



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Συμβολή στην μελέτη της επίδρασης των αναλογιών έδαφος – compost και επιπέδων Cd στην ανάπτυξη του μαρουλιού και συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο φυτό και στο έδαφος».*

Σπουδάστριας: Βασιλοπούλου Κωνσταντίνας

Καλαμάτα, 2014



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Συμβολή στην μελέτη της επίδρασης των αναλογιών έδαφος – compost και επιπέδων Cd στην ανάπτυξη του μαρουλιού και συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο φυτό και στο έδαφος».*

Σπουδάστριας: Βασιλοπούλου Κωνσταντίνας

Εισηγητής: Μουρούτογλου Χρ.

Καθηγητής Εφαρμογών

Καλαμάτα, 2014

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
	ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
	ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ	8
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1	COMPOST	8
1.1	Τι είναι το compost	8
1.2	Ιστορική αναδρομή	9
1.3	Κομποστοποίηση (παραγωγή) compost	10
1.4	Υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή compost	10
1.5	Η διαδικασία της κομποστοποίησης. Προετοιμασία του οργανικού υποστρώματος	11
1.6	Οι φάσεις της κομποστοποίησης	14
1.7	Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση	15
1.7.1	Άνθρακας (C)	15
1.7.2	Άζωτο (N)	16
1.7.2.1	Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N)	16
1.7.3	Άλλα θρεπτικά στοιχεία	17
1.8	Οι κυριότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση	17
1.8.1	Λερισμός	17
1.8.2	Υγρασία	18
1.8.3	Θερμοκρασία	18
1.8.4	pH	19
1.9	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του compost	20
1.9.1	Πλεονεκτήματα	20
1.9.2	Μειονεκτήματα	21
2	COMPOST ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ	21
2.1	Τα ελαιοτριβεία στην Ελλάδα	21
2.2	Τρόπος παραγωγής compost από υπολείμματα ελαιοτριβείου	22
3	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	22
3.1	Γενική εισαγωγή	22
3.1.1	Βαρέα μέταλλα και περιβάλλον	23
3.2	Κυριότερη πηγή μετάλλων	24
3.3	Βαρέα μέταλλα στα φυσικά συστήματα	24
3.4	Βαρέα μέταλλα στην ατμόσφαιρα	25
3.5	Βαρέα μέταλλα στο έδαφος	26
3.6	Ρύπανση του εδάφους	27
3.7	Βαρέα μέταλλα στα φυτά	28
3.8	Μέθοδοι μείωσης βαρέων μετάλλων στα καλλιεργητικά εδάφη	30

4	ΚΑΔΜΙΟ (Cd)	31
4.1	Γενικά	31
4.2	Το κάδμιο στην ατμόσφαιρα	31
4.3	Το κάδμιο στο έδαφος	32
4.4	Το κάδμιο στους φυτικούς ιστούς	33
	ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ	36
	Οι στόχοι του πειράματος	36
	Περιγραφή αγροτικού υλικού και μέθοδοι	36
	Προετοιμασία του πειραματικού	37
	Πειραματικό σχέδιο	37
	Ποιοτικά χαρακτηριστικά compost	39
	Αποτελέσματα	40
	Υπέργειο νωπό βάρος	41
	Υπέργειο ξηρό βάρος	43
	Υψος φυτών	45
	Αριθμός φύλλων φυτών	47
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	49
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

*Στην οικογένειά μου*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου στο Α.Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας σύμφωνα με το νόμο για τη λήψη του πτυχίου προβλέπεται κατάθεση Πτυχιακής Εργασίας. Ύστερα από σχετική διαδικασία απευθύνθηκα στο καθηγητή κύριο Χρήστο Μουρούτογλου, ο οποίος με δέχτηκε πρόθυμα και κατόπιν συζητήσεως μου ανάθεσε το θέμα: «Συμβολή στην μελέτη της επίδρασης των αναλογιών compost – έδαφος –και επιπέδων Cd στην ανάπτυξη του μαρουλιού και συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στο φυτό και στο έδαφος». Μετά τον ορισμό του θέματος και αφού πραγματοποίησα την πειραματική άσκηση ανέτρεξα σε σχετική βιβλιογραφία τόσο σ' έντυπα βιβλία όσο και στο διαδίκτυο. Αφού συνέλεξα το υλικό έκανα καταγραφή, ταξινόμηση και αμέσως μετά συνέταξα την εργασία.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον προαναφερθέντα καθηγητή μου, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου και ν' αποκτήσω πολλές εμπειρίες με αφορμή τη σύνταξη της πτυχιακής εργασίας. Πιστεύω ότι ανταποκρίθηκα κατά δύναμη στο θέμα που μου ανατέθηκε.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή μου Χρήστο Πασχαλίδη για την συμβολή του τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πειραματικής εργασίας όσο και κατά τη διάρκεια συγγραφής της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την τεχνική βοηθό του εργαστηρίου εδαφολογίας κα. Αντωνία Κορίκη για τις πολύτιμες συμβουλές, αλλά και για την αδιάκοπη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην κα Μαρία Κατίκα για την υποστήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχε κατά την διάρκεια της φοίτησής και μέχρι τώρα πορείας μου.

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων που επέβαλλε η εντατικοποίηση των συμβατικών καλλιεργειών, είχε ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της δομής, της θρεπτικής αξίας του εδάφους, αλλά και την ρύπανση του περιβάλλοντος. Οι γεωργοί μέχρι πρόσφατα αγνοούσαν τους παράγοντες που αφορούν τη δομή του εδάφους, τον ρόλο της οργανικής ουσίας και των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων, αλλά και της οικολογίας των εδαφικών μικροοργανισμών. Πίστευαν ότι με σωστή άρδευση αλλά και με άφθονη λίπανση αρκούσε για να έχουν τη καλύτερη δυνατή παραγωγή. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως οι σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτής της μη γνώσης είναι εμφανείς. Πλέον ο άνθρωπος έχει αναγκαστεί να στραφεί σε εναλλακτικές καλλιέργειες ήπιες και φιλικές προς το περιβάλλον, που στόχο έχουν την βελτίωση της ποιότητας και παραγωγικότητας του εδάφους με τη χρήση οργανικών λιπασμάτων, μειωμένης κατεργασίας του εδάφους και βιολογικής καταπολέμησης εχθρών και ασθενειών των φυτών.

Στη βιολογική και ολοκληρωμένη γεωργία είναι πολύ σημαντικό να χρησιμοποιηθεί η ίδια φύση ως παράδειγμα για τη σωστή βιώσιμη ανάπτυξη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η βιολογική αποδόμηση των κάθε λογής οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων και την επιστροφή τους στους φυσικούς τους αποδέκτες και ιδιαίτερα στο έδαφος. Για να γίνει ταχύτερα η αποδόμηση αυτών των υλικών στο έδαφος, γίνεται προηγουμένως επεξεργασία τους που αποδίδεται με τον διεθνή όρο *composting* (κομποστοποίηση).

### 1. COMPOST

#### 1.1 Τι είναι το compost

Το *compost* είναι ένα σταθεροποιημένο οργανικό υλικό, που είναι αποτέλεσμα της αερόβιας αποικοδόμησης οργανικών υπολειμμάτων και της μετατροπής του σε οργανική ουσία με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Είναι υπόστρωμα υψηλής θρεπτικής αξίας, πλούσιο σε μικροοργανισμούς και βιοχημικούς ενεργοποιητές, με πολλά βελτιωτικά κολλοειδή να χαρακτηρίζουν την ποιότητα της δομής του.



## 1.2 Ιστορική αναδρομή

Το compost είναι μια από τις πιο παλιές γεωργικές τεχνικές και η ιστορία του ανάγεται σε πολλούς αιώνες πριν. Έλληνες και Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν άμεσα τα οργανικά απόβλητα ή τα κομποστοποιούσαν. Ακόμα πρώιμοι πολιτισμοί της Κίνας και της Ινδίας χρησιμοποίησαν ζωικά και ανθρώπινα απόβλητα ως λιπάσματα.

Η έννοια της (κομποστοποίησης) composting όπως είναι γνωστή σήμερα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον Albert Howard που την περίοδο 1924-1931 ασχολήθηκε εντατικά με το θέμα στην κεντρική Ινδία. Αρχικά η διαδικασία της κομποστοποίησης ήταν αναερόβια και την τροποποίησε σε αερόβια. Η βασική του ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν φυτικά, ζωικά αλλά και ανθρώπινα περιττώματα αναμιγνύοντάς τα με ένα αλκαλικό υλικό για την εξουδετέρωση της οξύτητας. Άλλος επιστήμονας που ασχολήθηκε με το θέμα της κομποστοποίησης είναι ο Van Vuren, που το 1939 στην Νότια Αφρική δημοσίευσε κάποια αποτελέσματα κομποστοποίησης των αστικών απορριμμάτων έχοντας βασιστεί στις αρχές του Howard.

Μετά το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου η κομποστοποίηση αναπτύχθηκε στην Ευρώπη. Συγκεκριμένα, στην Ολλανδία κατασκευάστηκαν δυο μεγάλες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης η Mierlo και η Wijster και υπολογίστηκε ότι το 1/3 των ολλανδικών απορριμμάτων κομποστοποιήθηκε σε αυτές τις εγκαταστάσεις. Ο τρόπος λειτουργίας τους ήταν με τη μέθοδο VAM, τα απόβλητα μεταφέρονταν με βαγόνια πάνω σε μια ανυψωμένη κεκλιμένη ράμπα και τα τοποθετούσαν σε μεγάλους σωρούς και με γεραμούς να τα ανακατεύουν για αρκετούς μήνες. Με αυτόν τον τρόπο παράχθηκαν διάφοροι τύποι compost για την γεωργία. Ήταν μια μέθοδος που φάνηκε να ταιριάζει στις αναπτυσσόμενες χώρες, λόγω της απλής τεχνολογίας της. Οι Η.Π.Α άρχισαν να κάνουν έρευνες τη δεκαετία του 70' και συγκεκριμένα το 1973 η γεωργική υπηρεσία και το κέντρο γεωργικών ερευνών, έκαναν έρευνα στη λίπανση με απορρίμματα. Στις μέρες μας τα σημαντικότερα ιδρύματα που αναλαμβάνουν έρευνες για την κομποστοποίηση είναι το USDA και τα πανεπιστήμια του Οχάιο και της Φλόριντα.

### **1.3 Κομποστοποίηση (παραγωγή) compost**

Η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία που συμβαίνει στη φύση, και αποτελεί μέρος του κύκλου των θρεπτικών στοιχείων σε ένα οικοσύστημα, π.χ. σε ένα δάσος φυλλοβόλων. Οργανισμοί (αποικοδομητές), όπως είναι μικρά έντομα κ.α. αρθρόποδα, σκώληκες και διάφοροι μικροοργανισμοί τρέφονται από τα νεκρά οργανικά υλικά όπως τα πεσμένα φύλλα ή την κοπριά των ζώων, τα διασπούν σε απλούστερα συστατικά που τα χρησιμοποιούν για την ανάπτυξή τους, συνθέτοντας νέες ενώσεις που μοιάζουν με το φυσικό χούμο του εδάφους. Η διαδικασία αυτή είναι αερόβια και εξώθερμη. Τελικά, όλες αυτές οι ουσίες, μέσω του εδάφους, γίνονται τροφή των φυτών.

Η κομποστοποίηση είναι μια φαινομενικά απλή διεργασία, αν και συνήθως αυτή η εντύπωση οδηγεί συχνά σε βασικά λάθη, αν αγνοηθούν οι βασικές αρχές και παράμετροι της διεργασίας. Τέτοια λάθη έχουν συμβεί αρκετές φορές ακόμη και σε ακριβή συστήματα κομποστοποίησης που οφείλονταν σε παραβλέψεις βασικών λειτουργικών, τροφικών αλλά και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Πλήθος από οργανικά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με κατάλληλη επεξεργασία να μετατραπούν σε ένα πλούσιο από θρεπτικά στοιχεία φυτόχωμα. Το compost, μπορεί να βρει πολλές εφαρμογές στη γεωργία, στα πάρκα και στην ανάπλαση προβληματικών εκτάσεων.

### **1.4 Υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή compost**

Για την παρασκευή compost χρειάζονται ορισμένες γνώσεις γιατί η ποιότητα του εξαρτάται κυρίως από το είδος και τις πρώτες ύλες, καθώς και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Ο καλύτερος τρόπος για παρασκευή compost είναι να τοποθετούνται όσο γίνεται περισσότερα είδη υλικών, με αυτή τη μέθοδο το τελικό προϊόν θα είναι καλύτερο και πληρέστερο σε θρεπτικά συστατικά. Παρακάτω θα αναφερθούν πια υλικά είναι κατάλληλα και πια μη κατάλληλα για εισαγωγή σε σωρούς compost.

