα, τα οποία προέκυψαν από την ανάμιξη εδάφους από το Πολυτεχνείο Κρήτης, με κομπόστ από την Αίγινα και προσθήκη biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο της συγκέντρωσης COD, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O., 2003), για την ποιότητα του νερού το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενός φυτού, είναι 120 mg/L. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.22, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του COD μειώθηκε σταδιακά σε όλα τα εκχυλίσματα με την πάροδο του χρόνου. Η συγκέντρωση COD στο δείγμα ελέγχου ήταν 127 mg/L, ενώ στα εκχυλίσματα, κατά τους 6 μήνες διεξαγωγής του πειράματος, κυμάνθηκε από 20 mg/L έως 196 mg/L. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι το οργανικό φορτίο των εκχυλισμάτων μειώθηκε αρκετά, με τη συγκέντρωση του COD να φτάνει κάτω από το επιτρεπόμενο όριο από τον πρώτο κίολας μήνα διεξαγωγής του πειράματος, στα εκχυλίσματα GC1(56 mg/L), GC2(99 mg/L), GC3(34 mg/L), GC4(41 mg/L), GC6(23 mg/L) και GC8(88 mg/L). Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.22, η μεγαλύτερη μείωση COD παρατηρήθηκε στο εκχύλισμα GC6 (20 mg/L), φτάνοντας πολύ κάτω από το επιτρεπόμενο όριο, τον τέταρτο και έκτο μήνα διεξαγωγής του πειράματος για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων.



Διάγραμμα 4.22. Μεταβολή της συγκέντρωσης του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD) (mg/L) εκχυλισμάτων με έδαφος, κομπόστ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι): α) πρώτος μήνας, β) δεύτερος μήνας, γ) τέταρτος μήνας, δ) έκτος μήνας

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (ΚΥΑ 5673/400/1997), τα υγρά απόβλητα δεν επιτρέπεται να εναποτίθενται στο έδαφος ή σε υδάτινους αποδέκτες, εάν δεν έχουν επεξεργαστεί κατάλληλα ώστε να μειωθεί η παρουσία επικίνδυνων ενώσεων. Η ανεξέλεγκτη διάθεση τους στο περιβάλλον, ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών καθώς και την ποιότητα των νερών. Στην παρούσα έρευνα, μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, για την μείωση της τοξικότητας των υγρών αποβλήτων, τα οποία προέρχονται από την επεξεργασία φιστικιών, δεν προέκυψε σημαντική μείωση της τοξικότητάς τους, επομένως δεν είναι εφικτή η επαναχρησιμοποίηση τους ή η απόθεσή τους στο έδαφος. Εκτιμάται πως απαιτείται περαιτέρω έρευνα και επεξεργασία των συγκεκριμένων αποβλήτων για την πιθανή επαναχρησιμοποίησή τους.

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές πειραμάτων για να εκτιμηθεί η μείωση της φυτοτοξικότητας του κομπόστ με προσθήκη biochar. Στην πρώτη σειρά, χρησιμοποιήθηκε κομπόστ από την Αίγινα και αναμίχθηκε με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Στην δεύτερη σειρά, το κομπόστ το οποίο αναμίχθηκε με τα biochars ήταν εκείνο από την ΔΕΔΙΣΑ Χανίων. Τέλος, στην τρίτη σειρά πειραμάτων, το υλικό για την διεξαγωγή του πειράματος, προέκυψε από την ανάμιξη εδάφους από το Πολυτεχνείο Κρήτης και κομπόστ από την Αίγινα με προσθήκη βιοεξανθρακώματος. Συγκρίνοντας τα δυο κομπόστ τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε πως το κομπόστ από την ΔΕΔΙΣΑ Χανίων δεν επέτρεψε σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη των σπόρων καρδάμου (*Lepidium sativum*). Αντιθέτως, στο κομπόστ από την Αίγινα, παρατηρήθηκε ικανοποιητική ανάπτυξη των σπόρων και στα δείγματα μίγματος αλλά και στα εκχυλίσματα.

Με την προσθήκη του biochar, επιτεύχθηκε μείωση της περιεκτικότητας των φαινολών - κάτω από το επιτρεπόμενο όριο σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO., 2003)- και στις τρεις σειρές πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας των εκχυλισμάτων τα οποία προέκυψαν από τα μίγματα (κομπόστ με biochar), σε σχέση πάντα με το δείγμα ελέγχου. Επίσης, η συγκέντρωση του COD μειώθηκε αρκετά κάτω από το επιτρεπόμενο όριο (20-110 mg/L), στα εκχυλίσματα τα οποία προέκυψαν από τα μίγματα με έδαφος, κομπόστ από την Αίγινα και biochar (από φιστίκι και πριονίδι).

Τα biochars συνήθως παρουσιάζουν αλκαλικό pH και απαιτείται μια περίοδος προσαρμογής με το έδαφος στο οποίο εναποτίθεται. Η περίοδος αυτή μπορεί να διαρκεί από ένα έως έξι μήνες. Συμπερασματικά, στην παρούσα εργασία, το κομπόστ το οποίο επέδρασε θετικά στην ανάπτυξη του καρδάμου ήταν εκείνο από την Αίγινα, ενώ η προσθήκη biochar βελτίωσε την ποιότητα των παραγόμενων εκχυλισμάτων.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Βολικάκη, Χ.: *Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων*. Μεταπτυχιακή εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος. Χανιά (2008)

Μαντωνανάκη, Α.: *Έρευνα απομάκρυνσης Cu(II) και Pb(II) από υδατικό διάλυμα με χρήση βιοεξανθρακώματος (biochar) σε πειράματα συνεχούς ροής*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τοξικών Και Επικίνδυνων Αποβλήτων. Χανιά (2014)

Παναγιωτόπουλος, Δ.Χ.: *Βιώσιμη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων*. Εκδόσεις: Ζυγός, (2002)

Ρεγκούζας, Π.: *Προσρόφηση ενδοκρινικών διαταρακτών σε βιοεξανθράκωμα από λυματολάσπη*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος. Χανιά (2017)

Τσάκωνα, Μ.: *Συν-Κομποστοποίηση ιλύος αστικών λυμάτων & μελέτη της συμπεριφοράς των οργανικών ρύπων LAS, NPE & PAHs στην χωνευμένη ιλύ*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τοξικών Και Επικίνδυνων Αποβλήτων. Χανιά (2007)

