

Βιοάνθρακας: Από τα Πράσινα Απόβλητα στην Εδαφική Αναγέννηση

ΛΥΚΕΙΟ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	1
Εισαγωγή	1
Αναγκαιότητα και Σπουδαιότητα της έρευνας	1
Σκοπός της έρευνας	1
Περιορισμοί της Έρευνας	1
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	2
Ιστορική αναδρομή.....	2
Ενεργος άνθρακας και βιοάνθρακας (biochar)	2
Μέθοδοι Ενσωμάτωσης	4
Περιβαλλοντικό αποτύπωμα	4
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	5
Επιστημονική τεκμηρίωση.....	5
Μακροσκοπική εικόνα.....	6
Πειραματικοί σχεδιασμοί.....	6
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	7
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	8
Επιστημονική τεκμηρίωση.....	8
Μακροσκοπική εικόνα.....	9
Πειραματική διαδικασία.....	9
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	15
ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ / ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ	17
ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΗΘΗΚΑΝ.....	18
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	19
ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	20

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Εισαγωγή

Το υδατικό ζήτημα, διαχρονικά το μεγαλύτερο πρόβλημα της Κύπρου μετά το εθνικό, φτάνει σήμερα σε ένα οριακό σημείο καμπής. Η Κύπρος αντιμετωπίζει τη σοβαρότερη πρόκληση υδατικής ανθεκτικότητας στην ιστορία της, λόγω παρατεταμένης ανομβρίας και υψηλής κατανάλωσης.

Αναγκαιότητα και Σπουδαιότητα της έρευνας

Απέναντι σε αυτή την πρωτοφανή απειλή, η κυβέρνηση απαντά με ένα στιβαρό πακέτο πολλών εκατομμυρίων, επενδύοντας σε νέες μονάδες αφαλάτωσης και υποδομές. Ωστόσο, η κρατική δράση αποτελεί μόνο τη μία όψη του νομίσματος. Όπως επισημαίνει ο Δημήτρης Ηλιάδης (Κέντρο "ΚΟΙΟΣ"), η πραγματική "χρυσή τομή" για την αποφυγή των περικοπών βρίσκεται στη συλλογική μείωση της κατανάλωσης κατά 10%.

Η μετάβαση αυτή δεν απαιτεί θυσίες, αλλά επίγνωση. Γίνεται σαφές ότι η επίτευξη του ευρωπαϊκού στόχου των 125 λίτρων ανά άτομο είναι εφικτή με απλές, καθημερινές κινήσεις: δύο λεπτά λιγότερο στο ντους ή μια μικρή ρύθμιση στο πότισμα αρκούν.

Απέναντι σε αυτή την πρόκληση, η λύση δεν εξαντλείται μόνο στην εξοικονόμηση, αλλά επεκτείνεται και στην υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών. Η χρήση βιοάνθρακα (συχνά αναφερόμενου ως biochar) στη γεωργία αποτελεί μια καινοτόμο λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας στην Κύπρο, όπου εκτός από τον καθαρισμό του πόσιμου νερού, αναδεικνύεται σε "στρατηγικό σύμμαχο" για τη γεωργία και την κηπουρική.

Σκοπός της έρευνας

Η παρούσα έρευνα εξετάζει πώς ο βιοάνθρακας μπορεί να μεταμορφώσει τις παραδοσιακές γεωργικές και αστικές πρακτικές σε ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας και αειφορίας προσφέροντας λύσεις σε προβλήματα ξηρασίας και ρύπανσης του εδάφους.

Περιορισμοί της Έρευνας

Η μελέτη περιορίζεται από την μικρή κλίμακα και την σύντομη διάρκεια της παρατήρησης. Επιπλέον οι ελεγχόμενες συνθήκες της σχολικής αίθουσας δεν λαμβάνουν υπόψη τις ακραίες καιρικές συνθήκες της Κύπρου, οι οποίες επηρεάζουν τον ρυθμό εξάτμισης και την αποδοτικότητα του άνθρακα στο ανοικτό περιβάλλον.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Ιστορική αναδρομή

Ενώ ο όρος "biochar" είναι σύγχρονος, η χρήση του άνθρακα ξεκινά από την αρχαιότητα, με τον βιοάνθρακα να βρίσκει την εντυπωσιακότερη εφαρμογή του πριν από 2.500 χρόνια στον Αμαζόνιο. Εκεί, οι αυτόχθονες δημιούργησαν την Terra Preta (Μαύρη Γη), αναμιγνύοντας απανθρακωμένη βιομάζα με το έδαφος για να μετατρέψουν άγονες εκτάσεις σε εξαιρετικά γόνιμες περιοχές που παραμένουν παραγωγικές μέχρι σήμερα. Παράλληλα, ο άνθρακας με ιδιότητες «ενεργοποίησης» αξιοποιήθηκε από τους Αρχαίους Αιγυπτίους και τον Ιπποκράτη για τη θεραπεία εντερικών παθήσεων και την απορρόφηση οσμών από πληγές. Επιπλέον, οι Φοίνικες και οι Ινδοί ανακάλυψαν τη δύναμη του υλικού στο φιλτράρισμα του νερού, αποθηκεύοντας το σε απανθρακωμένα ξύλινα βαρέλια για να διατηρείται πόσιμο κατά τα μακρινά θαλασσινά ταξίδια. Ενώ ο βιοάνθρακας λειτούργησε ιστορικά ως θεμέλιο για τη γεωργική ανάπτυξη ολόκληρων πολιτισμών, ο ενεργός άνθρακας καθιερώθηκε ως το αρχαιότερο μέσο αποτοξίνωσης και καθαρισμού.

Ενεργός άνθρακας και βιοάνθρακας (biochar)

Ο ενεργός άνθρακας και ο βιοάνθρακας (biochar) είναι δύο μορφές άνθρακα που προέρχονται από την επεξεργασία οργανικών υλικών, αλλά διαφέρουν σημαντικά ως προς την παραγωγή και την χρήση τους. Αποτελούν προϊόντα της διαδικασίας πυρόλυσης οργανικών υλικών όπως ξύλο, τύρφη, πριονίδι, φλοιό καρύδας, μπαμπού, ζαχαροκάλαμο, πυρήνες ελιάς και πολλά άλλα. Η πυρόλυση είναι η θερμική αποσύνθεση των οργανικών υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες σε ένα κλειστό σύστημα ή σε μια ατμόσφαιρα χωρίς οξυγόνο. Το μόνο απόβλητο προϊόν από το κλειστό σύστημα είναι υδρατμοί.