### Κατάλληλα υλικά:

<b>Φυτικά:</b>	Υπολείμματα καλλιεργειών: φύλλα, κομμένα στελέχη, αγριόχορτα, άχυρα Υπολείμματα κουζίνας: φλούδες λαχανικών, φρούτων Υπολείμματα γεωργικών βιομηχανιών: υπολείμματα ελαιοτριβείων, στέμφυλα από οينوποιεία, υπολείμματα εκκοκκισμού βάμβακος Πριονίδι.
<b>Ζωικά:</b>	Διάφορες κοπριές: αγελάδων, αιγοπροβάτων, αλόγων, κουνελιών, πουλερικών Αιματάλευρα, κρεατάλευρα, τρίχες και μαλλί ζώων, κελύφη αυγών
<b>Διάφορα:</b>	Θαλάσσια φύκια, στάχτη από ξύλα, σκόνη πετρωμάτων, σκόνη ασβέστη, ποσότητα παλαιού compost

### Ακατάλληλα υλικά:

<b>Φυτικά:</b>	Μέρη φυτών που έχουν ραντιστεί με φυτοφάρμακα, άρρωστα φυτά, φύλλα ευκαλύπτου, τούγιας, συκιάς, λάδια από φαγητά, αποφάγια μαγειρεμένων φαγητών
<b>Ζωικά:</b>	Οστά, εντόσθια, κρέατα, τυροκομικά, αποφάγια μαγειρεμένων φαγητών
<b>Διάφορα:</b>	Πλαστικά, μεταλλικά αντικείμενα, γυαλιά, έγχρωμα χαρτιά, χρώματα και γενικά χημικές ουσίες

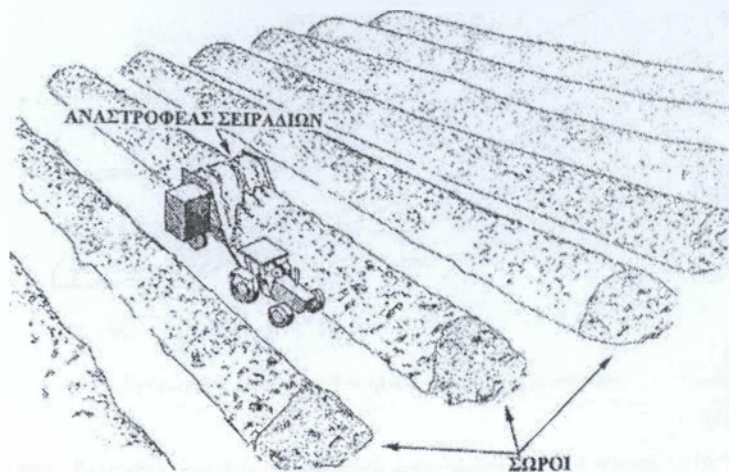
Τα composts χρησιμοποιούνται για όλες τις καλλιέργειες σε ποσότητα περίπου ίδια με τη κοπριά 15-40 τόνους/ εκτάριο. Η εφαρμογή τους γίνονται σε αγραναπαυμένο χωράφι πριν το φθινόπωρο ή με το δεύτερο όργωμα κα στις οπές φύτευσης όταν γίνεται φύτευση σπορόφυτων.

### 1.5 Η διαδικασία της κομποστοποίησης. Προετοιμασία του οργανικού υποστρώματος

Αρχικά πρέπει το αρχικό υλικό να διαμορφωθεί σε μικρά τεμάχια που να ανακατευτούν ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν ομοιογενές μείγμα. Πρακτικά αυτό γίνεται με το πέρασμα από ψιλά κόσκινα. Το μείγμα αυτό πρέπει κατά το δυνατόν να είναι απαλλαγμένο από κομματάκια γυαλί ή μέταλλο ή άλλα ανεπιθύμητα υλικά.

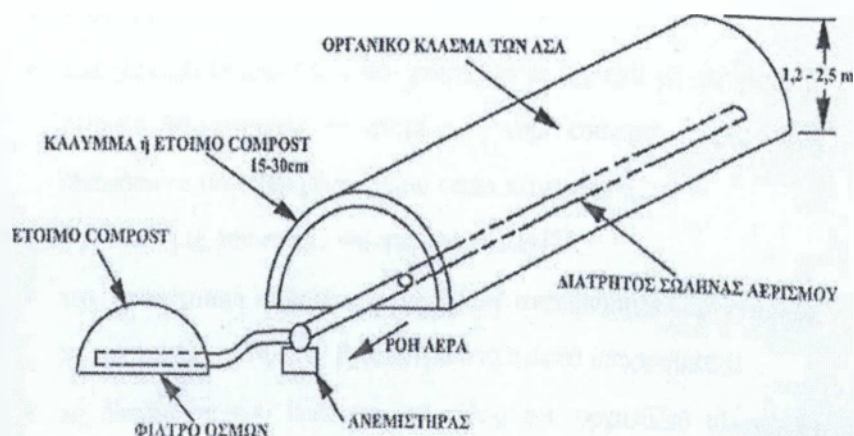
Στην πράξη πάντα υπάρχουν τέτοια αντικείμενα, και ο στόχος είναι να βρίσκονται όσο το δυνατόν λιγότερα και σε μικρότερο μέγεθος. Κατόπιν το υλικό προωθείται στη δεξαμενή ζύμωσης ή όπου αλλού θα πραγματοποιηθεί η κομποστοποίηση. Μετά από μια σύντομη περίοδο προσαρμογής των μικροοργανισμών, μέσα σε λίγες ώρες συνήθως, αρχίζει ένα στάδιο απότομης αύξησης της θερμοκρασίας του μείγματος.

Υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγής compost, ο πρώτος είναι με τα υπαίθρια (open) και ο δεύτερος με τα στεγασμένα (closed). Τα υπαίθρια είναι τα πιο διαδεδομένα, λόγω του φθηνού κόστους και της απλότητας τους. Με αυτή τη μέθοδο τα υλικά στρώνονται σε ένα μέρος του χωραφιού πάνω σε χώμα που έχει προηγουμένως χαλαρωθεί περίπου 10 εκατοστά σε βάθος. Η σωρός πρέπει να έχει το σχήμα «toll» με πλάτος 1,5-2 μέτρα και ύψος 1,3 μέτρα. Στη βάση τοποθετούνται χονδροειδή υλικά, όπως κλαδιά, προκειμένου να κυκλοφορεί αέρας, και από πάνω τοποθετούνται τα υπόλοιπα υλικά. Με ένα θρυμματιστή μπορεί να υπάρξει εκμετάλλευση όλων των κομμένων κλαδιών από κλαδέματα και το υλικό να βγαίνει ομογενοποιημένο με την κατάλληλη υγρασία και ανάδευση. Όταν στρωθούν όλα τα υλικά, σκεπάζεται η σωρός με μια λεπτή στρώση χώματος και από πάνω τοποθετούνται ξερά χόρτα και άχυρα. Αμέσως μόλις σχηματιστεί η σωρός, διάφοροι αερόβιοι μηχανισμοί (βακτήρια, μύκητες) αρχίζουν να τρέφονται με τα πιο χλωρά υλικά. Οι πληθυσμοί τους αυξάνονται ταχύτατα και έτσι επιτυγχάνεται ο ρυθμός αποικοδόμησης των υλικών αυτών. Αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του compost. Μετά την κατανάλωση των χλωρών υλικών από τους μικροοργανισμούς, ο ρυθμός αποικοδόμησης επιβραδύνεται και μειώνεται και η θερμοκρασία σταδιακά. Τότε ο παραγωγός μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία με 2-3 γυρίσματα της σωρού. στην υπαίθρια μέθοδο η κομποστοποίηση διαρκεί περίπου 5 μήνες.

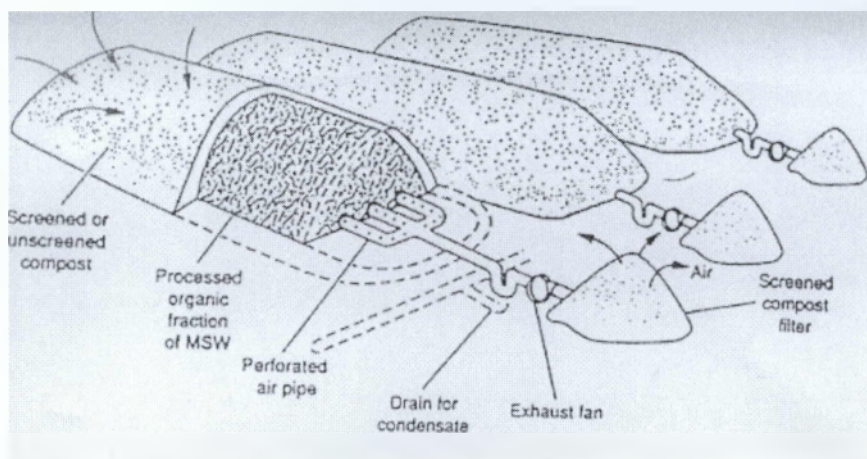


**Εικόνα 1:** Κομποστοποίηση με αναστρεφόμενους σωρούς.

Στις κλειστές μονάδες, υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες κατασκευών που βοηθούν την αερόβια ζύμωση των υλικών. Μια ομάδα είναι αυτή των κάθετων κυλινδρικών βιοαντιδραστήρων, στους οποίους διοχετεύεται το οργανικό υλικό από το επάνω μέρος και καθώς προχωρά η κομποστοποίηση, βγαίνει το έτοιμο compost από το κάτω μέρος. Τα συστήματα αυτά κοστίζουν πολύ και εμφανίζουν και κάποια πρακτικά προβλήματα (Manser, Keeling, 1996). Η άλλη ομάδα, πιο συνηθισμένη, χρησιμοποιεί οριζόντιες δεξαμενές ζύμωσης. Όλες αυτές οι κατασκευές παρέχουν τη δυνατότητα της ανάδευσης του υλικού, της παροχής αέρα, του ψεκασμού με νερό, της ρύθμισης της θερμοκρασίας, της απόσμησης του χρησιμοποιημένου αέρα και της εύκολης δειγματοληψίας από διάφορα μέρη του μείγματος για να ελεγχθεί η πρόοδος της ζύμωσης και η σύνθεση του προϊόντος.



**Εικόνα 2:** Βεβιασμένος αερισμός στατικών σωρών.



**Εικόνα 3:** Σύστημα στατικού αεριζόμενου σωρού

### 1.6 Οι φάσεις της κομποστοποίησης

Στην διαδικασία της κομποστοποίησης οι μικροοργανισμοί αποδομούν τα οργανικά υλικά και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ), θερμότητα και χούμο.

Υπό ευνοϊκές συνθήκες η κομποστοποίηση περνάει 4 φάσεις:

**1η φάση** (λανθάνουσα). Ξεκινά από τη στιγμή που το μείγμα των ζυμώσιμων απορριμμάτων έχει τοποθετηθεί στο χώρο όπου θα γίνει η κομποστοποίηση. Διαρκεί από λίγες ώρες ως μία μέρα το πολύ. Σε αυτό το διάστημα οι μικροοργανισμοί δημιουργούν αποικίες στο μείγμα.

**2η φάση** (έντονη αύξηση θερμοκρασίας): Η θερμοκρασία ανεβαίνει πολύ σε σύντομο χρονικό διάστημα. Έντονη αναπνοή και έκλυση διοξειδίου του άνθρακα.

**3η φάση** (επίσης θερμοφιλή): Υψηλή θερμοκρασία, που σταδιακά μειώνεται. Έντονη αναπνοή και έκλυση διοξειδίου του άνθρακα.

**4η φάση** (φάση ωρίμανσης): Η θερμοκρασία μειώνεται, ώπου φτάνει αυτήν του περιβάλλοντος. Είναι δευτεροβάθμια βραδεία ζύμωση, που οδηγεί στο σχηματισμό χρήσιμων χουμικών κolloειδών και τελικά χούμου.

Στις διάφορες φάσεις της κομποστοποίησης επικρατούν και διαφορετικοί μικροοργανισμοί. Η αρχική αποσύνθεση πραγματοποιείται από τους μεσόφιλους μικροοργανισμούς που αποικοδημούν τις ευδιάλυτες ενώσεις ταχύτατα με αποτέλεσμα να υπάρχει και αύξηση της θερμοκρασίας αντίστοιχα. Όταν η θερμοκρασία φτάνει περίπου στους  $40^\circ\text{C}$  οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί αντικαθίστανται από άλλους που είναι θερμοφιλοί καθώς οι προηγούμενοι έγιναν

λιγότερο ανταγωνιστικοί. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 55<sup>0</sup>C καταστρέφονται τα παθογόνα που είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο και τα φυτά. Στους 65<sup>0</sup>C και πάνω, πολλά είδη μικροοργανισμών που περιορίζουν τη διαδικασία της αποσύνθεσης, καταστρέφονται και γίνεται ανακάτωμα ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε αυτά τα επίπεδα. Σε αυτή τη φάση, οι υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν την αποσάθρωση των πρωτεϊνών και υδρογονανθράκων όπως κυτταρίνης και ημικυτταρινών που είναι βασικά δομικά μόρια στα φυτά. Στο τελευταίο στάδιο που η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά, εμφανίζονται ξανά οι μεσοφιλικό μικροοργανισμοί παίρνοντας μέρος στην τελική φάση της ωρίμανσης.

### **1.7. Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η σύνθεση του αρχικού υποστρώματος είναι πολύ σημαντική για την πορεία της κομποστοποίησης. Από τα θρεπτικά στοιχεία για τους οργανισμούς ιδιαίτερη σημασία έχει ο Άνθρακας (C), το Άζωτο (N) και η σχέση μεταξύ τους (C/N).