Χαζιράκης, Π.Ι.: *Παράμετροι επιρροής στην συν-Κομποστοποίηση ιλύος και οργανικού κλάσματος αστικών στερεών απορριμμάτων*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος. Χανιά (2007)

Ξενόγλωσση

Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., Ok Y.S.: *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review*. Chemosphere 99, 19-33 (2014)

Bruun, E.W.: *Application of Fast Pyrolysis biochar to a Loamy soil. Effects on carbon and nitrogen dynamics and potential for carbon sequestration*. Ph.D thesis, Technical University of Denmark (DTU). (2011)

Chhity, Y., Kemiha, M.: *Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A review*. The International Journal of Engineering and Science 2(3), 75-85 (2013)

FAO: *Standards for Effluent Discharge Regulations*. General Notice No.44. (2003)

Inyang, M., Dickenson, E.: *The potential role of biochar in the removal of organic and microbial contaminants from potable and reuse water: A review*. Chemosphere 134, 232-240 (2015)

Sun Z.Y., Zhang J., Zhong X.Z., Tan L., Tang Y.Q., Kida K.: *Production of nitrate-rich compost from the solid fraction of dairy manure by a lab-scale composting system*. Waste Management 51, 55–64 (2016)

Komnitsas, K., Zaharaki, D., Pyliotis, I., Vamvuka, D., Bartzas, G.: *Assessment of Pistachio Shell Biochar Quality and Its Potential for Adsorption of Heavy Metals*. Waste Biomass Valorization 6, 805–816 (2015)

Komnitsas, K., Zaharaki, D., Bartzas, G., Kaliakatsou, G., Kritikaki, A.: *Efficiency of pecan shells and sawdust biochar on Pb and Cu adsorption*. Desalination and Water Treatment 57, 3237–3246 (2016)

Mohan, D., Kumar, H., Sarswat, A., Alexander-Franco, M., Pittman-Jir, C.U.: *Cadmium and lead remediation using magnetic oak wood and oak bark fast pyrolysis bio-chars*. Chemical Engineering Journal 236, 513-528 (2014)

Samaniego J.J., Perez-Murcia M.D., Bustamante M.A., Perez-Espinosa A., Paredes C., Lopez M., Lopez-Lluch D.B., Gavilanes-Teran I., Moral R.: *Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production*. Journal of Cleaner Production 141, 1349-1358 (2017)

Selim, Sh.M., Zayed, M.S., Atta, H.M.: *Evaluation of phytotoxicity of compost during composting process*. Nature and Science 10(2), 69-77 (2012)

Διαδίκτυο

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=51gKkD2AS5A%3d&tabid=251&language=el-GR> (πρόσβαση 1/12/2017)

<http://www.isleofeco.gr/media-gallery/συχνές-ερωτήσεις-οδηγός-χρήσης/βελτιστοποίηση-συνθηκών-κομποστοποίησης—διασφάλιση-κομποστοποίησης> (πρόσβαση 3/12/2017)

http://www.ecorec.gr/ecorec/index.php?option=com_content&view=article&id=170:2013-03-04-14-07-28&catid=23&Itemid=496&lang=en (πρόσβαση 3/12/2017)

<https://docs.google.com/viewer?docex=1&url=http://www.prosodol.gr/sites/prosodol.gr/files/Composting.pdf> (πρόσβαση 15/12/2017)

<http://www.dedisa.gr/kobostopoihsi/> (πρόσβαση 15/12/2017)

<http://www.prosodol.gr/?q=el/node/479> (πρόσβαση 17/01/2018)

Παράρτημα

Σε αυτό το σημείο, παρατίθενται οι πίνακες με τις μετρήσεις των πειραμάτων για την διερεύνηση της φυτοτοξικότητας του κομπόστ με προσθήκη βιοεξανθρακώματος, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των διαγραμμάτων και των πινάκων.

Α. Πειράματα φυτοτοξικότητας σε κομπόστ Αίγινας και biochar

Πίνακας Α1. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα κομπόστ από την Αίγινα με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 1ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost+ φιστίκι 10:1 (cm)	compost+ πριονίδι 5:1 (cm)	compost+ πριονίδι 10:1 (cm)
1	0	1,0	1,0	1,5	1,3
2	0	1,1	0,6	1,2	1,1
3	0	1,3	1,0	0,8	1,0
4	0	1,0	1,5	0,9	1,0
5	0	1,5	0,8	0,6	1,2
6	0	0,6	1,5	1,5	1,8
7	0	0,0	1,1	1,0	0,7
8	0	0,0	1,0	0,0	1,3
9	0	0,0	0,0	0,0	1,8
10	0	0,0	0,0	0,0	0,8
Αρ.Βλαστών	0	6	8	7	10

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost+ φιστίκι 10:1 (cm)	compost+ πριονίδι 5:1 (cm)	compost+ πριονίδι 10:1 (cm)
1	0	0,8	1,0	1,1	1,0
2	0	0,6	1,1	1,0	1,5
3	0	0,8	0,9	0,5	1,1
4	0	0,7	0,8	0,7	1,2
5	0	0,6	1,0	0,6	1,3
6	0	0,8	1,5	0,0	0,9
7	0	0,0	1,0	0,0	0,8
8	0	0,0	1,2	0,0	0,0
9	0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	0	6	8	5	7

Πίνακας Α2. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 1ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost+ φιστίκι 10:1 (cm)	compost+ πριονίδι 5:1 (cm)	compost+ πριονίδι 10:1 (cm)
1	0,6	1,5	1,6	3,1	2,9
2	2,3	2,4	0,9	2,9	1,6
3	1,9	1,6	0,7	3,3	1,4
4	3,5	2,5	1,0	3,2	3,1
5	3,1	2,5	2,0	3,2	2,6
6	4,0	2,8	1,3	3,7	1,7
7	2,5	2,1	2,5	3,0	1,6
8	3,7	2,0	3,2	3,6	0,0
9	2,5	1,2	2,1	3,3	0,0
10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	9	9	9	9	7