Ο βιοάνθρακας διατηρεί σε μεγάλο βαθμό την κυτταρική δομή της πρώτης ύλης (π.χ. ξύλο, υπολείμματα καλλιεργειών) από την οποία προήλθε. Διαθέτει ένα τεράστιο δίκτυο από μακροπόρους, μεσοπόρους και μικροπόρους. Αυτή η δομή του προσδίδει εξαιρετικά μεγάλη ειδική επιφάνεια, η οποία λειτουργεί ως «σφουγγάρι» για τη συγκράτηση νερού και θρεπτικών συστατικών. Οι πόροι προσφέρουν ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη ωφέλιμων μικροοργανισμών του εδάφους.

Στην επιφάνειά του υπάρχουν χημικές ομάδες (όπως καρβοξύλια και υδροξύλια) που του επιτρέπουν να δεσμεύει μέταλλα και να ανταλλάσσει ιόντα με το έδαφος.

Λόγω της συμπαγούς κρυσταλλικής του δομής, ο βιοάνθρακας δεν αποσυντίθεται εύκολα. Αυτό τον καθιστά ένα μόνιμο εργαλείο για την αποθήκευση του άνθρακα στο έδαφος, βοηθώντας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται συνήθως για το φιλτράρισμα των ρύπων στο νερό και στον αέρα, μεταξύ πολλών άλλων χρήσεων. Παράγεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και υποβάλλεται σε επεξεργασία (ενεργοποιείται) για να έχει μικρού όγκου πόρους που αυξάνουν την επιφάνεια για προσρόφηση ή για χημικές αντιδράσεις. Ο βιοάνθρακας είναι λιγότερο ενεργοβόρος στην παραγωγή και φθηνότερος, ενώ ο ενεργός άνθρακας απαιτεί εντατική επεξεργασία.

Ενώ λοιπόν και τα δύο υλικά βασίζονται στον άνθρακα, ο βιοάνθρακας είναι ο «σπόγγος» για τη ζωή στο έδαφος και το κλίμα, ενώ ο ενεργός άνθρακας είναι ο «μαγνήτης» για τοξίνες και ρύπους σε βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές.

Η παραγωγή βιοάνθρακα, μέσω της διαδικασίας της πυρόλυσης έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια ενώ χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό τόσο σε καλλιεργούμενες εκτάσεις όσο και στην κηπουρική. Πέραν από τις ιδιότητες του βιοανθρακα ως εδαφοβελτιωτικό, η εφαρμογή του στο έδαφος μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου “Black to the future” το οποίο χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα EIT-food και την ΕΕ, διερευνήθηκε η χρήση βιο-άνθρακα σε συνδυασμό με κομπόστα φυτικής προέλευσης (κλαδέματα και φυτικά απόβλητα), σε Ελαιώνες (Ισπανία), Αμπελώνες (Ιταλία) και κτήματα Ροδιάς (Κύπρος), με στόχο τη βελτίωση εδάφους, την αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος, την ενίσχυση της βιοποικιλότητας, τη μείωση στη χρήση του νερού και στην ποιοτική και ποσοτική αύξηση της παραγωγής. Από την διερεύνηση προέκυψαν τα πιο κάτω οφέλη από την χρήση βιοάνθρακα στην γεωργία:

- Μέσο αντιστάθμισης αρνητικών επιπτώσεων κλιματικού στρες
- Σταθερότητα και βιολογική ενεργοποίηση οργανικής ουσίας του εδάφους
- Σταθεροποίηση και δέσμευση άνθρακα στο έδαφος
- Ενίσχυση της μικροβιακής δραστηριότητας
- Βελτίωση φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους
- Αύξηση αποδόσεων και ποιότητας παραγωγής
- Βελτιστοποίηση διαχείρισης φυσικών πόρων και θρεπτικών συστατικών

Μέθοδοι Ενσωμάτωσης

Η εφαρμογή υλικών στο έδαφος γίνεται με συγκεκριμένες μεθόδους για να διασφαλιστεί ότι οι λειτουργικές τους ομάδες θα αλληλοεπιδράσουν αποτελεσματικά με τις ρίζες και τα θρεπτικά συστατικά.

Ομοιόμορφη Ανάμειξη : διασκορπίζεται το υλικό στην επιφάνεια και αναμειγνύεται με το ανώτερο στρώμα του εδάφους (βάθος 10-15 εκ.) χρησιμοποιώντας φρέζα ή τσουγκράνα. Αυτό βελτιώνει τη δομή του εδάφους και τη συγκράτηση νερού σε όλη την έκταση της καλλιέργειας.

Τοπική Εφαρμογή: τοποθετείται το υλικό σε στενές λωρίδες κατά μήκος των γραμμών φύτευσης ή απευθείας στις τρύπες φύτευσης. Η μέθοδος αυτή είναι πιο οικονομική καθώς εστιάζει στην περιοχή όπου αναπτύσσονται οι ρίζες.

Επιφανειακή Κάλυψη: εφαρμογή στην επιφάνεια γύρω από υπάρχοντα δέντρα ή φυτά. Σταδιακά, μέσω του ποτίσματος, τα σωματίδια και τα θρεπτικά συστατικά εισχωρούν βαθύτερα.

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Η μετατροπή της αγροτικής βιομάζας (κλαδέματα κ.λπ.) ή άλλης προέλευσης (π.χ. δασικής) σε βιοάνθρακα αποτελεί μια νέα, πολλά υποσχόμενη μέθοδο με πολλαπλά οφέλη για το περιβάλλον και την αειφόρο ανάπτυξη. Είναι ήδη αποδεκτή μέθοδος για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (IPCC reports 2018, 2019, 2020) και οι εφαρμογές έχουν αρχίσει.