#### **1.7.1 Άνθρακας (C)**

Οι μικροοργανισμοί παίρνουν την απαραίτητη ενέργεια από την οξείδωση του άνθρακα προς το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Στην οξείδωση αυτή οφείλεται το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας μάζας που παρατηρείται στο υλικό κατά την κομποστοποίησή του και η έκλυση της θερμότητας. Σε όλα τα οργανικά υλικά του μείγματος υπάρχει άνθρακας, αλλά δεν είναι το ίδιο διαθέσιμος για τους μικροοργανισμούς, αφού σε ορισμένες περιπτώσεις τον αφομοιώνουν εύκολα και σε άλλες δύσκολα. Η διαθεσιμότητα του άνθρακα, δηλαδή το πόσο εύκολα αφομοιώνεται από τους μικροοργανισμούς, καθορίζει την καταλληλότητα των απορριμμάτων ως πηγή άνθρακα για την κομποστοποίηση, το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να διασπαστούν τα απορρίμματα και το ανώτατο όριο του λόγου του άνθρακα προς οξυγόνο (C/N) που δεν επιβραδύνει τη διεργασία.

### 1.7.2 Άζωτο (N)

Εξίσου σημαντικό με τον άνθρακα είναι και το άζωτο για τους μικροοργανισμούς. Το άζωτο είναι βασικό συστατικό του πρωτοπλάσματος που δίχως αυτό, οι μικροοργανισμοί δεν μπορούσαν να πολλαπλασιαστούν. Το άζωτο βρίσκεται σε ικανοποιητικό ποσοστό και σε μορφές εύκολα διαθέσιμες σε υπολείμματα φαγητού, σε διάφορες κοπριές, στα πράσινα (φυλλώδη) απορρίμματα κήπων και στις λάσπες βιολογικών καθαρισμών. Ενώ έλλειψη αζώτου βρίσκεται σε ξυλώδη απορρίμματα, όπως πριονίδια, ροκανίδια και χαρτί. Σε αυτές τις περιπτώσεις, γίνεται ανάμιξη με απόβλητα πλούσια σε άζωτο, επίσης μπορεί να προστεθεί άζωτο σε ανόργανη μορφή.

#### 1.7.2.1 Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N)

Η αναλογία της ποσότητας διαθέσιμου άνθρακα προς το διαθέσιμο άζωτο είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες στην διαδικασία της κομποστοποίησης. Οι μικροοργανισμοί κατά την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων αφομοιώνουν το 1/3 περίπου του μεταβολιζόμενου άνθρακα και το υπόλοιπο το απελευθερώνουν ως διοξείδιο του άνθρακα (Alexander 1961). Η περιεκτικότητα κατά μέσο όρο του μικροβιακού κυττάρου σε άνθρακα και άζωτο είναι 50% και 5% αντίστοιχα που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο η σχέση C/N στο μικροβιακό κύτταρο είναι 10/1 (Waksman and Starkey 1931). Το άζωτο χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς για τη βιοσύνθεση των πρωτεϊνών. Για παράδειγμα τα βακτηρίδια περιέχουν 7%-11% σε άζωτο ξηρού βάρους και οι μύκητες 4%-6% (Anderson, 1956). Ο άνθρακας που θεωρείται χρήσιμος, είναι αυτός που είναι διαθέσιμος στους μικροοργανισμούς και όχι ο συνολικός και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των κυττάρων τους.

Έρευνες έχουν δείξει ότι μια αναλογία από 20:1 ως 30:1 είναι η καλύτερη για την διεργασία της κομποστοποίησης. Όταν η τιμή της αναλογίας είναι πάνω από 30:1 η διεργασία επιβραδύνεται ή να σταματήσει τελείως, λόγω της γρήγορης ανάπτυξης των κυττάρων και της μείωσης του διαθέσιμου αζώτου, ακόμα, μπορεί και να μην αρχίσει καθόλου αν είναι από την αρχή τόσο μεγάλη η σχέση C/N. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν όταν στο υπόστρωμα υπάρχουν αναλογικά πολύ μεγάλες ποσότητες ξυλωδών υλικών με μικρή περιεκτικότητα σε άζωτο, όπως πριονίδια. Όταν η τιμή της αναλογίας είναι μικρότερη από 20:1, σημαίνει ότι υπάρχει



άφθονο άζωτο και το πλεόνασμα αυτού χάνεται στην ατμόσφαιρα με την μορφή αμμωνίας και το τελικό προϊόν έχει δυσάρεστες οσμές.

### **1.7.3 Αλλά θρεπτικά στοιχεία**

Τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για την ανάπτυξη τους, όπως φωσφόρος (P) και κάλιο (K) αλλά και τα διάφορα ιχνοστοιχεία, βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες στα υποστρώματα για την παρασκευή compost και πολύ σπάνια θα υπάρχει έλλειψη κάποιου στοιχείου.

## **1.8 Οι κυριότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση**

Οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες για την κομποστοποίηση είναι τρεις, είναι ο αερισμός, η υγρασία, αλλά και η θερμοκρασία. Οι τρεις αυτές παράμετροι συνδέονται μεταξύ τους άμεσα και αν υπάρξει κάποια μεταβολή σε μία, θα υπάρξει αντίστοιχα και στις άλλες, επομένως, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει γνώση των μεταξύ τους σχέσεων για να μπορεί να υπάρχει έγκαιρη και έγκυρη επέμβαση σε περίπτωση που χρειαστεί κάποια ρύθμιση για την σωστή παρασκευή compost. Υπάρχει και ένας τέταρτος παράγοντας, ο οποίος δεν συνδέεται άμεσα με την διαδικασία της κομποστοποίησης αλλά είναι εξίσου σημαντικός με τους άλλους τρεις, αυτός είναι το pH.

### **1.8.1 Αερισμός**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία και γι' αυτό το λόγο χρειάζεται συνεχώς να αναπληρώνεται το οξυγόνο μέσα στο υπόστρωμα επειδή καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς. Η οξυγόνωση του υποστρώματος γίνεται με δύο τρόπους, είτε με την εμφύσηση ρεύματος αέρα, είτε με την ανάδευση. Πολύ σημαντικό ρόλο στον αερισμό, παίζει η δομή του οργανικού υποστρώματος. Άμα υπάρχουν κενά ανοίγματα ανάμεσα στα σωματίδια, ο αέρας μπορεί να εισχωρήσει και δεν υπάρχει πρόβλημα, αντίθετα όμως, αν δεν υπάρχουν, τότε θα πρέπει να γίνει προσθήκη από διογκωτικά υλικά, όπως κλαδιά.

Μελέτες έχουν δείξει ότι στις μη αεριζόμενους σωρούς το οξυγόνο καταναλώνεται γρηγορότερα στα χαμηλότερα σημεία από τα υψηλότερα μετά το αναποδογύρισμα. Σε αυτή τη περίπτωση η έλλειψη οξυγόνου οδηγεί σε αναερόβιες συνθήκες με αποτέλεσμα την αποσύνθεση των υλικών και την ανάδυση δυσάρεστων οσμών. Γι αυτό το λόγο αμέσως μετά την αναστροφή της σωρού η απαίτηση του οξυγόνου είναι διπλάσια.

Η σχέση του αερισμού με την υγρασία είναι ότι, αν υπάρχει υπερβολική υγρασία υπάρχει κίνδυνος να γεμίσουν οι πόροι με νερό και αποτέλεσμα αυτού θα είναι η ασφυξία των μικροοργανισμών. Ενώ με τη θερμοκρασία είναι ότι με τον αερισμό υπάρχει μείωση της, αλλά θέλει προσοχή γιατί ένα δυνατό ρεύμα αέρα μπορεί να κατεβάσει τη θερμοκρασία κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα.

### **1.8.2 Υγρασία**

Η κομποστοποίηση βασίζεται σε μικροοργανισμούς, που χρειάζονται επαρκή υγρασία για τον μεταβολισμό τους. Η βέλτιστη υγρασία εξαρτάται από τη σύνθεση και τη φυσική δομή των υλικών. Το ποσοστό υγρασίας, πρέπει να ξεπερνά το 60%, χωρίς να υπάρχει κάποιο περιοριστικό όριο, εκτός από αυτό που προαναφέρθηκε το ότι άμα γεμίσουν οι πόροι, υπάρχει κίνδυνος ασφυξίας των μικροοργανισμών. Σε περίπτωση που το ποσοστό υγρασίας είναι κάτω από το 30% η δραστηριότητα των μικροοργανισμών σταματά και υπάρχει κίνδυνος το υλικό να δίνει μια ψευδή εικόνα σταθεροποίησης. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο χωράφι και όταν βραχεί ξανά, να αρχίσει η δραστηριότητα των μικροοργανισμών με κίνδυνο να «κάψει» τα φυτά. Η χαμηλή υγρασία ρυθμίζεται με ψεκασμό νερού, αντίθετα η υπερβολική υγρασία με εμφύσηση αέρα ή ανάδευση. Πρέπει να σημειωθεί ότι το νερό του υλικού δεν προέρχεται μόνο από την αρχική υγρασία των πρώτων υλών, αλλά και από τις αντιδράσεις της κομποστοποίησης.

### **1.8.3 Θερμοκρασία**

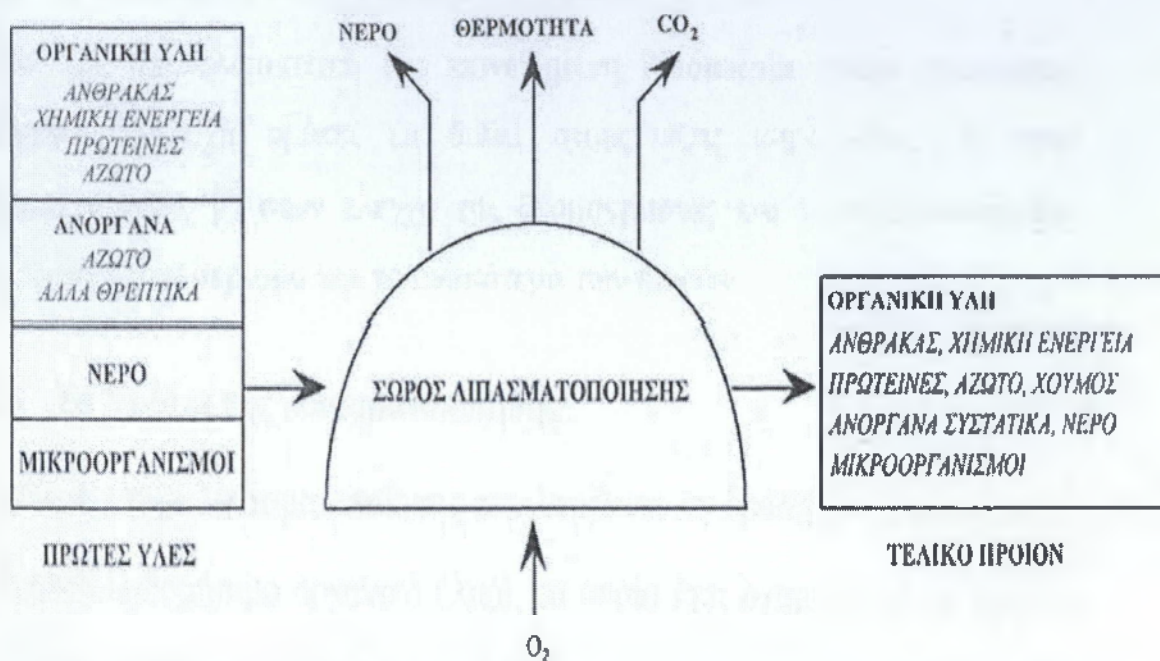
Οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά από τα απορρίμματα, παράγοντας θερμότητα και εγκλωβίζοντας τη στη μάζα του σωρού. Η υψηλή θερμοκρασία ευνοεί τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Οι οποίοι παράγουν μεγαλύτερη θερμότητα αυξάνοντας και άλλο τη θερμοκρασία. Αυτή η διαδικασία δεν

κρατάει για πάντα όμως, Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 75-80° C η δράση των μικροοργανισμών περιορίζεται και σταματά. Γι' αυτό το λόγο δεν πρέπει η θερμοκρασία να ξεπερνά τους 65-70°C. Μείωση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με ανάδευση του υλικού και εμφύσηση αέρα. Μόλις διαμορφωθεί ο σωρός με τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κομποστοποίηση, αρχίζει η μικροβιακή δράση, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ενέργειας και την άνοδο της θερμοκρασίας του σωρού στο εσωτερικό της, αφού τα τοιχώματα δρουν ως θερμομονωτικά. μεγάλες επιφάνειες από σωρούς έχουν και μεγαλύτερες απώλειες θερμοκρασιών, γι αυτό συνήθως αποφεύγονται.

Ενώ η θερμοκρασία των 55°C θεωρείται η ιδανικότερη για την γρήγορη κομποστοποίηση, υπάρχουν ερευνητές που υποστηρίζουν ότι μια θερμοκρασία των 65° C, για τουλάχιστον μια εβδομάδα, σε όλη την μάζα του σωρού, είναι ικανή για να εξοντωθούν ή τουλάχιστον να μειωθούν δραστικά, διάφοροι παθογόνοι μικροοργανισμοί που είναι επικίνδυνοι για τον άνθρωπο και τα φυτά, όπως σαλμονέλα και στρεπτόκοκκοι. Οι υψηλές θερμοκρασίες, εκτός από την εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών, είναι σημαντικές και για τη διάσπαση διάφορων τοξικών ουσιών, κυρίως αγροχημικών, που συνήθως βρίσκονται στα απορρίμματα των κήπων.