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost+ φιστίκι 10:1 (cm)	compost+ πριονίδι 5:1 (cm)	compost+ πριονίδι 10:1 (cm)
1	2,8	2,5	2,0	2,0	2,9
2	3,2	2,2	2,8	1,6	1,1
3	2,2	2,6	2,8	2,6	1,7
4	2,6	1,9	2,5	2,3	2,2
5	3,4	0,7	2,1	3,6	1,0
6	0	2,0	2,2	2,4	0,8
7	0	2,2	2,5	1,0	2,8
8	0	3,0	2,2	2,5	1,3
9	0	2,6	1,0	2,7	1,5
10	0	1,5	0,0	1,2	0,0
Αρ.Βλαστών	5	10	9	10	9

Πίνακας Α3. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα κομπόστ από την Αίγινα με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 2ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost+ φιστίκι 10:1 (cm)	compost+ πριονίδι 5:1 (cm)	compost+ πριονίδι 10:1 (cm)
1	0	1,1	0,6	0,9	0,7
2	0	0,6	1,0	1,0	0,9
3	0	1,0	1,1	0,9	0,8
4	0	0,6	1,3	0,9	0,6
5	0	0,6	1,4	0,6	1,0
6	0	0,0	1,0	0,6	1,0
7	0	0,0	0,8	0,7	0,8
8	0	0,0	1,0	0,0	1,0
9	0	0,0	1,3	0,0	1,0
10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	0	5	9	7	9

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost+ φιστίκι 10:1 (cm)	compost+ πριονίδι 5:1 (cm)	compost+ πριονίδι 10:1 (cm)
1	0	0,9	0,6	0,6	0,9
2	0	0,6	0,7	0,8	0,8
3	0	0,6	0,0	0,6	0,9
4	0	0,0	0,0	0,7	0,7
5	0	0,0	0,0	0,0	0,7
6	0	0,0	0,0	0,0	0,9
7	0	0,0	0,0	0,0	1,0
8	0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	0	3	2	4	7

Πίνακας Α4. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 2ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ						ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)	ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	0,6	2,2	2,5	2,7	2,0	1	2,8	2,9	1,6	1,6	2,5
2	2,3	2,0	1,6	2,9	3,0	2	3,2	2,5	2,0	2,5	3,0
3	1,9	2,5	2,5	2,5	3,4	3	2,2	2,0	2,6	2,2	3,5
4	3,5	2,0	2,5	2,0	3,1	4	2,6	2,5	2,5	2,5	1,1
5	3,1	1,5	1,9	2,6	3,3	5	3,4	1,6	2,0	2,5	2,6
6	4,0	2,1	1,9	2,5	2,5	6	0	2,5	2,5	1,6	3,0
7	2,5	2,0	2,5	2,2	2,1	7	0	0,0	2,1	1,7	2,5
8	3,7	0,0	1,6	2,4	0,0	8	0	0,0	2,0	2,5	0,0
9	2,5	0,0	1,8	2,7	0,0	9	0	0,0	2,2	0,0	0,0
10	0	0,0	0,0	0,0	0,0	10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	9	7	9	9	7	Αρ.Βλαστών	5	6	9	8	7

Πίνακας Α5 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα κομπόστ από την Αίγινα με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 4ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ						ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)	ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	0	1,1	0,9	0,8	1,5	1	0	1,1	0,8	0,7	0,6
2	0	1,2	1,0	1,0	1,4	2	0	1,5	1,0	1,1	0,9
3	0	1,0	1,3	1,0	1,5	3	0	1,0	0,9	1,3	1,3
4	0	1,3	1,0	1,1	1,0	4	0	1,1	1,1	1,0	0,7
5	0	0,8	0,7	0,8	1,3	5	0	0,8	1,2	1,1	0,6
6	0	1,0	0,8	1,1	1,5	6	0	0,9	0,7	0,9	0,7
7	0	1,0	0,6	1,0	1,1	7	0	0,0	1,1	0,0	1,5
8	0	1,1	0,8	0,0	1,0	8	0	0,0	0,0	0,0	1,7
9	0	0,9	1,0	0,0	1,6	9	0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0	1,0	0,0	0,0	0,0	10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	0	10	9	7	9	Αρ.Βλαστών	0	6	7	6	8

Πίνακας Α6. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 4ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ						ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)	ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	1,9	2,2	2,6	2,7	2,6	1	2,0	2,5	2,7	2,3	2,1
2	2,3	2,4	2,1	2,0	3,0	2	1,9	2,5	1,6	2,5	2,0
3	1,8	2,4	2,4	2,4	1,7	3	2,0	2,2	3,0	2,0	2,0
4	2,5	2,1	2,5	2,0	2,7	4	1,8	2,1	2,2	1,3	2,7
5	2,5	1,9	3,1	2,5	2,6	5	0,0	2,3	1,7	2,5	3,0
6	1,9	1,0	2,1	1,2	2,1	6	0,0	1,2	1,5	2,6	2,3
7	2	2,5	1,5	0,7	1,2	7	0,0	1,5	2,0	3,0	2,0
8	2,5	2,3	1,6	2,0	0,7	8	0,0	0,0	2,2	2,2	0,0
9	1,2	1,0	2,2	2,1	0,0	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0	0,8	0,0	0,0	0,0	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	9	10	9	9	8	Αρ.Βλαστών	4	7	8	8	7

Πίνακας Α7. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα κομπόστ από την Αίγινα με biochar (από φιστίκι και πριονίδι).Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, δου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	0	1,1	2,0	1,0	1,0
2	0	1,6	2,0	1,5	1,3
3	0	1,5	1,8	1,1	1,1
4	0	0,9	1,4	1,7	1,4
5	0	0,7	1,0	1,5	1,5
6	0	1,1	1,6	1,1	1,6
7	0	1,5	1,1	1,7	1,3
8	0	1,4	1,5	1,0	1,8
9	0	1,3	0,9	1,6	1,7
10	0	0,9	1,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	0	10	10	9	9

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	Compost (control)	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	0	1,1	1,3	2,6	1,1
2	0	0,9	1,1	1,0	1,3
3	0	1,2	1,0	1,3	1,5
4	0	1,4	1,0	1,2	1,6
5	0	2,0	1,5	1,5	1,0
6	0	1,7	1,0	2,1	1,9
7	0	2,3	1,7	1,9	1,4
8	0	0,0	1,2	0,0	0,8
9	0	0,0	0,9	0,0	0,0
10	0	0,0	0,8	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	0	7	10	7	8