Τα ελαιοκλαδέματα, που παραδοσιακά καίγονται, μπορούν μέσω της πυρόλυσης να μετατραπούν σε βιοάνθρακα. Ο βιοάνθρακας αυτός, όταν ενσωματώνεται στο έδαφος, αποθηκεύει τον άνθρακα για αιώνες. Ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι η αξιοποίηση σημαντικού ποσοστού αυτών των υπολειμμάτων (π.χ. το 50%) μπορεί να οδηγήσει σε αξιοσημείωτη μείωση των καθαρών εκπομπών CO₂ της χώρας, συμβάλλοντας στη δέσμευση άνθρακα, ενισχύοντας ταυτόχρονα την κυκλική οικονομία και βελτιώνοντας την ποιότητα των εδαφών.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την μελέτη της εξοικονόμησης νερού μέσω του βιοάνθρακα σε ένα σχολικό εργαστήριο, η πιο αποτελεσματική μέθοδος είναι το Πείραμα Διήθησης και Κατακράτησης. Αυτό επιτρέπει άμεσα να παρατηρήσουμε πόσο νερό συγκρατεί το χώμα με και χωρίς βιοάνθρακα. Πριν την έναρξη του πρακτικού μέρους, πραγματοποιείται διάλεξη από προσκεκλημένο επιστημονικό συνεργάτη ο οποίος ερευνά την δράση του βιοάνθρακα στο έδαφος. Επίσης το δείγμα βιοάνθρακα που χρησιμοποιήθηκε εξετάστηκε στερεοσκοπικά για τον εντοπισμό [π.χ. μορφολογικών χαρακτηριστικών] με χρήση στερεοσκοπίου.

Επιστημονική τεκμηρίωση

Η διάλεξη εστίασε στα εξής σημεία:

- Ανάλυση της μικροδομής του βιοάνθρακα (πορώδες) και πώς αυτή λειτουργεί ως «αποθήκη» νερού και θρεπτικών συστατικών στο έδαφος.
- Καθοδήγηση των μαθητών στη σωστή ομογενοποίηση των μειγμάτων (χώμα βιοάνθρακα) για να αποφευχθούν σφάλματα στις μετρήσεις.
- Παρουσίαση δεδομένων για τη μείωση της κατανάλωσης νερού σε καλλιέργειες μεγάλης κλίμακας και τη σημασία της κυκλικής οικονομίας.

Τέθηκαν τα πιο κάτω ερωτήματα στον επιστημονικό συνεργάτη, ώστε να συνδέσουν το πείραμα με την πραγματική έρευνα και την κλιματική κρίση:

- Πώς ακριβώς "φυλακίζει" ο βιοάνθρακας το νερό; (εστίαση στην πορώδη δομή).
- Υπάρχει κίνδυνος ο βιοάνθρακας να κρατήσει τόσο πολύ νερό που να σαπίσουν οι ρίζες; (Ερώτηση για τη σωστή αναλογία ανάμειξης).
- Παίξει ρόλο η πρώτη ύλη (π.χ. ξύλο vs υπολείμματα καλαμποκιού) στην ικανότητα εξοικονόμησης νερού;
- Πόσο συχνά θα χρειαζόταν να ποτίζει ένας αγρότης αν χρησιμοποιούσε βιοάνθρακα στα χωράφια του; (Σύνδεση με το κόστος παραγωγής).
- Μπορεί ο βιοάνθρακας να βοηθήσει στην καταπολέμηση της ερημοποίησης σε περιοχές με πολλή ξηρασία, όπως η Κύπρος;
- Εκτός από το νερό, ο βιοάνθρακας βοηθάει και στη συγκράτηση των λιπασμάτων; (Ερώτηση για τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα).
- Ποια είναι η διαφορά του βιοάνθρακα από το κοινό κάρβουνο που χρησιμοποιούμε στο μπάρμπεκιου;

Μακροσκοπική εικόνα

Κατά την παρατήρηση του δείγματος βιοάνθρακα σε στερεοσκόπιο οι μαθητές κατέγραψαν τις παρατηρήσεις τους σε φύλλο εργασίας. (Παράρτημα 1)

Αρχικά σχεδίασαν ένα μικρό τμήμα του βιοάνθρακα όπως το έβλεπαν υπό μεγέθυνση. Στην συνέχεια μελέτησαν ποια από τα παρακάτω χαρακτηριστικά αναγνωρίζανε στο δείγμα τους:

- Μικροπόροι: μικροσκοπικές τρύπες που μοιάζουν με σφουγγάρι ή κυψέλη.
- Φυτικοί Ιστοί: γραμμές ή σωλήνες που θυμίζουν τη δομή του ξύλου.
- Υαλώδης Λάμψη: σημεία που αντανακλούν το φως (υψηλή θερμοκρασία πυρόλυσης).
- Ρωγμές / Σχισμές: μεγάλα ανοίγματα που επιτρέπουν τη διείσδυση των ριζών.

Πειραματικοί σχεδιασμοί

Η έρευνα χωρίστηκε σε τρεις άξονες, για να μελετηθεί ο βιοάνθρακας από τη φυσική δομή του μέχρι την επίδρασή του στην ανάπτυξη.

Άξονας 1: Φυσική Συμπεριφορά & Κατακράτηση (διαφανή δοχεία με οπές αποστράγγισης)

Στόχος: Η μέτρηση της ικανότητας του βιοάνθρακα να συγκρατεί το νερό.

Διαδικασία: Χρησιμοποιήθηκαν τρεις στήλες με διαφορετικά ποσοστά χώματος/βιοάνθρακα. (Χώμα, 10% Biochar, 20% Biochar).

Προστέθηκε ίση ποσότητα νερού και μετρήθηκε ο όγκος διήθησης.

Άξονας 2: Παραγωγικότητα & Ταχεία Ανάπτυξη (Πείραμα με Όσπρια)

Στόχος: Η επίδραση του βιοάνθρακα στον κύκλο ζωής ενός φυτού γρήγορης ανάπτυξης.

Διαδικασία: Φυτεύτηκαν όσπρια σε στήλες με διαφορετικά ποσοστά χώματος / βιοάνθρακα.

Άξονας 3: Ανθεκτικότητα & Μακροπρόθεσμη Ευεξία (Πείραμα με το φυτό Πόθος)

Στόχος: Η μελέτη της επίδρασης σε καλλωπιστικά φυτά εσωτερικού χώρου με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής

Διαδικασία: Μεταφύτευση φυτού Πόθου σε φυσικό χώμα και σε μείγμα με βιοάνθρακα. Παρατήρηση της ζωηρότητας του φυλλώματος και της αντοχής σε αραιότερα ποτίσματα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Άξονας 1: Φυσική Συμπεριφορά & Κατακράτηση νερού

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις πανομοιότυπες πειραματικές στήλες (διαφανή δοχεία με οπές αποστράγγισης) με τα εξής μείγματα:

Δείγμα Α (Μάρτυρας): 100% φυσικό χώμα.