#### **1.8.4 pH**

Το pH επηρεάζει έμμεσα τη διαδικασία κομποστοποίησης καθώς επιδρά στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Άριστο pH θεωρείται εκείνο που είναι ελαφρώς αλκαλικό (6,5-7,5), επειδή στο συγκεκριμένο φάσμα, ευνοείται η δραστηριότητα των βακτηρίων χωρίς να περιορίζεται εκείνη των μυκήτων. Διόρθωση της οξύτητας του pH στο αρχικό υλικό συνήθως δεν χρειάζεται, γιατί με την έναρξη της χώνευσης ανεβαίνει στη αλκαλική περιοχή εξαιτίας της απελευθέρωσης αμμωνίας (NH<sub>3</sub>).



Ο άνθρακας, η χημική ενέργεια, οι πρωτεΐνες και το νερό είναι σε μικρότερη ποσότητα στο τελικό προϊόν από ότι στις πρώτες ύλες. Το τελικό προϊόν περιέχει περισσότερο χούμο, ενώ ο όγκος (του τελικού προϊόντος) είναι μικρότερος από το 50% του όγκου των πρώτων υλών.

**Εικόνα 4:** Σχηματική παράσταση διαδικασιών κομποστοποίησης.

## 1.9. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του compost

### 1.9.1 Πλεονεκτήματα

- Βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών.
- Αύξηση της απορροφητικής ικανότητας των εδαφών.
- Αύξηση της υδατοχωρητικότητας των εδαφών.
- Ενίσχυση της δραστηριότητας των μακρο-μικροοργανισμών του εδάφους.
- Πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία.
- Το compost παράγεται από αστικά, ζωικά και βιομηχανικά υπολείμματα, επομένως υπάρχει πληθώρα πρώτων υλών.
- Θεωρείται οικολογικό επειδή τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή. Του, σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν άχρηστα και σκουπίδια.
- Μείωση χρήσης χημικών λιπασμάτων.
- Μηδαμινό κόστος η παραγωγή του.
- Καλύτερης ποιότητας απορρίμματα για ταφή στα ΧΥΤΑ.

### 1.9.2 Μειονεκτήματα

- Αργός ρυθμός της διαδικασίας κομποστοποίησης.
- Απαιτεί μεγαλύτερες εκτάσεις γης, απ' ότι άμα τα υλικά αυτά πήγαιναν για καύση.
- Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για την αποφυγή διάφορων προβλημάτων κατά την διαδικασία κομποστοποίησης.

## 2 COMPOST ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ

### 2.1 Τα ελαιотριβεία στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι η Τρίτη χώρα στην κόσμο σε παραγωγή ελιάς, πίσω από Ιταλία και Ισπανία. Λειτουργούν περίπου 3.500 ελαιотριβεία σε όλη τη χώρα και κυρίως σε Κρήτη, Πελοπόννησος, νησιά του Ιονίου και Λέσβος. Από τη λειτουργία τους παράγονται ετησίως περίπου 1.500.000 τόνοι υγρών αποβλήτων τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα κυρίως λόγω των φαινολικών ουσιών που περιέχουν. Το πυρηνόξυλο είναι ένα παραπροϊόν των βιομηχανιών πυρηνελαίου, είναι πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες, αλλά στη φυσική του κατάσταση δεν είναι εύληπτο από τα ζώα λόγω του υψηλού ποσοστού σε ξυλώδη ιστό που περιέχει. Από 100 kg ελιάς παράγονται 20-25 kg ελαιόλαδο, 37-40 kg ελαιοπυρήνα, 5 kg φύλλα και 40-44 kg υγρών αποβλήτων. Το πυρηνόξυλο είναι το στερεό υπόλειμμα μετά την εξαγωγή πυρηνελαίου.

Κάθε χρόνο στην Ελλάδα εισάγονται περίπου 2000 τόνοι compost , που η αξία τους ανέρχεται στα 3.000.000 δολάρια. Το εισαγόμενο compost φτάνει μόνο για το 15% της ελληνικής αγοράς. Το κόστος που χρειάζεται για την Παρασκευή compost από φυσικά υπολείμματα είναι πολύ μικρότερο από αυτό που απαιτείται από τα φορτηγά για να τα μεταφέρουν στα ΧΥΤΑ, ενώ η Ελλάδα είναι υποχρεωμένη από την ευρωπαϊκή ένωση να μειώσει τα οργανικά υπολείμματα κατά 25% που οδεύουν εκεί. Τα ανόργανα λιπάσματα μειώνονται παγκοσμίως (πλην των χωρών του τρίτου κόσμου) κατά 8% κάθε χρόνο. Σε ορισμένες χώρες (ΗΠΑ, Καναδά) η μείωση αυτή φτάνει το 25% τον χρόνο. Μέχρι το 2050 το 30% της σημερινής παγκόσμιας κατανάλωσης λιπασμάτων θα αντικατασταθεί με compost.

## 2.2. Τρόπος παραγωγής compost από υπολείμματα ελαιοτριβείου

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων μετά από την οξειδωτική διεργασία με τις αντιδράσεις FENTON, χρησιμοποιούνται για το ραντισμό του πυρηνόξυλου στο οποίο η κομποστοποίηση έχει ήδη αρχίσει. Η θερμοκρασία για τις βιοαντιδράσεις διατηρείται στους 60-65<sup>0</sup>C μέσω της εισαγωγής αέρα στο υλικό από κάτω με αερογεννήτριες. Ο αέρας βοηθά τους αερόβιους μικροοργανισμούς να πραγματοποιήσουν τις οξειδωτικές τους αντιδράσεις και παρέχει και ψύξη για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση. Τα υγρά απόβλητα παρέχουν το νερό, το οποίο αντικαθιστά την υγρασία που εξατμίζεται, ώστε να διατηρείται ένα κατάλληλο επίπεδο εργασίας (55%). Επίσης παρέχει τον οργανικό άνθρακα ώστε ο λόγος C/N να διατηρείται στο 20-25% αντικαθιστώντας τον C που χάνεται λόγω αποβολής του, ως CO<sub>2</sub>

Ο χρόνος παραμονής (μέχρι την επόμενη σειρά) των υγρών αποβλήτων είναι περίπου 16-20 μέρες, σε ασυνεχή λειτουργία. Στο τέλος αυτής της περιόδου η αναμειγμένη composta αποθηκεύονταν για περαιτέρω βιοδιάσπαση στη μεσόφιλη περιοχή. Η διάρκεια αυτής της «ωρίμανσης» ήταν 2-3 μήνες μέχρι το τελικό προϊόν να σταθεροποιηθεί και να είναι έτοιμο για χρήση. Ωστόσο η διαδικασία αυτή μπορεί να λειτουργήσει συνεχόμενα εξασφαλίζοντας ότι ο λόγος του ημερησίου όγκου υγρών αποβλήτων προς το συνολικό όγκο πυρηνόξυλου, να παραμένει σταθερός (περίπου 1:1).

## 3 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

### 3.1 Γενική εισαγωγή

Στο περιβάλλον έχουν ανιχνευθεί άνω των 40 στοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των μετάλλων. Επικίνδυνα ωστόσο αποκαλούνται τα βαρέα μέταλλα όπως θα αναφερθούν παρακάτω. Ο όρος βαρέα μέταλλα περιλαμβάνει μία μεγάλη ομάδα μεταλλικών και μεταλλοειδών κατιόντων που παρουσιάζουν βιολογικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα μεταλλικά στοιχεία με ειδικό βάρος μεγαλύτερο του σιδήρου (7,87 g/cm<sup>3</sup>). Ορισμένα από αυτά είναι απαραίτητα για τη ζωή σε πολύ μικρές ποσότητες όπως ο χαλκός (Cu) το μαγγάνιο (Mn), το κοβάλτιο (Co) (ιχνοστοιχεία ή ολιγοστοιχεία). Η έλλειψή τους δε προκαλεί στους οργανισμούς διάφορες παθήσεις, ενώ σε

μεγαλύτερες συγκεντρώσεις γίνονται τοξικά και επιβλαβή, τόσο για τα φυτά ,τα ζώα όσο και τον άνθρωπο. Τέτοια στοιχεία είναι ο μόλυβδος (Pb),το κάδμιο (Cd),και ο υδράργυρος (Hg). Τοξικά είναι και ορισμένα μεταλλοειδή στοιχεία όπως το αρσενικό (As), το σελήνιο (Se), το τελλούριο (Te) και το αντιμόνιο (Sb). Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα βαρέα μέταλλα και οι ενώσεις τους σε αντίθεση με τις περισσότερες οργανικές βλαβερές ουσίες, δεν αποικοδομούνται με φυσικές διεργασίες στο νερό, και έτσι παραμένουν στο περιβάλλον για αρκετό χρονικό διάστημα. Τελικά ένα μέρος αυτών καταλήγει με την βιολογική τροφική αλυσίδα μέχρι τον άνθρωπο, στον οποίο προκαλούν χρόνιες η οξείες βλάβες.

Επιπροσθέτως είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), το αρσενικό (As) καθώς και ο μόλυβδος (Pb) είναι τα βαρέα μέταλλα που παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνδυνο εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης τους π.χ. στην βιομηχανία και στην γεωργία,της τοξικότητάς τους και της ευρείας κατανομής τους.

### **3.1.1 Βαρέα μέταλλα και περιβάλλον**

Το περιβάλλον αποτελεί το φυσικό και βιολογικό πλαίσιο του ανθρώπου από το οποίο εξαρτάται άμεσα με πολλούς και πολύπλοκους τρόπους. Η σχέση μεταξύ του ανθρώπου και του περιβάλλοντος είναι τόσο στενή που η διάκριση μεταξύ τους γίνεται πολλές φορές ασαφής. Ωστόσο, παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς επεμβάσεις, πολλές από τις οποίες είναι ωφέλιμες ενώ άλλες είναι καταστρεπτικές, όπως π.χ. η ρύπανση του περιβάλλοντος. Ως ρύπανση του περιβάλλοντος, αναφέρεται η άμεση ή έμμεση εκπομπή ουσιών, θορύβου ή άλλης μορφής ενέργειας σε ποσότητες, συγκέντρωση ή διάρκεια, που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην υγεία του ανθρώπου, υλικές ζημιές, δυσμενή επίδραση σε άλλους οργανισμούς και γενικότερα στα οικοσυστήματα.(Κουίμτζης και Μάτης, 1993). Γενικά, η ρύπανση αποτελεί την αρνητική «ενέργεια» που μπορεί να καταστήσει το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επωφελείς χρήσεις για τις οποίες προορίζεται. Ο όρος «ρύπανση του περιβάλλοντος» χρησιμοποιείται συνήθως για την περίπτωση της ατμόσφαιρας, των υδάτινων πόρων (λίμνες, ποτάμια, θάλασσες) και του εδάφους.

### **3.2 Κυριότερη πηγή μετάλλων**

Η κυριότερη πηγή μετάλλων στο περιβάλλον είναι το έδαφος της γης όπου βρίσκονται όλα σχεδόν τα μέταλλα και τα οποία με διάφορους γεωχημικούς κύκλους και ανθρωπογενείς επεμβάσεις ανακατανέμονται στα διάφορα περιβαλλοντικά διαμερίσματα.

Τα βαρέα μέταλλα σχετίζονται με πλήθος ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Η χρήση τους στην χημική βιομηχανία αποτελεί τον κανόνα: βιομηχανίες παραγωγής χρωμάτων, φωτογραφικών υλικών, ηλεκτρονικού υλικού, παρασιτοκτόνων, συσσωρευτών, πυρομαχικών και μεταλλουργία χρησιμοποιούν σε διάφορες ποσότητες ενώσεις που περιέχουν βαρέα μέταλλα είτε σαν πρώτη ύλη είτε σαν καταλύτες. Επίσης άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης προέρχονται από γεωργικές εργασίες όπως την χρήση λιπασμάτων κ.α. καθώς μέσω φυσικών διεργασιών όπως είναι η αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων.

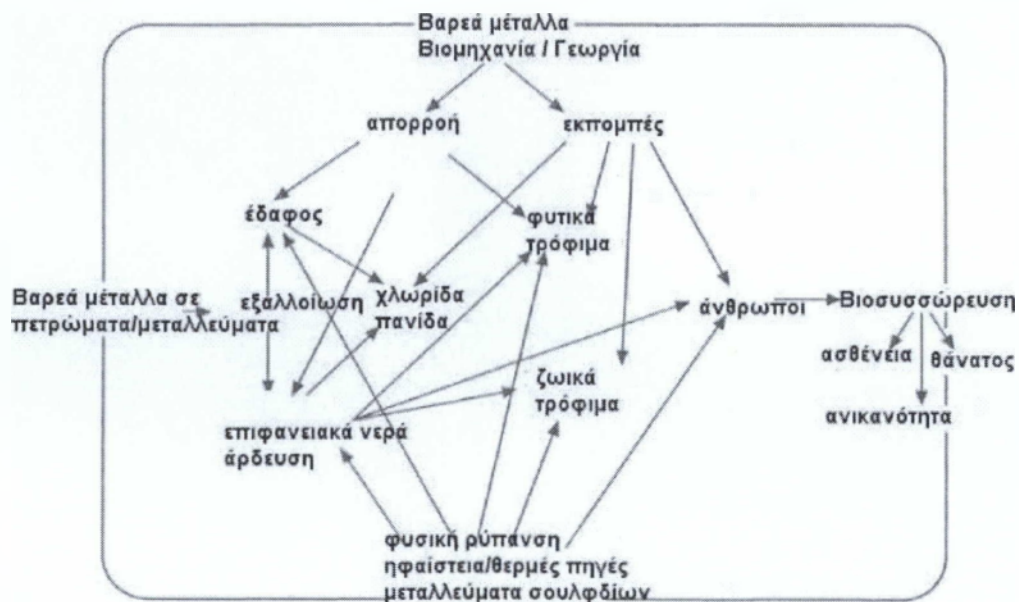
Η τοξικότητα των μετάλλων στα φυσικά ύδατα αποδίδεται στον συνδυασμό της διαλυτότητας, βιοδιαθεσιμότητας καθώς και στον τρόπο και την κινητική της πρόσληψής τους από κάθε οργανισμό (βιοσυσσώρευση). Ο έλεγχος των εκπομπών των βαρέων μετάλλων είναι αναγκαίος στο περιβάλλον. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο να γίνει στην πηγή εκπομπής, δηλαδή πολύ πριν οι ρύποι εισβάλουν στο οικοσύστημα. Η παρακολούθηση της πορείας των μεταλλικών στοιχείων μετά την εισαγωγή τους στο οικοσύστημα γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς μετακινούνται από τον έναν κρίκο του τροφικού πλέγματος στον άλλον και συσσωρεύονται στους ζωντανούς οργανισμούς με τελική κατάληξη τον άνθρωπο, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του τροφικού πλέγματος (Λουκίδου, 2003).