Πίνακας Α8 . 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, δου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	0,6	4,1	2,5	3,0	2,3
2	2,3	2,3	3,2	3,6	4,0
3	1,9	2,6	0,8	4,4	3,0
4	3,5	3,7	0,7	3,6	2,2
5	3,1	3,8	3,0	4,0	4,0
6	4,0	5,0	4,1	1,0	3,7
7	2,5	4,9	3,6	4,4	3,6
8	3,7	4,5	3,3	4,0	3,1
9	2,5	2,5	4,0	0,0	0,0
10	0	4,3	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	9	10	9	8	8

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost+ φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	2,8	3,7	2,2	3,7	3,9
2	3,2	3,9	2,9	3,5	2,5
3	2,2	4,1	3,0	4,5	3,8
4	2,6	3,0	2,7	2,6	3,5
5	3,4	3,1	4,5	1,5	4,4
6	0	3,9	3,2	3,4	3,1
7	0	4,0	3,5	0,9	3,3
8	0	4,2	4,0	3,7	0,0
9	0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	5	8	8	8	7

Πίνακας Α9. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost Αίγινας και biochar, 1^{ος} μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 1					
Εκχύλισμα Μήνας 1	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost	7,63	-27,2	4,0	6,6	627,0
Φιστίκι 5:1	8,05	-48,2	2,6	5,2	996,0
Φιστίκι 10:1	7,96	-45,3	2,8	5,7	703,0
Πριονίδι 5:1	7,97	-43,6	2,8	6,0	1415,0
Πριονίδι 10:1	7,95	-43,2	2,7	4,0	652,0

Πίνακας Α10. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost Αίγινας και biochar, 2^{ος} μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 2					
Εκχύλισμα Μήνας 2	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost	7,63	-27,2	4,0	6,6	627,0
Φιστίκι 5:1	8,48	-68,2	2,3	2,4	594,0
Φιστίκι 10:1	8,01	-45,5	3,5	2,2	524,0
Πριονίδι 5:1	8,20	-54,5	2,4	4,8	587,0
Πριονίδι 10:1	7,97	-43,7	2,3	3,5	423,0

Πίνακας A11. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost Αίγινας και biochar, 4^{ος} μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 4					
Εκχύλισμα Μήνας 4	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost	7,96	-44,7	3,6	3,4	543,0
Φιστίκι 5:1	8,53	-69,7	0,5	0,4	426,0
Φιστίκι 10:1	8,04	-46,4	0,4	0,2	333,0
Πριονίδι 5:1	8,18	-52,8	0,5	0,3	577,0
Πριονίδι 10:1	8,19	-53,3	0,9	0,25	406,0

Πίνακας A12. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost Αίγινας και biochar, 6^{ος} μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 6					
Εκχύλισμα Μήνας 6	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost	7,63	-27,2	4,0	6,6	627,0
Φιστίκι 5:1	8,70	-81,9	0,6	0,25	306,0
Φιστίκι 10:1	8,14	-55,3	0,8	0,11	222,0
Πριονίδι 5:1	8,04	-50,2	1,0	0,27	332,0
Πριονίδι 10:1	8,06	-51,0	1,4	0,14	244,0

B. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας μίγματος εμπορικού κομπόστ (ΔΕΔΙΣΑ) και biochar

Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας, δεν υπήρξε ανάπτυξη σπόρων στο δείγμα ελέγχου-το οποίο ήταν το κομπόστ από την ΔΕΔΙΣΑ Χανίων- καθώς και σε κανένα από τα δείγματα, τα οποία προέκυψαν από την ανάμιξη του κομπόστ με biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επομένως, δεν παρουσιάζονται πίνακες μετρήσεων.

Πίνακας Β1. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ ΔΕΔΙΣΑ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 1ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φυστίκι 5:1 (cm)	compost +φυστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	2,4	2,0	1,5	2,7	2,0
2	2,3	2,2	2,5	2,9	2,4
3	2,3	2,7	1,6	2,0	1,6
4	2,6	1,5	2,1	2,4	2,0
5	2,2	1,8	2,5	2,2	2,6
6	2,0	1,9	1,7	2,3	3,0
7	1,3	1,2	2,0	1,7	2,1
8	0,7	2,0	0,9	0,0	2,2
9	0,0	1,7	0,7	0,0	2,7
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	9	9	7	9

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φυστίκι 5:1 (cm)	compost +φυστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	3,0	1,1	2,2	2,5	2,0
2	2,2	1,5	2,3	2,7	2,7
3	2,3	1,8	2,0	2,1	1,7
4	2,0	1,0	2,0	2,5	1,9
5	2,1	1,9	1,8	2,3	1,6
6	2,6	0,0	1,9	1,9	1,8
7	1,5	0,0	2,5	1,3	2,0
8	1,0	0,0	2,7	0,0	0,7
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	5	8	7	8

Πίνακας Β2. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ ΔΕΔΙΣΑ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 2ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φυστίκι 5:1 (cm)	compost +φυστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	2,4	2,8	2,3	2,6	2,4
2	2,3	4,5	2,6	2,4	2,6
3	2,3	2,3	2,0	4,0	2,5
4	2,6	2,5	2,1	2,5	2,6
5	2,2	2,1	2,6	2,3	2,8
6	2,0	2,6	2,7	2,5	3,5
7	1,3	1,3	2,3	2,6	2,7
8	0,7	0,7	3,0	5,0	3,5
9	0,0	2,1	3,9	3,7	0,0
10	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	9	10	9	8

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost+ φυστίκι 5:1 (cm)	compost +φυστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	3,0	2,5	3,0	2,9	2,2
2	2,2	3,0	3,5	3,1	3,5
3	2,3	2,6	2,2	3,7	1,5
4	2,0	2,8	3,1	2,8	1,8
5	2,1	2,1	3,1	2,4	3,5
6	2,6	2,3	3,0	2,7	2,2
7	1,5	2,1	3,9	2,0	1,6
8	1,0	0,0	2,3	2,6	1,3
9	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	7	9	8	8

Πίνακας Β3. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ ΔΕΔΙΣΑ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 4ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	2,4	2,2	1,2	2,7	3,0
2	2,3	2,8	2,3	2,5	2,0
3	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1
4	2,6	2,9	2,5	3,0	3,5
5	2,2	2,6	2,6	2,9	2,1
6	2,0	3,0	3,0	3,2	2,8
7	1,3	3,3	3,3	4,9	3,5
8	0,7	3,2	3,0	3,1	2,8
9	0,0	2,8	3,1	2,8	2,3
10	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	9	10	9	9