Δείγμα Β (10% Biochar): Μείγμα χώματος με 10% κ.μ. βιοάνθρακα.

Δείγμα Γ (20% Biochar): Μείγμα χώματος με 20% κ.μ. βιοάνθρακα.

Διαδικασία Εκτέλεσης:

Προσθήκη Νερού: Σε κάθε στήλη προστέθηκε ταυτόχρονα σταθερός όγκος νερού (100mL).

Χρονομέτρηση: Καταγράφηκε ο χρόνος εμφάνισης της πρώτης σταγόνας στη βάση (ένδειξη ταχύτητας διήθησης).

Μέτρηση όγκου: Μετά από 15 λεπτά, μετρήθηκε το νερό που εξήλθε σε ογκομετρικούς κυλίνδρους.

Άξονας 2: Μελέτη Βιοδιέγερσης και Ταχείας Ανάπτυξης (χρησιμοποιήθηκε σαν όσπριο η φακή)

A. Προετοιμασία υποστρώματος

Οι μαθητές δημιούργησαν τρία διαφορετικά περιβάλλοντα ανάπτυξης σε πανομοιότυπα διαφανή ποτήρια (για να είναι ορατή η ανάπτυξη των ριζών):

Γλάστρα Α (Μάρτυρας): 100% Χώμα κήπου.

Γλάστρα Β (10% Biochar): Μείγμα 90% χώμα και 10% βιοάνθρακα.

Γλάστρα Γ (20% Biochar): Μείγμα 80% χώμα και 20% βιοάνθρακα.

B. Διαδικασία Σποράς:

Σε κάθε γλάστρα τοποθετήθηκαν 5 σπόροι σε σταθερό βάθος 1 εκατοστού.

Πραγματοποιήθηκε το πρώτο πότισμα με σταθερή ποσότητα νερού σε όλα τα δείγματα.

Γ. Πρωτόκολλο παρακολούθησης

Το πείραμα διήρκεσε 31 ημέρες. Οι μαθητές κατέγραψαν τα εξής:

Χρόνος Φύτρωσης: Ημέρα εμφάνισης του πρώτου βλαστού πάνω από την επιφάνεια.

Ύψος Βλαστού: Μέτρηση με χάρακα από τη βάση του εδάφους έως την κορυφή

Άξονας 3: Μελέτη Ανθεκτικότητας και Φυσιολογίας (Επιβίωση Πόθου)

Α.Επιλογή και μεταφύτευση

Μεταφύτευση δυο πανομοιότυπων φυτών Πόθου, τα οποία επιλέχθηκαν για την ανθεκτικότητά τους και το μεγάλο τους φύλλωμα, σε γλάστρες με τα εξής υποστρώματα:

Γλάστρα Α (Μάρτυρας): 100% χώμα κήπου.

Γλάστρα Β (20% Biochar): Μείγμα 80% χώμα και 20% βιοάνθρακα.

Τεχνική Οδηγία: Σημασία της στατικής πίεσης κατά τη μεταφύτευση, ώστε να μην συμπιεστεί υπερβολικά ο βιοάνθρακας και χαθεί το πορώδες του.

Β. Διαδικασία Ελέγχου και Συντήρησης:

Πρόγραμμα Ποτίσματος: Τα φυτά τοποθετούνται στις ίδιες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας και ποτίζονται με την ίδια ποσότητα νερού.

Δείκτης Μαρασμού: Οι μαθητές παρατηρούν ποιο φυτό δείχνει πρώτο σημάδια έλλειψης νερού (κάμψη φύλλων) αν καθυστερήσει το πότισμα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εξαγωγή των συμπερασμάτων της παρούσας έρευνας βασίστηκε σε μια πολυεπίπεδη προσέγγιση. Τα δεδομένα προέκυψαν από τη στενή συνεργασία με τον επιστημονικό συνεργάτη, τη μικροσκοπική παρατήρηση στο στερεοσκόπιο, καθώς και τη διεξαγωγή στοχευμένων πειραμάτων, διασφαλίζοντας την εγκυρότητα της ανάλυσης που ακολουθεί.

Επιστημονική τεκμηρίωση

Οι απαντήσεις του επιστημονικού συνεργάτη στα ερωτήματα που του τέθηκαν οδηγούν στο συμπέρασμα ότι λόγω της πορώδους δομής το νερό εισχωρεί σε αυτές μέσω της τριχοειδούς δράσης και συγκρατείται μένοντας προστατευμένο από την εξάτμιση, αλλά διαθέσιμο για τις ρίζες.

Με τη σωστή αναλογία (10-20%), ο κίνδυνος σαπίσματος είναι μηδενικός. Αντίθετα, ο βιοάνθρακας βελτιώνει τον αερισμό του εδάφους. Το σάπισμα αποφεύγεται γιατί το πλεονάζον νερό αποστραγγίζεται, ενώ μόνο η απαραίτητη υγρασία μένει στους πόρους. Ο ρόλος της πρώτης ύλης είναι καθοριστικός. Το ξύλο δημιουργεί μεγαλύτερους πόρους (καλό για αερισμό), ενώ τα υπολείμματα καλαμποκιού ή άχυρου δημιουργούν μικρότερους πόρους που κρατούν περισσότερο νερό με αποτέλεσμα η συχνότητα ποτίσματος να μειώνεται στο μισό (50% λιγότερα

ποτίσματα). Για έναν αγρότη, αυτό σημαίνει και τεράστια μείωση στο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος (αντλίες) και εργατικών χεριών. Είναι ένα από τα ισχυρότερα όπλα. Στην Ελλάδα, ειδικά σε αμμώδη εδάφη, ο βιοάνθρακας λειτουργεί ως μόνιμη «υπόγεια δεξαμενή», επιτρέποντας σε φυτά να επιβιώσουν σε περιόδους παρατεταμένου καύσωνα. Όσον αφορά την κατακράτηση λιπασμάτων ο βιοάνθρακας έχει αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνειά του, με αποτέλεσμα να «μαγνητίζει» τα θρεπτικά συστατικά (άζωτο, κάλιο). Έτσι, τα λιπάσματα δεν παρασύρονται από τη βροχή στον υδροφόρο ορίζοντα. Ο βιοάνθρακας διαφέρει από τον άνθρακα μπάρμπεκιου γιατί παράγεται με ελεγχόμενη τεχνική για να είναι χημικά σταθερός και απόλυτα ασφαλής. Ο άνθρακας μπάρμπεκιου περιέχει τοξικές ρητίνες ή δεν γίνεται πλήρης πυρόλυση οπότε ελευθερώνονται αέρια που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Αν τέλος η βιομάζα καιγόταν, ο άνθρακας θα γινόταν αμέσως CO₂. Ως βιοάνθρακας παραμένει στο χώμα σε στερεή μορφή για 500 έως 1.000 χρόνια, βοηθώντας στην ψύξη του πλανήτη.