### **3.3 Βαρέα μέταλλα στα φυσικά συστήματα**

Στα φυσικά συστήματα, τα μέταλλα προέρχονται απ' τα πετρώματα, τα μεταλλικά ορυκτά (μεταλλικά σουλφίδια), και τα ηφαίστεια με τις συνοδεύουσες θερμές πηγές τους και ατμίδες. Η αποσάθρωση απελευθερώνει τα μέταλλα στη διαδικασία του σχηματισμού εδάφους τα οποία είτε γίνονται μέρος του εδάφους, είτε μεταφέρονται στα επιφανειακά νερά η και στον υδροφόρο ορίζοντα. Ανάλογα με



τις περιβαλλοντικές φυσικές, χημικές και βιολογικές συνθήκες, τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη ή στα νερά μπορούν να είναι βιοδιαθέσιμα στον κύκλο σχηματισμού των τροφίμων σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Η φυσική επιβάρυνση των μετάλλων μπορεί να αυξηθεί και από ανθρωπογενείς πηγές. Εάν ενεργοποιηθεί ο κύκλος των τροφίμων, οι διάφορες διαβάσεις μπορούν να φέρουν τα τοξικά μέταλλα στους ανθρώπους και να απειλήσουν τελικά την υγεία τους. Εφ' όσον τα βαρέα μέταλλα μπορούν να ενσωματωθούν σε μια τροφική αλυσίδα, μπορούν να αυξηθούν σε επικίνδυνα επίπεδα για τους ζωντανούς οργανισμούς. Η ατμόσφαιρα, η υδρόσφαιρα (υπόγεια και επιφανειακά νερά), η γεώσφαιρα (εδάφη, ιζήματα) και οι επιρροές της βιόσφαιρας, συνδέονται στενά μεταξύ τους στα οικοσυστήματα. Οι δεσμοί μεταξύ τους είναι σύνθετοι αλλά επλύσιμοι στην διαδικασία της αξιολόγησης και εξυγίανσης ενός οικοσυστήματος.



Εικόνα 1: Διαβάσεις των ενδεχομένως τοξικών μετάλλων στο οικοσύστημα που προέχονται από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές (Περδικάτσης, 2003).

### 3.4 Βαρέα μέταλλα στην ατμόσφαιρα

Η αέρια ρύπανση κυρίως προκύπτει από την καύση του άνθρακα και άλλων ορυκτών καυσίμων καθώς και από το λιώσιμο των μετάλλων σιδήρου

Και άλλων εύφλεκτων μετάλλων. Κάποια ιχνοστοιχεία όπως το Se, Au, Pb, Sn, Cd, Br, και Te μπορούν να φτάσουν μέχρι και 1000 φορές υψηλότερα από την Κανονική τους συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα. Γενικά, στοιχεία τα οποία σχηματίζουν πτητικές ενώσεις, ή βρίσκονται υπό τη μορφή αιωρούμενων σωματιδίων μπορούν να

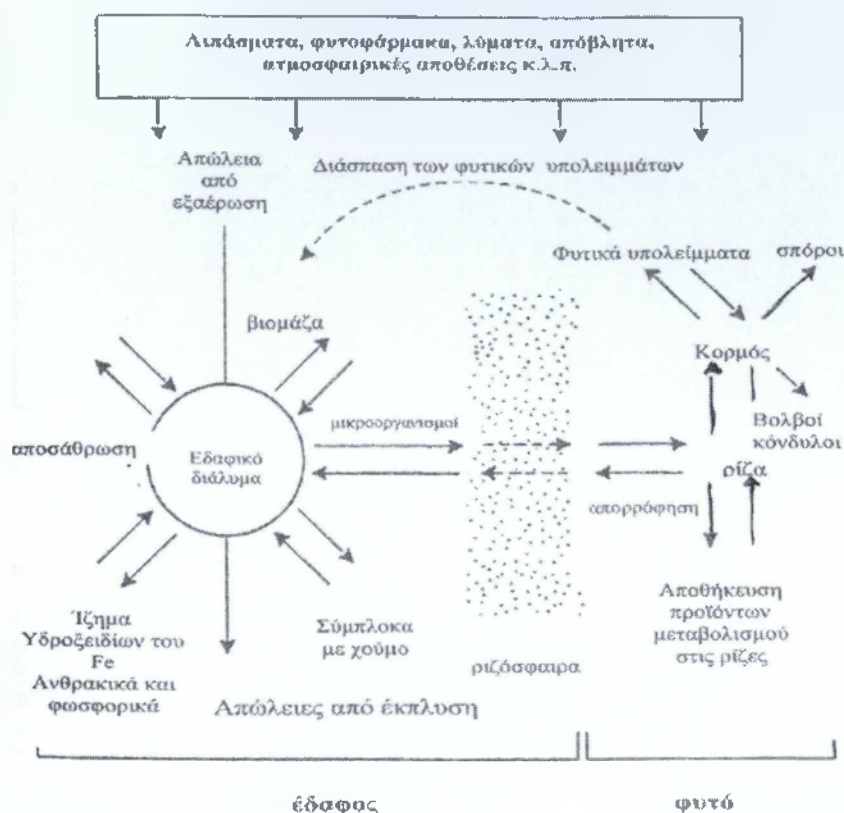
ελευθερωθούν άμεσα στην ατμόσφαιρα μέσω της καύσης του άνθρακα ή άλλων βιομηχανικών διεργασιών.

Υλικά τα οποία απελευθερώνονται εξαιτίας ανθρωπογενών δραστηριοτήτων δεν είναι τα μόνα τα οποία συμβάλουν στην παγκόσμια ρύπανση της ατμόσφαιρας. Άλλες παρόμοιες πηγές ρύπανσης είναι η γήινη τέφρα, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η εξάτμιση των επιφανειακών υδάτων κ.τ.λ. Οι Buat - Menard υπολόγισαν ότι οι εκπομπές των ιχνοστοιχείων στο βόρειο ημισφαίριο, οι οποίες προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, είναι κατά 30 έως 80% περισσότερες από αυτές στο νότιο ημισφαίριο. Επίσης, σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι η ραγδαία αύξηση της τεχνολογικής ροής έχει επιφέρει αύξηση των ιχνοστοιχείων στην ατμόσφαιρα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Απ' την άλλη η ατμοσφαιρική εναπόθεση των ιχνοστοιχείων, κυρίως των βαρέων μετάλλων, συνεισφέρει στην ρύπανση όλων των συστατικών της βιόσφαιρας (νερά, έδαφος, φυτά). Αυτή η εναπόθεση έχει υπολογισθεί στα βρύα και τις λειχήνες οι οποίοι είναι οι πιο ευαίσθητοι οργανισμοί στην ρύπανση των βαρέων μετάλλων απ' την ατμόσφαιρα.

### **3.5 Βαρέα μέταλλα στο έδαφος**

Εν γένει το έδαφος ορίζεται ως το ανώτατο στρώμα του στερεού φλοιού της Γης. Αποτελείται από τα ανόργανα συστατικά, νερό, αέρα και έμβιους οργανισμούς. Το έδαφος αποτελεί τη διεπαφή μεταξύ της γης (γεώσφαιρας), του αέρα (ατμόσφαιρας), του νερού (υδρόσφαιρας) και το υπόστρωμα για σειρά περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών λειτουργιών που είναι καθοριστικής σημασίας για τη ζωή. Η γεωργία και η δασοπονία εξαρτώνται από το έδαφος σε ότι αφορά την παροχή ύδατος και θρεπτικών ουσιών καθώς και σε ότι αφορά τις ρίζες των φυτών. Το έδαφος λειτουργεί ως μηχανισμός αποθήκευσης, διήθησης, ρύθμισης και μετατροπής διαδραματίζοντας πρωταγωνιστικό ρολό στην προστασία του ύδατος καθώς και όσον αφορά στην ανταλλαγή αερίων με την ατμόσφαιρα. Αποτελεί επίσης οικολογικό ενδιαίτημα για πολυποίκιλους έμβιους οργανισμούς με σημαντικό γενετικό απόθεμα, στοιχείο του τοπίου και της πολιτιστικής κληρονομιάς και πηγή πρώτων υλών (Επιτροπή των ευρωπαϊκών κοινοτήτων, 2002).



Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση Του συστήματος έδαφος-φυτό που δείχνει Τις ουσίες που σχετίζονται με τη δυναμική των βαρέων μετάλλων (Μήτσιος, 2004).

### 3.6 Ρύπανση του εδάφους

Η είσοδος ρύπων στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα να πληγούν ή να απολεστούν πολλές από τις λειτουργίες των εδαφών και πιθανόν έμμεσα την ρύπανση του ύδατος. Όταν οι ρύποι στο έδαφος υπερβαίνουν ορισμένα επίπεδα πολλαπλασιάζονται οι αρνητικές επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα και, ως εκ τούτου, στην υγεία του ανθρώπου, καθώς και σε κάθε είδους οικοσυστήματα και φυσικούς πόρους. Για να αξιολογηθούν οι πιθανές επιπτώσεις των εδαφικών ρύπων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη εκτός της συγκέντρωσης και η περιβαλλοντική συμπεριφορά και οι μηχανισμοί έκθεσης μέσω των οποίων επηρεάζεται η υγεία του ανθρώπου. Το έδαφος, για να ανταποκριθεί επιτυχώς στις πολυάριθμες λειτουργίες του, είναι απαραίτητο να παραμένει σε καλή κατάσταση. Αντιθέτως, σήμερα από τα υπάρχοντα στοιχεία προκύπτει ότι το έδαφος απειλείται ολοένα και περισσότερο από σειρά ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που μπορεί να το υποβαθμίσουν. Μεταξύ των κινδύνων που απειλούν το έδαφος συγκαταλέγεται η διάβρωση, η μείωση της οργανικής ύλης,

η τοπική και διάχυτη ρύπανση, η σφράγιση, η συμπίεση, η μείωση της βιοποικιλότητας και η αλάτωση. Μολονότι οι κίνδυνοι αυτοί ποικίλλουν κατά τόπους, το γενικό συμπέρασμα είναι ότι το έδαφος υποβαθμίζεται ολοένα και περισσότερο. Οι παραπάνω κίνδυνοι είναι μάλιστα πιθανό να οξυνθούν περαιτέρω λόγω της αλλαγής του κλίματος. Συχνά γίνεται διάκριση της εδαφικής ρύπανσης σε ρύπανση που προέρχεται από περιορισμένες πηγές (εντοπισμένες ή σημειακές πηγές ρύπανσης) και σε αυτήν που προέρχεται από διάχυτες πηγές.

### **3.7 Βαρέα μέταλλα στα φυτά**

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και κατ' επέκταση στο περιβάλλον, τροποποιούνται από εδαφογενείς και βιογεωχημικές διαδικασίες, όπως από φυσικές προσθήκες, π.χ σκόνη προερχόμενη από το έδαφος, ηφαιστειακή στάχτη, αλλά και ανθρωπογενείς προσθήκες. Εκείνο που προβληματίζει γενικά είναι το ότι στα φυτά και στα ζώα παρατηρείται το φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης βαρέων μετάλλων λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής που εμφανίζουν. Τα βαρέα μέταλλα στους φυτικούς οργανισμούς προέρχονται κυρίως από το έδαφος. Το σύστημα φυτού-εδάφους είναι ένα ανοιχτό σύστημα σε διάφορα μολυσματικά υλικά αλλά και σε λιπάσματα και μικροβιοκτόνα. Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ποσότητα των μετάλλων που θα απορροφηθούν από ένα φυτό είναι: η ποσότητα του μετάλλου στο εδαφικό διάλυμα, η μορφή και το είδος του μετάλλου μέσα στο εδαφικό διάλυμα, η παρουσία ιόντων υδρογόνου ή άλλων ιόντων στο εδαφικό διάλυμα, οι συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας που επικρατούν στο έδαφος, καθώς και η τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής του εδάφους. Επίσης άλλοι παράγοντες είναι: το είδος του φυτού και η ικανότητά του να προσλαμβάνει ή όχι μεταλλικά στοιχεία, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, η κινητικότητα του μεταλλικού ιόντος στο εδαφικό διάλυμα προς την επιφάνεια της ρίζας του φυτού, η μεταφορά του μετάλλου από την επιφάνεια στο εσωτερικό της ρίζας και η μετακίνηση του μετάλλου από τη ρίζα προς το βλαστό και τα φύλλα. Τα φυτά απορροφούν επίσης σημαντικές ποσότητες μερικών στοιχείων μέσω των φύλλων τους γεγονός που συντελεί στη ρύπανση αυτών από τα στοιχεία Mn, Zn και Cu. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται και στη γεωργία για την παροχή των φυτών με τα απαραίτητα για την ανάπτυξη τους ιχνοστοιχεία όπως το Mn και ο Cu. Τα μέταλλα που προσλαμβάνονται από τα φύλλα μπορούν στη συνέχεια να

οδηγηθούν και σε άλλα μέρη του φυτού και κυρίως στις ρίζες, όπου πολλές φορές συσσωρεύονται οι πλεονάζουσες ποσότητες των μεταλλικών αυτών στοιχείων.