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	3,0	2,9	3,1	2,5	2,0
2	2,2	2,2	2,9	2,7	3,0
3	2,3	2,3	2,5	2,3	3,8
4	2,0	3,5	3,0	2,4	3,5
5	2,1	2,1	3,4	3,0	2,0
6	2,6	3,1	2,8	3,2	2,2
7	1,5	2,7	2,9	3,6	2,7
8	1,0	0,0	3,0	3,4	1,5
9	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	7	9	8	8

Πίνακας Β4. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος κομπόστ ΔΕΔΙΣΑ και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 6ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	2,4	2,2	2,5	1,7	3,2
2	2,3	3,0	3,5	3,2	2,2
3	2,3	2,2	3,2	4,4	2,3
4	2,6	3,7	3,4	3,5	3,6
5	2,2	3,0	3,5	2,8	3,0
6	2,0	3,7	3,3	3,0	2,5
7	1,3	2,5	3,2	4,3	2,2
8	0,7	2,8	3,5	3,4	3,6
9	0,0	4,5	2,9	3,0	4,1
10	0,0	0,0	2,4	1,2	0,0
Αρ.Βλαστών	8	9	10	10	9

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ					
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	control	compost +φιστίκι 5:1 (cm)	compost +φιστίκι 10:1 (cm)	compost +πριονίδι 5:1 (cm)	compost +πριονίδι 10:1 (cm)
1	3,0	3,0	3,9	4,1	2,2
2	2,2	2,5	3,0	3,6	4,5
3	2,3	2,9	3,1	2,2	4,4
4	2,0	3,0	3,0	3,5	3,3
5	2,1	4,5	2,5	1,5	1,5
6	2,6	3,6	2,9	2,5	2,5
7	1,5	4,2	2,6	3,6	3,6
8	1,0	2,6	4,0	3,0	2,8
9	0,0	2,4	3,8	3,0	4,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	9	9	9	9

Πίνακας Β5. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost ΔΕΔΙΣΑ και biochar, 1^{ος} μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 1					
Εκχύλισμα Μήνας 1	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost ΔΕΔΙΣΑ	7,5	-21,2	2,1	0,36	354
Φιστίκι 5:1	7,67	-29,1	2,1	0,31	346
Φιστίκι 10:1	7,56	-24,2	2,4	0,23	228
Πριονίδι 5:1	7,66	-28,8	2,3	0,33	343
Πριονίδι 10:1	7,62	-26,9	2,4	0,25	319

Πίνακας Β6. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost ΔΕΔΙΣΑ και biochar, 2ος μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 2					
Εκχύλισμα Μήνας 2	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost ΔΕΔΙΣΑ	7,5	-21,2	2,1	0,36	354
Φιστίκι 5:1	7,41	-30,8	2,5	0,26	290
Φιστίκι 10:1	7,43	-29,6	2,1	0,22	185
Πριονίδι 5:1	7,35	-25,4	2,3	0,31	320
Πριονίδι 10:1	7,41	-28,1	2,5	0,17	317

Πίνακας Β7. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost ΔΕΔΙΣΑ και biochar, 4^{ος} μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 4					
Εκχύλισμα Μήνας 4	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost ΔΕΔΙΣΑ	7,5	-21,2	2,1	0,36	354
Φιστίκι 5:1	7,48	-22,5	2,1	0,23	143
Φιστίκι 10:1	7,44	-20,9	2,0	0,21	107
Πριονίδι 5:1	7,43	-20,3	2,2	0,25	187
Πριονίδι 10:1	7,42	-20,0	2,3	0,16	153

Πίνακας Β8. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων εκχυλισμάτων compost ΔΕΔΙΣΑ και biochar, 6^{ος} μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ COMPOST BIOCHAR Μήνας 6					
Εκχύλισμα Μήνας 6	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
compost ΔΕΔΙΣΑ	7,5	-21,2	2,1	0,36	354
Φιστίκι 5:1	7,41	-23,7	1,5	0,23	91
Φιστίκι 10:1	7,36	-21,5	1,9	0,20	88
Πριονίδι 5:1	7,43	-24,4	1,7	0,23	146
Πριονίδι 10:1	7,49	-27,4	1,1	0,16	126

Γ. Πειράματα φυτοτοξικότητας σε έδαφος από το Πολυτεχνείο Κρήτης, κομπόστ και biochar

Πίνακας Γ1. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 1ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	3,2	2,5	2,0	3,5	2,6	2,5	1,4	2,0	5,0	3,3	2,6
2	3,3	2,2	1,6	2,5	3,6	3,0	3,2	1,2	2,5	1,7	3,3
3	3,0	2,6	1,8	0,9	2,8	2,3	2,1	1,9	2,2	2,0	2,9
4	4,0	2,4	2,0	3,5	3,5	2,5	2,9	2,5	2,3	2,9	3,1
5	4,4	2,8	1,7	3,3	3,6	1,1	4,2	2,8	2,5	3,0	2,5
6	3,2	3,0	2,0	3,0	3,2	2,8	2,3	1,3	2,7	3,3	2,0
7	0,0	2,5	1,3	1,6	2,0	3,2	3,0	2,5	1,6	2,5	3,5
8	0,0	2,4	1,7	3,5	3,0	1,2	0,0	2,2	0,0	1,6	3,0
9	0,0	1,8	2,8	1,3	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
10	0,0	0,0	1,6	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7
Αρ.Βλαστών	6	9	10	10	9	8	7	8	7	8	10

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	2,5	3,8	1,1	2,9	4,2	4,4	2,7	1,8	2,3	3,0	2,3
2	4,3	2,0	2,7	2,3	4,4	2,7	1,4	1,3	2,0	1,5	2,5
3	3,2	2,1	2,1	3,0	2,1	2,0	2,6	2,0	2,6	3,1	2,0
4	6,2	2,5	1,0	2,5	0,7	2,4	2,2	2,6	1,2	1,7	3,5
5	4,2	4,5	1,5	3,2	2,4	0,0	1,3	2,5	0,9	2,6	2,2
6	0,0	4,3	2,1	3,5	3,2	0,0	3,0	1,8	0,0	2,1	2,1
7	0,0	2,2	1,1	0,0	2,2	0,0	1,6	2,0	0,0	3,7	2,5
8	0,0	0,0	1,9	0,0	1,2	0,0	0,0	3,0	0,0	1,5	2,2
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	5	7	8	6	8	4	7	8	5	8	8