Μακροσκοπική εικόνα

Κατά την παρατήρηση του δείγματος βιοάνθρακα σε στερεοσκόπιο παρατηρήθηκαν γραμμές που θυμίζουν δομή ξύλου, επιβεβαιώνοντας ότι η πρώτη ύλη ήταν ξυλώδης. Η ορατή διατήρηση της δομής του ξύλου υποδηλώνει την ύπαρξη μεγάλων πόρων, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τη συγκράτηση νερού, τον αερισμό του εδάφους και την παροχή καταφυγίου σε ωφέλιμους μικροοργανισμούς. Επίσης παρατηρήθηκαν σημεία που αντανakλούν το φως και συνδέονται με τον βαθμό πυρόλυσης. Η αυξημένη αντακλαστικότητα αποτελεί δείκτη υψηλής θερμοκρασίας παραγωγής και αυξημένης περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Πειραματική διαδικασία

Άξονας 1: Φυσική Συμπεριφορά & Κατακράτηση νερού

Πίνακας 1: Προετοιμασία δειγμάτων

Δείγμα	Σύνθεση μίγματος	Μάζα Χώματος	Μάζα Βιοάνθρακα	Συνολική μάζα
A (μάρτυρας)	100% χώμα	200g	0g	200g
B (10% Biochar)	90%χώμα + 10% Biochar	180g	20g	200g
Γ (20% Biochar)	80%χώμα + 20% Biochar	160g	40g	200g

Κατά τη ζύγιση, παρατηρήθηκε ότι τα 200g του Δείγματος Γ (20% Biochar) καταλαμβάνουν περισσότερο όγκο στο ποτήρι από τα 200g του Δείγματος Α. Ο βιοάνθρακας είναι πολύ ελαφρύ υλικό. Αυτό σημαίνει ότι "αφρατεύει" το χώμα, βελτιώνοντας τον αερισμό των ριζών. Πριν την προσθήκη νερού, γίνεται καλό ανακάτεμα του χώματος με τον βιοάνθρακα ώστε ο βιοάνθρακας να είναι ομοιόμορφα κατανομημένος σε όλη τη μάζα των 200g.

Σε κάθε δείγμα προστέθηκαν 100ml νερού με την ταυτόχρονη έναρξη της χρονομέτρησης, κατά την οποία οι μαθητές παρατηρούν τη δυναμική της διήθησης στα τρία δείγματα. Παρατηρήθηκε ότι στο δοχείο με το απλό χώμα η πρώτη σταγόνα εμφανίζεται σχεδόν αμέσως, ενώ στα δοχεία με τον βιοάνθρακα η ροή επιβραδύνεται σημαντικά. Μετά από δεκαπέντε λεπτά μετρήθηκε ο όγκος του νερού που διήλθε από τη βάση των δοχείων. Στη συνέχεια, τα δείγματα αφέθηκαν στο εργαστήριο για 15 ημέρες χωρίς επιπλέον πότισμα, προκειμένου να μελετηθεί ο ρυθμός εξάτμισης.

Πίνακας 2: Κατακράτηση & Εξάτμιση Νερού

Δείγμα (200g υλικού)	Νερό που προστέθηκε	Νερό που διήλθε	Αρχική κατακράτηση	Μάζα 15 ^{ης} ημέρας	Υπόλοιπο νερού	Ποσοστό διατήρησης
A (μάρτυρας)	100mL	45mL	55g	201g	1g	1,8%
B (10% Biochar)	100mL	28mL	72g	212g	12g	16,6%
Γ (20% Biochar)	100mL	10mL	90g	216g	16g	17,7%

Παρατηρήθηκε ότι το φυσικό χώμα επέτρεψε σε 45ml να διαφύγουν, το δείγμα με 20% βιοάνθρακα συγκράτησε σχεδόν όλη την ποσότητα, επιτρέποντας τη διέλευση μόλις 10ml. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην υψηλή πορώδη δομή του βιοάνθρακα που λειτουργεί ως "μαγνήτης" υγρασίας.



Κατά την τελική ζύγιση, μετά από 15 μέρες διαπιστώθηκε ότι το φυσικό χώμα είχε επιστρέψει σχεδόν στην αρχική του μάζα (201g), έχοντας χάσει το 98% του νερού του. Αντίθετα, το δείγμα με 20% βιοάνθρακα διατήρησε τη μάζα του στα 216g, απορροφώντας 16 φορές περισσότερο νερό (16g έναντι 1g) στο εσωτερικό του.

Η παρατήρηση αυτή επιβεβαίωσε τη θεωρία του ερευνητή ότι ο βιοάνθρακας δεν αποθηκεύει απλώς το νερό, αλλά το προστατεύει από την εξάτμιση, καθιστώντας το διαθέσιμο για τις ρίζες για διπλάσιο χρονικό διάστημα.

Άξονας 2 : Μελέτη Βιοδιέγερσης και Ταχείας Ανάπτυξης (Φακές)

Πίνακας 3: Μέτρηση ύψους φυτών φακής σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα

Ημέρα	Υψος φακής (cm)		
	Χώμα	10% Βιοάνθρακα	20% Βιοάνθρακα
.	0	0	0
1	0	0	0
3	2.3	3.1	3.6
5	3.7	4.9	5.9
7	5.1	6.7	7.8
9	6.8	8.2	9.6
11	9.6	12.4	14.2
13	11.2	14.8	17.1
15	13.1	16.7	19.3
17	13.9	18.1	20.5
19	14.5	19	21.8
21	14.9	19.8	22.5
23	15.4	20.6	23.4
25	16.7	22.5	25.7
27	19.2	25.3	28.9
29	20	26.2	29.6
31	20.3	26.9	30.5

Από τον πίνακα μετρήσεων για την ανάπτυξη της φακής σε διάστημα 31 ημερών, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Ο βιοάνθρακας λειτουργεί ως επιταχυντής ανάπτυξης. Σε όλες τις φάσεις του πειράματος, τα φυτά βιοάνθρακα είναι σταθερά πιο ψηλά από εκείνα στο απλό χώμα. Υπάρχει μια ξεκάθαρη αναλογική σχέση, όσο αυξάνεται το ποσοστό του βιοάνθρακα, τόσο αυξάνεται και το ύψος της φακής.