Οι μηχανισμοί τοξικότητας των βαρέων μετάλλων έχει εξακριβωθεί μέσα από μελέτες ότι είναι :

- Μεταβολές στη διαπερατότητα των μεμβρανών.
- Αντίδραση των κατιόντων των μετάλλων σουλφοδρυλικές ομάδες.
- Ανταγωνισμός για τις ίδιες θέσεις δέσμευσης με άλλους σημαντικούς μεταβολίτες.
- Μεγαλύτερη αγχιστεία για φωσφορικές ομάδες καθώς και των ενεργών θέσεων των ADP και ATP.
- Αντικατάσταση στις θέσεις δέσμευσης των απαραίτητων ιχνοστοιχείων.

Τα μέταλλα τα οποία σε μικρές συγκεντρώσεις είναι τοξικά για φυτά και τους μικροοργανισμούς είναι: (Hg,Cu,Ni,Pb,Co,Cd και πιθανώς Ag,Be,Sn).

Έρευνες έχουν δείξει πως μεγάλες συγκεντρώσεις των (Zn,Cu,Ni) σε λασπώδη εδάφη ήταν πιο τοξικά για τα φυτά όπως το παντζάρι, το μαρούλι, το καρότο ,το γογγύλι και τα φιστίκια, ενώ το καλαμπόκι και το γρασίδι ήταν πιο ανθεκτικά σε τέτοια εδάφη. Τα περισσότερα φυτά έχουν αναπτύξει αμυντικούς μηχανισμούς απέναντι στα βαρέα μέταλλα. Οι μηχανισμοί αυτοί σύμφωνα με μελέτες είναι:

- Εκλεκτική απορρόφηση των μετάλλων.
- Μειωμένη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών ή άλλες διαφορές στη μορφή και στη λειτουργία των μεμβρανών.
- Αδρανοποίηση των ιόντων στις ρίζες, τα φύλλα και στους σπόρους.
- Απομάκρυνση των ιόντων των μετάλλων από τις μεταβολικές οδούς με την αποθήκευσή τους σε διαλυτά ή αδιάλυτα σύμπλοκα.
- Μετατροπές στα μεταβολικά μονοπάτια είτε με αύξηση της λειτουργίας του ενζυμικού συστήματος που επηρεάζεται από το μέταλλο, είτε από την αύξηση της συγκέντρωσης του ανταγωνιστικού μεταβολίτη ή με την ενεργοποίηση άλλου παράλληλου μεταβολίτη.
- Αντικατάσταση του φυσιολογικού ιόντος του μετάλλου από το τοξικό μέταλλο στα διάφορα ενζυμικά συστήματα.
- Απομάκρυνση των ιόντων των μετάλλων από τα φυτά μέσω της διαπνοής των φύλλων ,την αλλαγή του φυλλώματος ή την απομάκρυνση μέσω των ριζών.

Η ανθεκτικότητα επιτυγχάνεται συνήθως για ένα συγκεκριμένο μέταλλο να και ένα φυτό μπορεί να αναπτύξει μηχανισμούς με τους οποίους θα ανταπεξέλθει σε υψηλές συγκεντρώσεις παραπάνω του ενός μετάλλου (Μήστιος, 2004).

### 3.8 Μέθοδοι μείωσης βαρέων μετάλλων στα καλλιεργητικά εδάφη

Λόγω της συσσώρευσης τοξικών μετάλλων στα εδάφη και στη συνέχεια της μεταφοράς τους στην τροφική αλυσίδα, έχουν τόσο έμμεσες όσο και άμεσες επιπτώσεις, στον άνθρωπο, θα πρέπει να ληφθούν ορισμένα μέτρα για την ασφάλεια της τροφής.

Ορισμένα μέτρα που λαμβάνονται για την μετρίαση και την αποτροπή μεταγενέστερης πρόσληψης μετάλλων από καλλιεργητικά εδάφη είναι τα παρακάτω.

- Ασβέστωση, καθώς και η χρήση παραγώγων όπως ( $\text{CaCO}_3$ ), ( $\text{CaO}$ ), [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], ( $\text{CaSiO}_3$ ) και άλλα.
- Λίπανση με Zn (Ψευδάργυρο). Η μέθοδος αυτή μειώνει την συσσώρευση του Cd (καδμίου) στο έδαφος.
- Αμειψισπορά
- Διαχείριση υδάτων
- Προσθήκη οργανικών υλικών στο έδαφος, (κοπριά οικόσιτων κτηνοτροφικών ζώων, οργανικών αποβλήτων, τύρφη, compost, compost γαιοσκωλήκων), βελτιώνουν την δομή των εδαφών εμπλουτίζοντάς το με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά ενώ παράλληλα μειώνουν την κινητική ικανότητα των βαρέων μετάλλων όπως του (Cd, Zn, Pb) που βρίσκονται στο έδαφος. Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονισθεί πως ο βαθμός επιτυχίας της εδαφοβελτίωσης εξαρτάται από παράγοντες όπως :
  - Η δομή του εδάφους
  - Το είδος του εδάφους
  - Το pH
  - Η περιεκτικότητα αλάτων
  - Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό
  - Την οργανική ύλη
  - Την μικροβιακή αποικοδόμηση
  - Το τοξικό μέταλλο.

## 4 ΚΑΔΜΙΟ (Cd)

### 4.1 Γενικά

Το Cd είναι μέταλλο, με ατομικό βάρος 112,40, πυκνότητα 8,642 g/cm<sup>3</sup> και σημείο τήξεως τους 320,9 °C. Ανήκει στην ομάδα IIB του Περιοδικού Πίνακα και με βάση το ειδικό βάρος ταξινομείται στα βαρέα μέταλλα. Το Cd είναι, σχετικά μαλακό, λαμπερό καθώς και σπάνιο μέταλλο. Κατατάσσεται στην 67<sup>η</sup> θέση αφθονίας μεταξύ των στοιχείων στο στερεό φλοιό της γης, (Μήτσιος, 2004). Όταν πυρωθεί στον αέρα καίγεται με φωταύγεια. Το Cd ανακαλύφθηκε το 1817 από τον Γερμανό χημικό F. Strohmayer αλλά δεν αξιοποιήθηκε εμπορικά έως το τέλος του 19ου αιώνα, οπότε η χρήση του αρχίζει να επεκτείνεται. Η χημική συμπεριφορά του Cd είναι ανάλογη με εκείνη του ψευδαργύρου (Zn). Συνυπάρχει στα ορυκτά του ψευδαργύρου, του οποίου τα καθαρά ορυκτά είναι πολύ σπάνια. Το μέταλλο του Cd χαρακτηρίζεται ως το μέταλλο της σύγχρονης εποχής και βιομηχανικά χρησιμοποιείται : α) ως προστατευτικό κάλυμμα στο ατσάλι, β) σε πολλά κράματα, γ) σε πολλές χρωστικές ουσίες (για πλαστικά, για βερνίκια, και για σμάλτο), δ) ως σταθεροποιητής στα πλαστικά, ε) σε μπαταρίες Ni-Cd, στ) σε φωτοβολταϊκά κύτταρα, η) για τον έλεγχο (στους μοχλούς ελέγχου) στους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

### 4.2 Το κάδμιο στην ατμόσφαιρα

Η συγκέντρωση του καδμίου στον αέρα κυμαίνεται από 1 μέχρι 50 ng Cd/ m<sup>3</sup> ανάλογα από την απόσταση από την πηγή της εκπομπής. Το εύρος της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού καδμίου στην Ευρώπη κυμαίνεται από 1 μέχρι 6 ng Cd m<sup>-3</sup> για τις αγροτικές περιοχές, 3,6-20 ng Cd m<sup>-3</sup> για τις αστικές περιοχές και 16,5 μέχρι 54 ng Cd m<sup>3</sup> για τις βιομηχανικές περιοχές, σε ορισμένες δε περιπτώσεις μέχρι και 11000 ng Cd m<sup>3</sup>.

Οι βασικότερες πηγές ατμοσφαιρικής εκπομπής καδμίου είναι οι βιομηχανίες παραγωγής μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων, η καύση ορυκτών καυσίμων και οι εκπομπές από τις βιομηχανίες παραγωγής σιδήρου και σιδηρομεταλλευμάτων. Η ύπαρξη του καδμίου στις περιοχές αυτές, οφείλεται στη μεγάλη πτητικότητα του καδμίου όταν εκτίθεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 400°C (Μήτσιος, 2004).

#### 4.3 Το κάδμιο στο έδαφος

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των εδαφών σε κάδμιο (Cd), αναφέρεται ότι στα εδάφη η περιεκτικότητα σε Cd δεν υπερβαίνει το 1 μg/g εδάφους. Μια άλλη μελέτη υποστηρίζει ότι κυμαίνεται μεταξύ 0,06-1,1 μg/g εδάφους με μέση τιμή 0,53 μg/g εδάφους. Περιεκτικότητες καδμίου (Cd) στα εδάφη μεγαλύτερες από αυτές που προαναφέρθηκαν, αποδίδονται στην επιβάρυνση των εδαφών από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και κυρίως από τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων σε ποσοστό 54-58% , από τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις σε ποσοστό 39-41% και τέλος από τη χρήση στη γεωργία της ιλύος βιομηχανικών και αστικών λυμάτων σε ποσοστό 2-5%.

Διαπιστώθηκε ότι η χρήση λιπασμάτων τα οποία περιείχαν υψηλή περιεκτικότητα καδμίου (Cd), σε καλλιέργειες βρώμης, καρότου, rye-grass (*Lolium perenne*) και σπανακιού, είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκεντρώσεως του Cd στις καλλιέργειες αυτές. Επίσης δείχθηκε, ότι η ετήσια αύξηση στην περιεκτικότητα του εδάφους σε Cd εξαιτίας της παρουσίας του Cd στα λιπάσματα κυμαίνονταν μεταξύ 0,04 και 0,12%. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η συσσώρευση Cd στο έδαφος, ως αποτέλεσμα της διαφοράς μεταξύ της προσθήκης Cd από λιπάσματα και της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως από την μία πλευρά, και της απομακρύνσεως του Cd από τα φυτά και την έκπλυση από την άλλη, ήταν <1 g Cd ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>. Τέλος ερευνητές σε έρευνα-επισκόπηση εδαφών, που καλλιεργούνταν με καπνό, διαπίστωσαν ότι οι περιοχές που δέχθηκαν τις υψηλότερες δόσεις λιπασμάτων και χαλκούχων μυκητοκτόνων ήταν εκείνες, οι οποίες εμφάνιζαν αύξηση στη συγκέντρωση του Cd στα φύλλα του καπνού (Τσοτσόλη, 2005).



#### 4.4 Το Κάδμιο στους φυτικούς ιστούς

Το κάδμιο δεν αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τα φυτά. Εισέρχεται μέσω των ριζών στο φυτό σε ποσοστό που συσχετίζεται κυρίως με την περιεκτικότητα του εδάφους σε κάδμιο αλλά και με το pH του (όταν το pH του εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 4,5-5,5, τότε η πρόσληψη καδμίου από τα φυτά είναι η μέγιστη δυνατή)( Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

Επίσης, η ικανότητα ιοντοανταλλαγής του εδάφους και άλλες ιδιότητές του όπως, το αργιλικό ή το οργανικό υλικό του παίζουν ρόλο στην προσρόφηση του καδμίου. Το κάδμιο εισέρχεται στο φυτό μέσω των ριζών και θεωρείται ότι διεισδύει εκεί μέσω του φλοιώδους ιστού. Από τη στιγμή που εισέρχεται στο φυτό μπορεί να αποθηκευτεί ή να μετακινηθεί προς το ξύλωμα, συνδεδεμένο με διάφορους υποκαταστάτες, όπως π.χ. οργανικά οξέα (Sanità di Toppi and Gabbrielli, 1999).

Θεωρητικά, μόνο μικρές ποσότητες καδμίου φτάνουν στους βλαστούς αλλά από τους βλαστούς το Cd μπορεί να διαχυθεί μέσω του φλοιώματος στο φυτό και ιδιαίτερα στα φύλλα. Η διάχυση του καδμίου ή η συσσώρευσή του διαφέρει από γένος σε γένος και εξαρτάται από την ηλικία του φυτού. Παρόλο που ο μηχανισμός διάχυσης δεν είναι γνωστός, το  $Cd^{2+}$  θεωρείται ευκίνητο κατιόν, που μετακινείται μέσω μεταλλο-οργανικών συμπλόκων και σταματά να μετακινείται συνήθως όταν συνδέεται σταθερά σε θέσεις ιοντοανταλλαγής στα κυτταρικά τοιχώματα.