Πίνακας Γ2. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 1ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	8,6	7,0	4,7	4,6	2,0	4,7	7,5	5,0	5,0	6,0	2,5
2	8,5	5,9	5,5	5,3	6,1	6,0	6,0	4,8	4,0	2,2	5,5
3	6,8	5,5	4,0	3,6	6,5	4,0	7,1	6,0	5,0	1,8	5,0
4	9,3	6,5	3,9	5,5	4,5	7,0	7,0	4,3	5,5	2,0	3,2
5	6,5	7,5	4,3	5,6	5,0	5,3	2,3	5,5	5,0	5,2	5,4
6	7,6	6,7	5,3	7,0	2,5	4,0	4,7	5,5	5,5	4,0	7,3
7	7,7	6,4	0,0	6,5	3,5	0,0	6,0	6,7	5,0	5,5	6,1
8	6,8	0,0	0,0	6,4	6,6	0,0	7,5	6,4	1,0	4,2	5,3
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	2,0	0,0	6,6	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	7	6	8	8	6	9	9	8	9	8

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	6,5	4,0	3,2	2,6	8,4	5,0	5,5	3,3	4,3	3,5	4,4
2	7,5	6,5	4,0	6,0	7,0	7,5	6,0	5,8	4,0	4,5	6,5
3	7,6	4,9	6,1	6,2	7,0	5,0	5,5	3,9	3,8	3,6	5,7
4	8,3	5,0	5,0	5,0	6,7	7,1	6,7	5,5	6,0	2,5	4,3
5	10,0	4,0	6,0	6,0	4,0	8,0	3,2	7,0	5,9	5,7	3,5
6	8,0	3,5	0,0	3,0	6,3	4,6	3,0	2,6	2,4	3,6	4,5
7	8,2	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	1,2	3,8	2,2	6,9	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	2,5	0,0	5,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	7	6	5	6	7	6	8	9	7	8	6

Πίνακας Γ3. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 2ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	3,2	2,6	1,5	2,9	2,3	2,0	2,4	1,9	2,1	2,1	2,8
2	3,3	2,1	2,7	2,2	2,6	2,4	2,6	2,0	1,7	2,6	2,5
3	3,0	2,0	2,5	2,5	3,4	2,5	2,0	2,0	1,6	2,3	2,9
4	4,0	2,2	2,7	2,8	2,9	2,3	1,6	2,2	2,0	2,6	2,4
5	4,4	2,6	1,5	2,4	3,2	2,0	2,1	1,5	2,3	2,0	3,8
6	3,2	3,5	1,8	2,7	4,0	2,1	1,8	2,8	1,8	1,9	3,5
7	0,0	2,9	1,7	2,4	3,5	2,0	2,3	2,5	2,9	2,0	2,3
8	0,0	2,8	1,0	2,7	2,7	3,0	2,3	1,9	2,4	2,6	3,7
9	0,0	2,5	1,5	2,5	3,2	2,2	2,9	0,0	2,1	2,4	2,5
10	0,0	0,0	1,9	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
Αρ.Βλαστών	6	9	10	10	9	9	9	8	9	9	10

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	2,5	2,2	1,3	2,9	2,8	2,5	2,3	2,2	2,2	2,6	1,6
2	4,3	1,9	1,6	2,5	2,3	3,6	2,2	2,1	2,9	2,1	2,1
3	3,2	3,4	1,5	2,5	3,4	2,1	2,5	2,8	2,7	2,4	2,0
4	6,2	2,9	2,0	2,8	2,4	2,2	2,0	2,0	2,3	2,7	1,5
5	4,2	2,5	1,6	3,1	2,5	2,9	2,5	2,6	2,5	2,9	2,2
6	0,0	2,5	1,1	3,6	2,1	0,7	1,8	2,5	2,9	2,4	2,5
7	0,0	3,0	2,5	0,0	2,7	0,0	1,9	2,9	0,0	2,0	2,5
8	0,0	3,7	2,6	0,0	2,5	0,0	2,5	2,2	0,0	2,5	3,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	2,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	5	8	8	6	8	6	9	8	6	8	9

Πίνακας Γ4. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 2ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	8,6	4,1	4,4	4,2	3,0	3,5	6,5	4,3	4,3	4,0	3,2
2	8,5	7,3	3,3	6,8	3,5	5,7	5,9	6,7	5,6	3,5	4,8
3	6,8	5,7	5,0	4,9	6,5	3,6	6,7	4,0	4,0	5,5	3,5
4	9,3	6,8	3,5	5,8	4,5	3,7	6,8	5,5	3,5	3,5	3,9
5	6,5	5,9	3,6	6,6	5,6	2,5	7,9	3,9	5,0	4,9	4,0
6	7,6	6,7	4,8	7,4	4,2	3,0	4,9	6,3	3,0	4,5	5,0
7	7,7	6,9	5,6	6,5	4,9	6,0	7,2	4,9	4,2	4,0	5,2
8	6,8	5,5	0,0	3,0	5,0	4,1	6,0	4,9	6,4	5,0	5,8
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	5,8	0,0	5,7	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	8	7	8	8	8	9	9	8	9	8

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	6,5	3,1	3,0	4,0	3,6	3,2	4,5	3,0	3,1	3,5	3,0
2	7,5	3,8	4,0	6,0	5,8	4,9	4,6	5,7	4,3	6,0	6,0
3	7,6	4,1	3,3	4,8	3,5	5,0	4,4	2,9	4,2	4,0	3,2
4	8,3	3,7	6,4	6,1	6,3	7,9	5,2	3,2	3,8	5,5	5,9
5	10,0	6,5	3,9	5,0	7,0	6,9	4,2	6,9	4,3	6,9	3,6
6	8,0	2,4	5,7	3,5	5,0	3,3	3,5	3,7	4,2	3,3	4,8
7	8,2	5,3	0,0	0,0	5,5	7,5	5,0	5,0	5,1	4,0	4,5
8	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	0,0	4,6	4,6	0,0	4,2	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	7	7	6	6	8	7	8	9	7	8	7