Το δείγμα με 20% βιοάνθρακα παρουσιάζει τη μέγιστη ανάπτυξη, φτάνοντας τα 30,5 cm την 31η μέρα. Το δείγμα με 10% βιοάνθρακα έχει ενδιάμεση απόδοση με 26,9 cm. Ενώ το δείγμα με 0% βιοάνθρακα (Μάρτυρας) έχει τη χαμηλότερη ανάπτυξη, φτάνοντας μόλις τα 20,3 cm.

Όσον αφορά τον ρυθμό ανάπτυξης κατά το πρώιμο στάδιο (Ημέρες 1-7) οι διαφορές είναι ήδη ορατές. Το φυτό με 20% Β.Α. αναπτύσσεται ταχύτερα από το απλό χώμα (7,8 cm έναντι 5,1 cm). Στο τελικό στάδιο (Ημέρες 25-31) παρατηρείται μια μικρή επιβράδυνση στον ρυθμό ανάπτυξης (το φυτό αρχίζει να σταθεροποιείται σε ύψος), αλλά η διαφορά παραμένει μεγάλη (περίπου 10 cm διαφορά μεταξύ 0% και 20%).



Άξονας 3 : Δοκιμασία Αντοχής στην Ξηρασία

Πίνακας 3: Μέτρηση απορρόφησης νερού δύο πανομοιότυπων φυτών σε γλάστρες με διαφορετικά υποστρώματα.

Δείγμα	Προσθήκη νερού	Κατακράτηση	Διήθηση	% Κατακράτηση
Φυσικό χώμα	200mL	160mL	40mL	80%
Χώμα + Βιοάνθρακας 20%	200mL	190mL	10mL	95%

Στον τρίτο άξονα της έρευνας, μελετήσαμε την επίδραση του βιοάνθρακα σε ένα καλλωπιστικό φυτό, τον Πόθο. Ο Πόθος είναι πολυετές φυτό με αργό ρυθμό ανάπτυξης σε σύγκριση με τη φακή. Ενώ η φακή ολοκληρώνει έναν κύκλο σε μέρες, ο Πόθος χρειάζεται εβδομάδες για να βγάλει ένα νέο φύλλο. Η έρευνα επικεντρώθηκε στην επιβίωση και όχι στην ταχεία αύξηση του ύψους του φυτού. Πραγματοποιήθηκε μεταφύτευση δύο πανομοιότυπων φυτών σε γλάστρες με διαφορετικά υποστρώματα.

Αρχικά, ποτίστηκαν και τα δύο φυτά με την ίδια ποσότητα νερού (200ml). Παρατηρήθηκε αμέσως η διαφορά στην απορρόφηση.

Το μείγμα με τον βιοάνθρακα περιόρισε τις απώλειες νερού κατά 5% σε σχέση με το φυσικό χώμα. Αυτό σημαίνει ότι σχεδόν όλο το νερό του ποτίσματος παρέμεινε διαθέσιμο στη γλάστρα. Αυτή η διαφορά των 30 ml δεν είναι απλή υγρασία επιφάνειας αλλά ο βιοάνθρακας «ρούφηξε» το νερό, ενώ το φυσικό χώμα όχι.

Μετά την αρχική φάση ποτίσματος, τα φυτά αφέθηκαν εσκεμμένα χωρίς πότισμα για να μελετηθεί το σημείο μαρασμού.

Ανάλυση Κρίσιμων Σημείων

Ημέρα 0: Η Αφιετηρία: Και τα δύο φυτά ξεκινούν με την ίδια ποσότητα νερού (200mL). Όπως είδαμε ο βιοάνθρακας κατακράτησε το 95% αυτού του νερού, ενώ το φυσικό χώμα μόνο το 75%.



Ημέρα 15: Το Σημείο Καμπής: Το φυσικό χώμα έχει πλέον στεγνώσει εντελώς. Ο Πόθος στον Μάρτυρα παρουσιάζει έντονο μαρασμό. Τα φύλλα έχασαν την κλίση τους και έγιναν μαλακά, ένδειξη ότι το διαθέσιμο νερό στο χώμα εξαντλήθηκε πλήρως. Αντίθετα, ο Πόθος στον βιοάνθρακα παραμένει σφριγηλός, καθώς αντλεί το αποθηκευμένο νερό από τους πόρους.



Ημέρα 30: Το φυτό με τον βιοάνθρακα άντεξε διπλάσιο χρόνο χωρίς εξωτερική βοήθεια. Αυτό αποδεικνύει ότι ο βιοάνθρακας χαμηλώνει το «σημείο μαρασμού» και αυξάνει την ανθεκτικότητα του εδάφους.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο βιοάνθρακας μετατρέπει το έδαφος σε ένα «δυναμικό σφουγγάρι». Με την προσθήκη βιοάνθρακα η ικανότητα κατακράτησης του νερού αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με το απλό χώμα. Το πιο κρίσιμο εύρημα είναι η προστασία από την εξάτμιση, μετά από 15 ημέρες το δείγμα με βιοάνθρακα διατήρησε περισσότερη υγρασία αποδεικνύοντας ότι οι μικροπόροι «κλειδώνουν» το νερό στο εσωτερικό τους. Η θεωρία επιβεβαιώθηκε στην πράξη μέσω της δοκιμασίας ξηρασίας. Ο βιοάνθρακας διπλασίασε τον χρόνο επιβίωσης του φυτού. Ενώ ο Μάρτυρας μαράθηκε στις 15 ημέρες (λόγω μηδενισμού της υγρασίας), ο Πόθος στον βιοάνθρακα παρέμεινε σφριγηλός για 30 ημέρες. Αυτό οδηγεί σε 50% οικονομία νερού, καθώς απαιτείται μόνο ένα πότισμα τον μήνα αντί για δύο. Τα αποτελέσματα μας ευθυγραμμίζονται πλήρως με τις σύγχρονες αρχές της Αστικής Γεωργίας (Urban Gardening) και τα ερευνητικά δεδομένα των Zhang et al. (2023), που αποδεικνύουν ότι ο βιοάνθρακας σε καλλωπιστικά φυτά αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους και την οπτική τους υγεία μειώνοντας το υδατικό στρες.