Πίνακας Γ5. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι).Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 4ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	3,2	3,7	1,8	4,0	2,0	2,5	3,1	2,0	1,6	1,5	3,1
2	3,3	2,2	1,6	2,9	3,2	3,0	1,8	1,5	2,2	3,5	2,0
3	3,0	5,5	2,0	2,5	3,3	1,5	3,0	2,2	3,0	4,5	3,0
4	4,0	5,5	3,5	3,0	3,5	4,1	2,7	3,0	2,6	3,0	3,7
5	4,4	4,6	2,3	2,8	4,0	3,7	2,3	2,9	2,0	3,5	4,0
6	3,2	4,5	3,0	2,5	2,6	2,5	3,3	2,5	2,3	4,2	3,5
7	0,0	3,0	1,6	2,6	3,0	2,6	2,4	3,5	4,0	4,0	2,8
8	0,0	2,9	3,0	1,5	3,1	3,6	3,1	0,0	3,0	3,3	2,4
9	0,0	4,2	3,5	2,0	2,3	3,0	0,0	0,0	0,0	2,1	3,3
10	0,0	0,0	2,9	4,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	6	9	10	10	10	9	8	7	8	9	9

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	2,5	3,0	1,8	4,0	2,7	2,7	0,9	2,3	1,5	2,2	2,2
2	4,3	1,8	1,6	2,6	2,8	3,2	1,5	2,0	1,9	1,9	2,0
3	3,2	2,5	1,5	4,2	3,5	2,2	2,5	1,9	2,2	3,0	2,5
4	6,2	3,2	2,0	2,6	2,0	3,0	3,6	3,0	1,6	3,1	3,4
5	4,2	3,0	2,5	2,0	2,5	2,4	3,5	2,2	2,4	2,5	2,9
6	0,0	2,6	2,8	3,2	4,1	2,1	3,7	2,5	3,0	4,0	4,0
7	0,0	4,5	3,2	4,5	5,5	3,0	2,6	3,1	2,7	2,9	4,3
8	0,0	2,3	3,6	0,0	2,1	2,7	2,0	0,0	1,8	3,6	3,6
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	2,8
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	5	8	8	7	8	8	8	7	8	9	9

Πίνακας Γ6. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 4ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	8,6	4,9	4,1	4,7	3,5	7,0	4,0	3,5	2,6	3,9	3,8
2	8,5	4,5	4,6	5,4	3,7	6,9	6,9	6,1	4,9	4,3	3,0
3	6,8	5,7	3,4	6,2	3,6	6,3	4,9	5,0	3,5	3,5	3,5
4	9,3	2,7	4,8	4,5	5,0	2,6	6,4	5,2	4,0	3,4	4,6
5	6,5	5,9	4,9	4,3	4,2	4,6	5,0	6,0	3,0	2,8	3,1
6	7,6	6,0	3,8	4,4	4,0	3,6	4,7	5,1	2,6	4,6	4,9
7	7,7	4,8	4,0	4,0	4,9	5,5	5,7	4,1	3,3	5,8	5,7
8	6,8	3,9	3,5	5,0	5,1	7,8	6,9	5,7	3,1	6,8	6,4
9	0,0	6,7	0,0	2,6	5,7	4,2	5,6	6,0	4,6	5,7	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	8	9	8	9	9	9	9	9	9	9	8

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	6,5	3,8	3,0	4,1	4,0	6,1	1,5	4,3	3,0	3,7	5,0
2	7,5	3,5	4,6	5,0	5,0	3,3	2,3	4,6	4,0	3,0	3,6
3	7,6	4,4	5,0	5,1	7,4	4,7	5,7	5,7	3,3	6,9	2,1
4	8,3	3,0	5,4	5,3	5,4	6,8	1,6	5,6	2,5	4,2	3,0
5	10,0	4,0	4,9	5,5	7,7	4,6	3,3	5,0	2,7	3,7	2,5
6	8,0	3,5	3,8	3,7	4,6	5,2	4,1	5,8	1,5	3,1	4,6
7	8,2	4,2	4,6	1,5	4,0	6,2	3,9	5,4	3,9	5,4	3,8
8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	5,6	4,3	4,7	2,3	3,1	2,9
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	4,9	5,2	3,5	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Αρ.Βλαστών	7	7	7	7	8	9	9	9	9	8	8

Πίνακας Γ7. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας σε μίγμα με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι).Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 6ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	3,2	5,3	2,0	2,0	1,6	2,8	2,2	2,0	1,6	1,5	2,1
2	3,3	2,9	2,2	3,6	3,4	3,0	2,0	1,9	2,0	2,2	3,2
3	3,0	4,8	3,8	2,0	2,1	2,1	2,5	2,2	2,2	2,5	2,9
4	4,0	3,2	2,5	2,5	4,5	3,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,0
5	4,4	4,0	2,7	3,1	2,3	2,8	2,7	3,1	2,5	2,9	3,5
6	3,2	3,6	2,9	2,7	3,8	2,5	3,0	2,8	2,8	4,0	2,8
7	0,0	5,0	2,0	3,6	2,1	4,1	2,8	2,0	2,3	3,9	3,7
8	0,0	4,1	2,5	2,8	3,0	2,7	2,6	1,5	1,5	3,2	4,0
9	0,0	4,8	3,3	4,0	2,9	3,7	3,4	0,0	2,4	2,9	2,2
10	0,0	0,0	2,8	2,2	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	2,8
Αρ.Βλαστών	6	9	10	10	10	9	9	8	9	10	10

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	2,5	3,0	2,7	2,0	2,5	2,5	2,4	2,0	2,2	1,5	2,5
2	4,3	2,7	1,9	3,3	2,3	2,7	2,0	1,8	2,0	3,0	3,0
3	3,2	3,6	2,5	2,1	2,5	3,0	2,1	2,0	2,4	2,2	2,7
4	6,2	2,3	2,0	2,5	2,7	2,2	2,2	2,2	2,7	2,5	3,2
5	4,2	2,1	2,4	3,0	3,2	3,4	2,5	2,5	2,9	4,0	4,4
6	0,0	4,0	3,0	2,7	3,0	2,8	2,9	2,7	2,0	3,3	2,8
7	0,0	2,7	2,9	2,4	2,9	3,1	3,1	2,3	1,5	2,7	2,2
8	0,0	3,2	2,2	3,1	2,2	2,5	2,6	2,6	2,6	3,4	3,3
9	0,0	0,0	3,1	0,0	2,0	0,0	2,9	0,0	2,5	2,7	2,4
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	3,6
Αρ.Βλαστών	5	8	9	8	9	8	9	8	9	10	10

Πίνακας Γ8. 1^η και 2^η Δοκιμή προσδιορισμού φυτοτοξικότητας εκχυλισμάτων μίγματος με έδαφος (από Πολυτεχνείο Κρήτης), κομπόστ Αίγινας και biochar (από φιστίκι και πριονίδι). Επιμήκυνση των ριζών (cm) και αριθμός βλαστών, 6ου μήνα.

ΔΟΚΙΜΗ 1 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	8,6	4,9	4,7	3,5	4,5	4,2	4,8	3,5	2,1	3,2	3,0
2	8,5	3,5	4,4	5,8	3,0	4,6	6,2	5,4	3,7	2,6	3,1
3	6,8	5,6	3,6	3,0	4,3	5,5	4,5	6,2	2,7	3,1	3,5
4	9,3	6,4	4,7	4,5	5,2	6,0	5,6	3,5	3,0	4,3	2,6
5	6,5	4,9	3,8	3,2	3,5	4,1	6,3	6,0	4,6	3,5	3,0
6	7,6	5,7	4,0	2,8	3,7	4,0	5,8	3,7	4,5	2,6	2,5
7	7,7	4,6	4,8	4,3	5,0	4,6	6,4	2,8	2,8	2,9	4,1
8	6,8	4,3	3,9	5,2	3,0	4,5	6,9	5,6	3,0	3,5	3,9
9	0,0	6,1	0,0	3,0	4,2	3,9	5,3	4,0	3,5	4,0	4,7
10	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	5,0	0,0	2,2	2,2	3,9	5,0
Αρ.Βλαστών	8	9	8	10	9	10	9	10	10	10	10

ΔΟΚΙΜΗ 2 ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ											
ΑΡ.ΣΠΟΡΟΥ	G	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5	GC6	GC7	GC8	GC9	GC10
1	6,5	2,9	2,5	3,0	3,5	4,5	3,5	4,0	4,5	4,1	3,7
2	7,5	3,3	4,0	5,1	6,9	5,2	2,0	4,9	5,0	3,7	2,5
3	7,6	3,7	2,0	3,6	4,0	3,0	4,4	2,6	3,0	2,5	3,2
4	8,3	3,6	2,3	3,7	3,7	3,1	4,2	3,2	2,5	3,6	3,0
5	10,0	3,2	3,1	2,0	7,0	3,6	5,0	5,5	3,0	3,0	2,5
6	8,0	3,4	4,9	3,0	4,6	2,5	4,5	3,2	2,5	4,2	4,6
7	8,2	4,3	5,0	4,5	3,2	6,6	4,9	3,7	4,0	3,6	2,2
8	0,0	2,5	4,7	3,2	4,1	5,4	5,3	4,6	2,0	4,0	4,2
9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	5,9	5,6	4,8	4,9	4,3	3,9
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	5,8	5,1	3,9	2,8
Αρ.Βλαστών	7	8	8	8	9	10	9	10	10	10	10

Πίνακας Γ9. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εκχυλισμάτων, 1ος μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΕΔΑΦΟΣ-COMPOST-BIOCHAR Μήνας 1					
Δείγμα Μήνας 1	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
G	7,25	-11,6	0,0	5,1	127
GC1	7,26	-12,5	0,4	2,9	56
GC2	7,29	-13,7	0,8	3,2	99
GC3	7,32	-14,9	0,3	2,9	34
GC4	7,38	-17,9	0,2	2,8	41
GC5	7,33	-15,9	0,3	2,6	196
GC6	7,4	-18,8	0,2	2,5	23
GC7	7,41	-19,5	0,5	2,2	141
GC8	7,48	-23,1	0,5	2,4	88
GC9	7,69	-32,9	0,6	1,8	177
GC10	7,72	-34,2	0,4	1,7	162

Πίνακας Γ10. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εκχυλισμάτων, 2ος μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΕΔΑΦΟΣ-COMPOST-BIOCHAR Μήνας 2					
Δείγμα Μήνας 2	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
G	7,25	-11,6	0,0	5,1	127
GC1	7,03	-10,8	0,2	2,3	55
GC2	7,27	-12,9	0,5	2,6	95
GC3	7,33	-15,7	0,2	2,0	32
GC4	7,22	-11,0	0,4	1,3	39
GC5	7,30	-14,4	0,4	2,3	97
GC6	7,32	-15,7	0,1	1,3	21
GC7	7,36	-17,5	0,6	1,8	110
GC8	7,43	-20,6	0,5	1,5	85
GC9	7,55	-26,6	0,5	1,1	176
GC10	7,51	-23,6	0,6	1,0	154

Πίνακας Γ11. Μετρήσεις των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εκχυλισμάτων, 4ος μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΕΔΑΦΟΣ-COMPOST-BIOCHAR Μήνας 4					
Δείγμα Μήνας 4	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
G	7,25	-11,6	0,0	5,1	127
GC1	7,08	-8,5	0,2	2,2	54
GC2	7,07	-7,8	0,5	2,4	93
GC3	7,23	-15,5	0,2	1,9	30
GC4	7,16	-11,9	0,3	0,9	33
GC5	7,32	-19,4	0,4	1,5	77
GC6	7,20	-14,1	0,2	0,9	20
GC7	7,34	-20,6	0,3	1,6	101
GC8	7,30	-18,4	0,7	1,4	82
GC9	7,49	-27,5	0,4	0,5	148
GC10	7,54	-29,9	0,6	1,0	99

Πίνακας Γ12. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εκχυλισμάτων, 6ος μήνας.

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΕΔΑΦΟΣ-COMPOST-BIOCHAR Μήνας 6					
Δείγμα Μήνας 6	pH	Δυναμικό(mV)	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Φαινόλες (mg/L)	COD (mg/L)
G	7,25	-11,6	0,0	5,1	127
GC1	7,21	-14,6	0,2	1,3	42
GC2	7,25	-16,4	0,6	1,6	89
GC3	7,26	-16,7	0,3	1,3	28
GC4	7,26	-17,0	0,4	0,5	31
GC5	7,58	-29,6	0,3	0,9	74
GC6	7,52	-26,9	0,4	0,2	20
GC7	7,63	-31,6	0,8	0,6	99
GC8	7,31	-18,8	0,8	1,0	81
GC9	7,52	-27,1	0,4	0,3	121
GC10	7,61	-30,9	1,0	0,6	96