Στα φυτά ταχείας ανάπτυξης η σταθερή παροχή υγρασίας και η συγκράτηση θρεπτικών συστατικών που μπορεί να υπήρχαν στο έδαφος οδήγησαν σε ταχύτερη φύτευση και πιο εύρωστους βλαστούς, αποδεικνύοντας ότι το υλικό βελτιώνει τη γονιμότητα ακόμα και σε φτωχά υποστρώματα.

Ο βιοάνθρακας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους παραγωγής (λιγότερο νερό/λίπασμα). Αποτρέπει τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα και λειτουργεί ως μέσο δέσμευσης άνθρακα, θάβοντας το στο έδαφος για εκατοντάδες χρόνια. Ο βιοάνθρακας δεν είναι απλώς ένα εδαφοβελτιωτικό, αλλά μια τεχνολογία κλιματικής

θωράκισης. Η έρευνά μας απέδειξε ότι η χρήση του είναι επιβεβλημένη σε περιοχές με λειψυδρία, όπως η Κύπρος, προσφέροντας σταθερότητα στα οικοσυστήματα και βιωσιμότητα στην καλλιέργεια.

Όπως φαίνεται και από την βιβλιογραφία ο βιοάνθρακας προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο στη δομή και την υγεία του εδάφους όσο και στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, δρώντας ως βελτιωτικό εδάφους μακράς διάρκειας. Αυξάνει το πορώδες του εδάφους, βελτιώνοντας τον αερισμό και την αποστράγγιση, γεγονός που αποτρέπει τη συμπίεση και βοηθά τις ρίζες να αναπνέουν. Μειώνει την ανάγκη για συχνό πότισμα, καθώς συγκρατεί την υγρασία κοντά στη ρίζα, καθιστώντας τις καλλιέργειες πιο ανθεκτικές στην ξηρασία. Δεσμεύει τα θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φώσφορο, κάλιο) και τα αποδίδει σταδιακά στα φυτά, μειώνοντας τις απώλειες λιπασμάτων λόγω έκπλυσης. Η πορώδης επιφάνεια προσφέρει "καταφύγιο" για ωφέλιμους μικροοργανισμούς και μύκητες, ενισχύοντας τη βιολογική δραστηριότητα του εδάφους. Ο καλύτερος αερισμός και η συγκράτηση υγρασίας επιτρέπουν στις ρίζες να αναπτύσσονται πιο εύκολα και βαθιά. Η καλύτερη διατροφή και η μείωση του στρες (ξηρασία, τοξικότητα) οδηγούν σε υγιέστερα φυτά και υψηλότερες αποδόσεις. Δεσμεύοντας αλληλοπαθητικές ενώσεις και οργανικά οξέα, μπορεί να μειώσει την εμφάνιση ασθενειών που προέρχονται από το έδαφος.

Παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, η παρούσα έρευνα διεξήχθη υπό συγκεκριμένες συνθήκες που θέτουν ορισμένους περιορισμούς στην άμεση γενίκευση των συμπερασμάτων. Η μικρή διάρκεια του πειράματος δεν επιτρέπει την πλήρη αξιολόγηση της δράσης του βιοάνθρακα σε βάθος χρόνου, καθώς η συνεισφορά του στο έδαφος εξελίσσεται για δεκαετίες. Επιπλέον, η διεξαγωγή των μετρήσεων σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον και μικρή κλίμακα δεν ενσωματώνει τις σύνθετες μεταβλητές της υπαίθρου, όπως η ένταση του ανέμου και η ηλιοφάνεια. Τέλος, η εστίαση σε συγκεκριμένα φυτικά είδη (φακή, πόθος) και σε έναν συγκεκριμένο τύπο βιοάνθρακα υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω δοκιμές, καθώς διαφορετικές πρώτες ύλες παραγωγής ή φυτά με διαφορετικές απαιτήσεις ενδέχεται να παρουσιάσουν αποκλίσεις στην αποτελεσματικότητά τους.

ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ / ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ

Η κλιματική αλλαγή δεν αποτελεί πλέον μια θεωρητική απειλή, αλλά μια καθημερινή πραγματικότητα που επηρεάζει άμεσα τους δημόσιους χώρους και κατ' επέκταση, το σχολικό μας περιβάλλον. Οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας και οι υψηλές θερμοκρασίες καθιστούν τη συντήρηση των σχολικών κήπων μια διαρκή πρόκληση, τόσο σε επίπεδο πόρων όσο και σε επίπεδο ανθρώπινου δυναμικού. Μέσω της χρήσης καινοτόμων υλικών, όπως ο βιοάνθρακας, θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε έναν σχολικό κήπο που αυτοπροστατεύεται και ευδοκίμει με τις ελάχιστες δυνατές παρεμβάσεις. Η παρούσα εισήγηση για δημιουργία ενός «Κλιματικά Θωρακισμένου» Σχολικού Κήπου δεν στοχεύει απλώς στον καλλωπισμό του χώρου. Αποτελεί μια στρατηγική παρέμβαση, που συνδυάζει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα με την οικονομική αποτελεσματικότητα. Με την εφαρμογή αυτής της πρότασης, το σχολείο μας μετατρέπεται σε ένα πρότυπο «πράσινης οικονομίας» στην πράξη, μειώνοντας δραστικά τα λειτουργικά έξοδα και προσφέροντας στους μαθητές ένα ζωντανό παράδειγμα οικολογικής θωράκισης.

Η μετάβαση από το εργαστήριο στον κήπο θα αποδείξει ότι η σχολική κοινότητα μπορεί να υιοθετήσει πράσινες τεχνολογίες που προστατεύουν το περιβάλλον και εξοικονομούν πολύτιμους πόρους. Για την επέκταση της έρευνας εκτός των ορίων του σχολείου, οι εισηγήσεις εστιάζουν στην εφαρμογή του βιοάνθρακα σε πραγματικές συνθήκες μεγάλης κλίμακας. Μέσα από τη συνεργασία με τοπικούς αγροτικούς συνεταιρισμούς, προτείνεται η μεταφορά της εργαστηριακής γνώσης στο πεδίο, με πειραματικές καλλιέργειες που θα επιβεβαιώσουν τη δραστική μείωση της κατανάλωσης νερού σε πραγματικές συνθήκες. Παράλληλα, ο βιοάνθρακας μπορεί να αποτελέσει ένα κρίσιμο εργαλείο για την αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφών και την ενίσχυση αναδασώσεων σε πυρόπληκτες περιοχές, λειτουργώντας ως “μονάδα εντατικής θεραπείας” για τα νέα δενδρύλλια.

Στο πλαίσιο μιας “έξυπνης πόλης”, η υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας στην αστική κηποτεχνία και τα δημοτικά πάρκα θα περιόριζε σημαντικά τα δρομολόγια των υδροφόρων, μειώνοντας το κόστος καυσίμων και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του Δήμου. Η στρατηγική αυτή ολοκληρώνεται με την εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας, όπου τα αστικά πράσινα απόβλητα (κλαδέματα) μετατρέπονται μέσω πυρόλυσης σε βιοάνθρακα, επιστρέφοντας στο έδαφος της πόλης.

Αυτές οι εισηγήσεις μετατρέπουν το σχολικό πείραμα σε μια κοινωνική πρόταση.

ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΗΘΗΚΑΝ

Μέσα από αυτή την έρευνα, νιώσαμε σαν μικροί επιστήμονες που αναζητούν λύσεις για τον πλανήτη. Συνδέσαμε τη θεωρία με την πράξη.

Η συμμετοχή μας στην έρευνα ξεπέρασε τα όρια μιας τυπικής σχολικής δραστηριότητας, μετατρέποντάς μας σε συν-δημιουργούς γνώσης. Μέσα από την άμεση επαφή με το χώμα και τον βιοάνθρακα, βιώσαμε τη μετάβαση από τη θεωρία της κλιματικής αλλαγής στην έμπρακτη επίλυση προβλημάτων. Δεν μάθαμε απλώς για τον βιοάνθρακα, αλλά ανακαλύψαμε ένα εργαλείο που μπορεί να κάνει την πόλη μας πιο βιώσιμη.

Η διαδικασία της χρονομέτρησης και της συστηματικής παρατήρησης καλλιέργησε την ερευνητική μας υπομονή, διδάσκοντάς μας ότι η επιστήμη απαιτεί ακρίβεια και προσοχή στη λεπτομέρεια. Καταλάβαμε πώς στήνεται ένα πείραμα.

Αντιληφθήκαμε ότι το νερό δεν είναι ανεξάντλητο, και ως ένα πολύτιμο αγαθό πρέπει να "φυλακιστεί" στο έδαφος για την επιβίωση των φυτών.

Η εμπειρία της κυκλικής οικονομίας έγινε αντιληπτή καθώς μάθαμε πώς τα κλαδέματα και τα οργανικά υπολείμματα, μέσω της πυρόλυσης, αποκτούν μια "δεύτερη ζωή" ως προστάτες του κήπου μας.

Το πιο καθοριστικό στοιχείο, ωστόσο, ήταν η καλλιέργεια του αισθήματος της συλλογικής ευθύνης. Συνεργαστήκαμε, μοιράσαμε ρόλους και είδαμε ότι όταν ενώνουμε τις δυνάμεις μας, μπορούμε να βρούμε λύσεις σε πολλά προβλήματα.

Τέλος γνωρίσαμε τον τρόπο συγγραφής και παρουσίασης μιας ερευνητικής εργασίας.

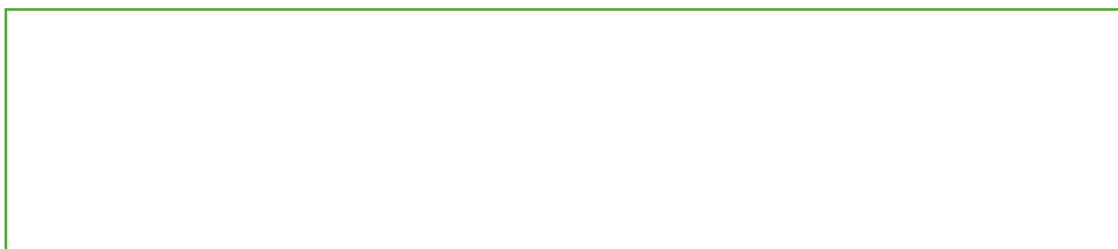
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: Παρατήρηση Δείγματος Βιοάνθρακα

Ονοματεπώνυμο: _____ Ημερομηνία: _____

Δραστηριότητα 1.

Τοποθετήστε το δείγμα σας στο στερεοσκόπιο και ρυθμίστε τη μεγέθυνση. Σχεδιάστε στο παρακάτω πλαίσιο ένα μικρό τμήμα του βιοάνθρακα, δίνοντας έμφαση στις λεπτομέρειες που παρατηρείτε.



Δραστηριότητα 2

Μελετήστε προσεκτικά το δείγμα σας. Σημειώστε με [√] στα παρακάτω χαρακτηριστικά που μπορείτε να αναγνωρίσετε.

Μικροπόροι: Μικροσκοπικές τρύπες (σαν σφουγγάρι ή κυψέλες)

Φυτικοί ιστοί: Γραμμές ή σωλήνες που θυμίζουν την δομή ξύλου

Υαλώδης λάμψη: Σημεία που αντανακλούν έντονα φως

Ρωγμές/ Σχισμές: Μεγάλα ανοίγματα στη δομή του δείγματος

Δραστηριότητα 3

Με βάση την παρατήρησή σας, πώς νομίζετε ότι οι μικροπόροι και οι ρωγμές βοηθούν ένα φυτό που μεγαλώνει σε έδαφος με βιοάνθρακα; (Σκεφτείτε το νερό, τον αέρα και τις ρίζες).

.....

.....

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. International Biochar Initiative (IBI). Biochar Standards.
<https://biochar-international.org/biochar-standards/>
2. Elsevier. Terra preta. ScienceDirect Topics.
<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/terra-preta>
3. Biochar New Zealand. About biochar.
<https://biochar.co.nz/about-biochar>
4. Frontiers in Soil Science. (2024). Biochar and soil interactions [Άρθρο].
<https://www.frontiersin.org/journals/soilscience/articles/10.3389/fsoil.2024.1371777/full>
5. National Center for Biotechnology Information. (2019). Biochar amendment effects on soil properties and greenhouse gas emissions.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6402350/>
6. Elsevier. (2016). Study on biochar properties and thermogravimetric analysis [Περίληψη].
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894716311627#:~:text=It%20was%20found%20that%20the,derivative%20thermogravimetric%20analyses%20were%20conducted.>
7. National Center for Biotechnology Information. (2021). *Biochar applications and environmental impacts*.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8397991/>