Πάντως, το Cd μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορα κυτταρικά συστατικά, όπως το κυτταρικό τοίχωμα, το κυτταρόπλασμα, οι χλωροπλάστες κ.α (Prasad, 2008). Όσον αφορά στις βιολογικές δράσεις του καδμίου, υπάρχει μία αναφορά από τους Lane και Morel (2000), όπου το κάδμιο αναφέρεται ως θρεπτικό συστατικό υπό συνθήκες έλλειψης Zn.

Γενικά όμως, το κάδμιο θεωρείται τοξικό μέταλλο και κανένα ένζυμο δε φαίνεται να εξαρτάται από αυτό (Farago, 1994). Η τοξικότητά του έγκειται στο ότι παρεμποδίζει τη σωστή λειτουργία των ενζύμων επηρεάζοντας διάφορες λειτουργίες της ανάπτυξης του φυτού. Αυτό, πιθανά οφείλεται σε υποκατάσταση από το κάδμιο μετάλλων, όπως ο Fe, το Mn ή ο Zn, τα οποία είναι απαραίτητα στις ενζυμικές διεργασίες.

Συγκεκριμένα, το κάδμιο συνδέεται με τις σουλφυδριλικές ομάδες των πρωτεϊνών και παρεμποδίζει τη λειτουργία τους ή καταστρέφει τη δομή τους ή ακόμη μπορεί να υποκαταστήσει απαραίτητα στοιχεία, και να παρουσιαστούν συμπτώματα έλλειψής τους.

Το κάδμιο μεταβάλλει την ορμονική ισορροπία του φυτού και μειώνει την προσρόφηση νερού από το υδραυλικό σύστημα των ριζών προς το ξύλωμα, μειώνοντας το ρυθμό αναπνοής του φυτού. Σε κυτταρικό επίπεδο, η τοξικότητα του Cd επιφέρει διατάραξη της μεταφοράς ηλεκτρικού φορτίου, μεταβολές στην αναπνοή και τη διαπνοή του φυτού και απώλεια σπαργής και κυτταρικής διόγκωσης, που οδηγεί σε βλάβη της φωτοσυνθετικής λειτουργίας. Επίσης, μεταβάλλεται η λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών, λόγω αλλαγής της λιπιδιακής τους σύστασης (Prasad, 2008).

Τέλος, αναφέρεται ότι υψηλά ποσοστά καδμίου αυξάνουν τη θειονίνη του mRNA, επηρεάζοντας τη μεταγραφή του γενετικού υλικού (Ouzounidou et al., 1995). Με την ηλικία του φυτού αυξάνεται και η ευαισθησία του σε κάδμιο και συσχετίζεται περισσότερο με τη φωτοσυνθετική διαδικασία παρά με τις λειτουργίες ανάπτυξης (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

Τα κοινά συμπτώματα τοξικότητας καδμίου είναι η χλώρωση των φύλλων και εμφάνιση καστανοκόκκινου χρωματισμού στις άκρες των φύλλων (Das et al., 1997). Επίσης, συμπτώματα είναι η σημαντική μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, η περιορισμένη βλάστηση των καρπών καθώς και η περιορισμένη επιμήκυνση των ριζών.

Οι συγκεντρώσεις καδμίου στο φυτό, σε γενικές γραμμές, μειώνονται από τις ρίζες προς τους βλαστούς και συνήθως οι ρίζες περιέχουν δεκαπλάσιες ποσότητες από ότι οι βλαστοί. Όμως, και τα φύλλα έχουν υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου σε προσβεβλημένα φυτά, ενώ οι καρποί και τα φρούτα φαίνονται αν μην επηρεάζονται από το κάδμιο. Γενικότερα, η περιεκτικότητα καδμίου στα φυτά κυμαίνεται από 0.05-0.2 ppm (Kabata-Pendias and Pendias, 2001)

Φυτά που αναπτύσσονται κοντά σε αυτοκινητόδρομους με μεγάλη κυκλοφορία, παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις καδμίου, αλλά και άλλων μετάλλων όπως μόλυβδος, χρώμιο και μαγγάνιο. Οι υψηλές συγκεντρώσεις Cd οφείλονται στο ότι το κάδμιο αποτελεί συστατικό των ελαστικών των αυτοκινήτων, των οποίων τα θραύσματα από την τριβή με το οδόστρωμα, παρασύρονται παραπλεύρως των δρόμων και αποτίθενται στο έδαφος (Kalavrouziotis, 2007(a)).

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Οι στόχοι του πειράματος

Στην πειραματική αυτή εργασία εξετάστηκε η επίδραση από την ενσωμάτωση διαφόρων αναλογιών του compost από υπολείμματα ελαιοτριβείου, σε συνδυασμό με βασική λίπανση συμβατικών λιπασμάτων και ενσωμάτωση καδμίου στην καλλιέργεια μαρουλιού. Μετρήθηκαν :

α) Η παραγωγή φυτικής βιομάζας και στην ανάπτυξη του φυτού μαρουλιού

### Περιγραφή αγροτικού υλικού

Για την πραγματοποίηση του πειράματος, στο πειραματικό χώρο του εργαστηρίου της εδαφολογίας του Α.Τ.Ε.Ι Καλαμάτας, χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία μαρουλιού **Paris Island Cos**. Τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας αυτής είναι τα ακόλουθα, είναι φυτό όρθιο με λεπτή επιμήκη κεφαλή στο εσωτερικό και λεπτά μακριά φύλλα στο εξωτερικό με χρώμα συνήθως σκούρο πράσινο. Τα φύλλα αναπτύσσονται σπειροειδώς επί του κοντού βλαστού και είναι λεία, πλατειά διαφόρου μεγέθους και σχήματος, ωοειδή, καρποειδή, επιμήκη, είναι ακέραια ή κυματοειδή ή ακανόνιστα οδοντωτά. Είναι φυτό μονοετές, ποώδες. Ο βλαστός είναι παχύς, κοντός και φέρει πυκνά φύλλα. Το ανθικό στέλεχος είναι όρθιο, χωρίς άκανθες, διακλαδιζόμενο και πολύφυλλο.

## Προετοιμασία του πειραματικού

Χρησιμοποιήθηκαν δοχεία χωρητικότητας 5 λίτρων με κοσκινισμένο χώμα (<4 mm) από την περιοχή του αγροκτήματος του Α.Τ.Ε.Ι. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

## Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους

Μηχανική σύσταση του εδάφους	Άμμος 15,28%	Ίλύς 53,28%	Άργιλος 15,28%	Ίλυοπηλώδες
pH (1:1)				7,9
Αγωγιμότητα (EC)%				847ms/cm
CaCO <sub>3</sub>				9,43
Οργανική ουσία %				3,09
Ca (meq/100 gr εδάφους)				25,84
Mg (meq/100 gr εδάφους)				1,09
K (meq/100 gr εδάφους)				1,0
Na (meq/100 gr εδάφους)				0,38
Υδατοχωρητικότητα				40,58%

## Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο περιλάμβανε 16 μεταχειρίσεις σε πέντε επαναλήψεις. Μελετήθηκαν διάφορες αναλογίες compost προς το έδαφος, όπως μάρτυρας χωρίς compost 0:100, 5%:95%, 10%:90%, 20%:80%, αντίστοιχα η κάθε αναλογία του compost προς το έδαφος δοκιμάστηκε με την προσθήκη βασικής λίπανσης τεσσάρων επίπεδων καδμίου δηλαδή Cd 0,20, 40,80,. Το compost και τα λιπάσματα ενσωματώθηκαν με την ανάμειξη τους πριν το γέμισμα των δοχείων. Η μορφή των λιπασμάτων ήταν, υπερφωσφορικό (0-20-0), θειικό κάλιο (0-0-50) και θειική αμμωνία (34,5-0-0).

Το κάδμιο χορηγήθηκε με τη μορφή νιτρικού άλατος με ενσωμάτωση. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του compost παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Η ποσότητα νερού που είχε υπολογιστεί αρχικά και μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου διατηρήθηκε η υδατοχωρητικότητα του εδάφους στο 70%. Στο πειραματικό πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδάφους και φυτών και μια μέτρηση ύψους φυτών. Στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης πάρθηκε ολόκληρο το υπέργειο φυτό και η ρίζα. Αρχικά ζυγίστηκε το νωπό βάρος, στη συνέχεια έγινε πλύσιμο με πόσιμο νερό και με απιονισμένο. Στην συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 70 °C για 24 ώρες. Τα δείγματα θρυμματίστηκαν και αλέστηκαν σε ειδικό μύλο ώστε να αξιοποιηθούν για ανάλυση. Αναλυτικά το πειραματικό σχέδιο παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

α/α	Μεταχειρήσεις	Δοχεία
1	έδαφος – compost 100 - 0 Cd 0 ppm	1,2,3,4,5
2	έδαφος – compost 100 - 0 Cd 20 ppm	6,7,8,9,10
3	έδαφος – compost 100 - 0 Cd 40 ppm	11,12,13,14,15
4	έδαφος – compost 100 - 0 Cd 80 ppm	16,17,18,19,20
5	έδαφος – compost 95-5 Cd 0 ppm	21,22,23,24,25
6	έδαφος – compost 95-5 Cd 20 ppm	26,27,28,29,30
7	έδαφος – compost 95-5 Cd 40 ppm	31,32,33,34,35
8	έδαφος – compost 95-5 Cd 80 ppm	36,37,38,39,40
9	έδαφος – compost 90-10 Cd 0 ppm	41,42,43,44,45
10	έδαφος – compost 90-10 Cd 20 ppm	46,47,48,49,50
11	έδαφος – compost 90-10 Cd 40 ppm	51,52,53,54,55
12	έδαφος – compost 90-10 Cd 80 ppm	56,57,58,59,60
13	έδαφος – compost 80-20 Cd 0 ppm	61,62,63,64,65
14	έδαφος – compost 80-20 Cd 20 ppm	66,67,68,69,70
15	έδαφος – compost 80-20 Cd 40 ppm	71,72,73,74,75
16	έδαφος – compost 80-20 Cd 80 ppm	76,77,78,79,80
17	έδαφος – compost 75-25 Cd 0 ppm	81,82,83,84,85
18	έδαφος – compost 75-25 Cd 20 ppm	86,87,88,89,90
19	έδαφος – compost 75-25 Cd 40 ppm	91,92,93,94,95
20	έδαφος – compost 75-25 Cd 80 ppm	96,97,98,99,100

**Πίνακας 1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά compost**

Παράμετρος	Ποιοτικά χαρακτηριστικά	
<b>Οπτική εμφάνιση</b>	Όλο το υλικό είναι σκοτεινό καφετί. Το αρχικό υλικό δεν είναι πλέον ορατό. Η δομή είναι μίγμα συσσωματωμάτων και φυτοχώματος λεπτού και μέσου μεγέθους.	
<b>Οσμή</b>	Φυτόχωμα από το δασική έκταση χωρίς καμία μυρωδιά αμμωνίας ή αναερόβια μυρωδιά.	
<b>Φυσικά χαρακτηριστικά</b>	Υγρασία	30-40% (μέση τιμή 21.5)
	Μέγεθος	Όλοι οι κόκκοι είναι μικρότεροι από 0.3 cm
	Φαινομενική πυκνότητα	520-600 g/l (μέση τιμή 560)
<b>Εδαφοβελτιωτικά χαρακτηριστικά</b>	Ικανότητα Συγκράτησης Νερού	248.7 %
	Δείκτης Θρεπτικότητας (Germination Index)	157
<b>Θρεπτικά χαρακτηριστικά</b>	Λόγος άνθρακα/άζωτο, C/N	<25:1 (μέση τιμή 21.5)
	Ολική Οργανική Ύλη	60-85% (μέση τιμή 74.15)
	Τέφρα	15-40% (μέση τιμή 25.85)
	Οργανικός Άνθρακας	30 - 42% (μέση τιμή 38.2)
	Ολικό Άζωτο	1.0-2.0% (μέση τιμή 1.52)
	Νιτρικό Άζωτο	250-350 PPM
	Νιτρώδες Άζωτο	0 PPM
	Θειούχες ενώσεις	0 PPM
	Αμμωνιακό Άζωτο	0 ή ίχνη
	Ολικός Φώσφορος	350 - 650 mg/kg Ξηράς compostας (μέση τιμή 445)
	pH	6.5-8.5
	Κατιονική Ιοντοεναλλακτική Ικανότητα (CEC)	>50 meq/100g (μέση τιμή 52)
	Περιεκτικότητα σε Χουμικά Οξέα	5-15% (μέση τιμή 5.84)
	Ολικό Ca	2.5-5 g/100g (μέση τιμή 3.25)
	Ολικός Cu	20- 30 mg/kg (μέση τιμή 26.7)
	Ολικός Zn	40-60 mg/kg (μέση τιμή 49.7)
	Ολικό Mn	100-150 mg/kg (μέση τιμή 135)
	<b>Fe</b>	0.5-1.0 % Ξηράς ουσίας (μέση τιμή 0.88)
	Ολικό Mg	0.4-0.5% Ξηράς ουσίας (μέση τιμή 0.45)
	Pb	0 PPM

	Cd	0 PPM
	Ανταλλάξιμο Na ,	2.76 meq/100g
	Ανταλλάξιμο Ca,	30.29 meq/100g
	Ανταλλάξιμο Mg,	5.25 meq/100g
	Ανταλλάξιμο Mn,	46.8 meq/100g
	Ανταλλάξιμο K,	17.6 meq/100g
	Ανταλλάξιμο Cu,	3.6 meq/100g
	Ανταλλάξιμο Zn,	20.6 meq/100g
	Ανταλλάξιμο Fe,	446 meq/100g
	Επι τις % ανταλλάξιμο Na (ESP),	0.05%
	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	10,000-15,000 mS/cm (μέση τιμή 12,500)
<b>Μικροβιολογικά Χαρακτηριστικά</b>	Heterotrophic Plate Count	$1 \times 10^8 - 1 \times 10^{10}$ CFU/gdw (μέση τιμή $3.6 \times 10^8$ )
	Aerobes: Anaerobes	>10:1
	Yeasts and Molds	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^5$ CFU/gdw
	Actinomycetes	$1 \times 10^5 - 1 \times 10^8$ CFU/gdw
	Pseudomonads	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$ CFU/gdw
	Nitrogen-Fixing Bacteria	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$ CFU/gdw
	Δείκτης Ωριμότητας	>50%
	Δείκτης σταθερότητας	<100 mg O <sup>2</sup> /Kg ξηρής compostας - hour
	E. coli	< 3 E. coli/g
	Fecal Coliforms	<1000 MPN/g ξηρής compostας
	Salmonella	< 3 MPN/4g ολικών στερεών

### Αποτελέσματα

Σύμφωνα με τα ληφθέντα δεδομένα μελετήθηκε η επίδραση του ενσωματωμένου compost σε διάφορες αναλογίες σε συνδυασμό με τα επίπεδα του καδμίου, στο ύψος, αριθμό φύλλων, απόδοση σε νωπό και ξηρό βάρος υπέργειου μέρους του μαρουλιού. Στους πίνακες και στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία για τις παραπάνω αναφερόμενες παραμέτρους.



## ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΝΩΠΟ ΒΑΡΟΣ

**Πίνακας 2:** Επίδραση των επιπέδων Cd και compost στο νωπό βάρος των φυτών (gr/φυτό)

	<b>ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ</b>	<b>Μ.Ο. νωπού βάρους (gr)</b>
1	COMPOST 0/ΈΔΑΦΟΣ 100 + 0 PPM CD	113,58
2	COMPOST 0/ΈΔΑΦΟΣ 100 + 20 PPM CD	132,47
3	COMPOST 0/ΈΔΑΦΟΣ 100 + 40 PPM CD	143,06
4	COMPOST 0/ΈΔΑΦΟΣ 100 + 80PPM CD	130,53
5	COMPOST 5/ΈΔΑΦΟΣ 95 + 0 PPM CD	136,79
6	COMPOST 5/ΈΔΑΦΟΣ 95 + 20 PPM CD	121,03
7	COMPOST 5/ΈΔΑΦΟΣ 95 + 40 PPM CD	119,49
8	COMPOST 5/ΈΔΑΦΟΣ 95 + 80 PPM CD	143,31
9	COMPOST10/ΈΔΑΦΟΣ 95 + 0 PPM CD	46,13
10	COMPOST10/ΈΔΑΦΟΣ 90 + 20 PPM CD	81,218
11	COMPOST10/ΈΔΑΦΟΣ 90 + 40 PPM CD	68,894
12	COMPOST10/ΈΔΑΦΟΣ 90 + 80 PPM CD	73,362
13	COMPOST 20/ΈΔΑΦΟΣ 80 + 0 PPM CD	37,456
14	COMPOST 20/ΈΔΑΦΟΣ 80 +20PPM CD	29,292
15	COMPOST 20/ΈΔΑΦΟΣ 80 +40 PPM CD	24,622
16	COMPOST 20/ΈΔΑΦΟΣ 80 +80 PPM CD	27,76
17	COMPOST 25 /ΈΔΑΦΟΣ 75 + 0 PPM CD	15,716
18	COMPOST 25 /ΈΔΑΦΟΣ 75 + 20 PPM CD	14,282
19	COMPOST 25 /ΈΔΑΦΟΣ 75 + 40 PPM CD	13,31
20	COMPOST 25 /ΈΔΑΦΟΣ 75 + 80 PPM CD	17,878

**Πίνακας 3.** Στατιστική ανάλυση (Ανάλυση της διακύμανσης ANOVA) του νωπού βάρους των φυτών

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Νωπό βάρος

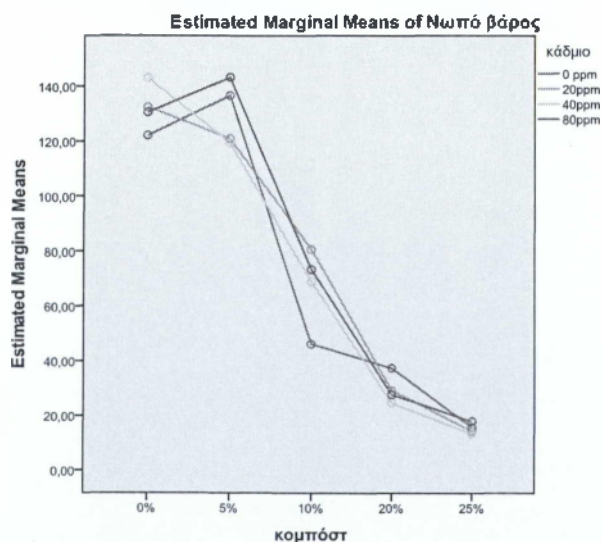
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	248112,732 <sup>a</sup>	19	12953,302	15,255	,000
Intercept	551843,800	1	551843,800	649,923	,000
compost	237971,548	4	59492,886	70,067	,000
Cd	629,121	3	209,707	247	,863
compost * Cd	6226,400	12	518,867	,611	,827
Error	67078,186	79	849,091		
Total	887598,661	99			
Corrected Total	313190,918	98			

a. R Squared = .786 (Adjusted R Squared = .734)

Η στατιστική ανάλυση (Πίνακας 3 ) έδειξε ότι στο σύνολο των μεταχειρίσεων η προσθήκη Cd δεν είχε στατιστική σημαντική επίδραση στο νωπό βάρος αλλά η προσθήκη compost είχε σημαντική αρνητική επίδραση στο νωπό βάρος. Οι υψηλότερες αποδόσεις έδωσαν τα φυτά που αναπτύχθηκαν με 0% και 5% compost (Πίνακας 4 , Σχεδιάγραμμα 1 ).

**Πίνακας 4 .** Επίδραση του compost στο νωπό βάρος (γρ/φυτό)

0%	132,6	a
5%	129,7	a
10%	66,6	b
20%	29,8	c
25%	15,3	c



**Σχεδιάγραμμα 1.** Μεταβολές του υπέργειου νωπού βάρους σε σχέση με την προσθήκη compost και Cd.

## ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΤΩΝ

**Πίνακας 5:** Επίδραση των επιπέδων Cd και compost στο ξηρό βάρος των φυτών (gr/φυτό)

	ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ	Μ.Ο ξηρού βάρους (gr)
1	COMPOST 0 % + 0 PPM CD	10,44
2	COMPOST 0 % + 20 PPM CD	11,138
3	COMPOST 0 % + 40 PPM CD	10,636
4	COMPOST 0% + 80PPM CD	9,452
5	COMPOST 5% + 0 PPM CD	10,462
6	COMPOST 5% + 20 PPM CD	10,396
7	COMPOST 5% + 40 PPM CD	9,978
8	COMPOST 5% + 80 PPM CD	9,716
9	COMPOST10% + 0 PPM CD	4,854
10	COMPOST10 % + 20 PPM CD	7,54
11	COMPOST10 % + 40 PPM CD	6,61
12	COMPOST10% + 80 PPM CD	8,04
13	COMPOST 20% + 0 PPM CD	4,64
14	COMPOST 20% +20PPM CD	4,04
15	COMPOST 20% +40 PPM CD	3,75
16	COMPOST 20% +80 PPM CD	3,522
17	COMPOST 25% + 0 PPM CD	2,032
18	COMPOST 25% + 20 PPM CD	1,9
19	COMPOST 25 % + 40 PPM CD	1,648
20	COMPOST 25 % + 80 PPM CD	2,35

**Πίνακας 6.** Στατιστική ανάλυση (Ανάλυση της διακύμανσης ANOVA) του ξηρού βάρους των φυτών

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Ξηρό Βάρος

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1118,724 <sup>a</sup>	19	58,880	11,781	,000
Intercept	4226,976	1	4226,976	845,749	,000
compost	1072,330	4	268,082	53,639	,000
Cd	4,193	3	1,398	,280	,840
compost * Cd	39,505	12	3,292	,659	,785
Error	379,841	76	4,998		
Total	5769,766	86			
Corrected Total	1498,565	95			

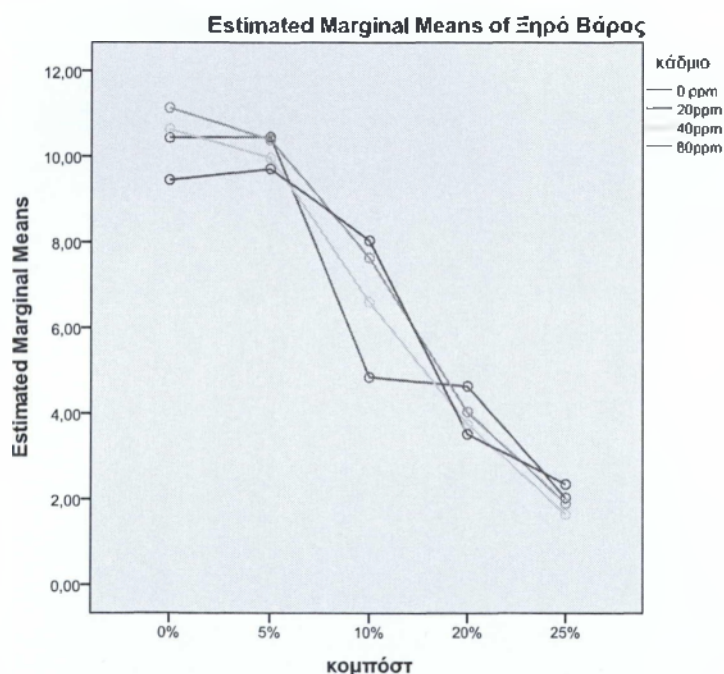
a. R Squared = ,747 (Adjusted R Squared = ,683)

Η στατιστική ανάλυση (Πίνακας 6) έδειξε ότι στο σύνολο των μεταχειρίσεων η προσθήκη Cd δεν είχε στατιστική σημαντική επίδραση στο νωπό βάρος αλλά η προσθήκη compost είχε σημαντική αρνητική επίδραση στο ξηρό βάρος. Οι υψηλότερες αποδόσεις έδωσαν τα φυτά που αναπτύχθηκαν με 0% και 5% compost (Πίνακας 7, Σχεδιάγραμμα 3).

**Πίνακας 7.** Επίδραση του compost στο ξηρό βάρος (γρ/φυτό)

0%	10,4	a
5%	10,1	a
10%	6,7	b
20%	4,0	c
25%	2,0	d

**Σχεδιάγραμμα 3.** Μεταβολές του υπέργειου ξηρού βάρους σε σχέση με την προσθήκη compost και Cd.



## ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

**Πίνακας 8: Επίδραση των επιπέδων Cd στο ύψος των φυτών (cm)**

α/α	ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ	Μ.Ο. ύψους (cm)
1	COMPOST 0 % + 0 PPM Cd	23,75
2	COMPOST 0 % + 20 PPM Cd	24,1
3	COMPOST 0 % + 40 PPM Cd	26,4
4	COMPOST 0% + 80PPM Cd	25,6
5	COMPOST 5% + 0 PPM Cd	10,462
6	COMPOST 5% + 20 PPM Cd	26,1
7	COMPOST 5% + 40 PPM Cd	25,5
8	COMPOST 5% + 80 PPM Cd	25,9
9	COMPOST 10% + 0 PPM Cd	18,8
10	COMPOST 10 % + 20 PPM Cd	23,8
11	COMPOST 10 % + 40 PPM Cd	21,9
12	COMPOST 10% + 80 PPM Cd	24,5
13	COMPOST 20% + 0 PPM Cd	17,1
14	COMPOST 20% +20PPM Cd	17,7
15	COMPOST 20% +40 PPM Cd	17,4
16	COMPOST 20% +80 PPM Cd	14,8
17	COMPOST 25% + 0 PPM Cd	13,9
18	COMPOST 25% + 20 PPM Cd	11,5
19	COMPOST 25 % + 40 PPM Cd	11
20	COMPOST 25 % + 80 PPM Cd	13,7

**Πίνακας 9. Στατιστική ανάλυση (Ανάλυση της διακύμανσης ANOVA) του ύψους των φυτών**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Ύψος

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model <sup>a</sup>	2913,048 <sup>a</sup>	18	153,318	15,373	,000
Intercept	37242,668	1	37242,668	3734,356	,000
compost	1882,238	4	470,559	47,183	,000
Cd	239,828	3	79,876	8,008	,000
compost * Cd	770,297	12	64,191	6,437	,000
Error	777,893	78	9,973		
Total	40792,210	98			
Corrected Total	3690,941	97			

a. R Squared = .789 (Adjusted R Squared = .738)

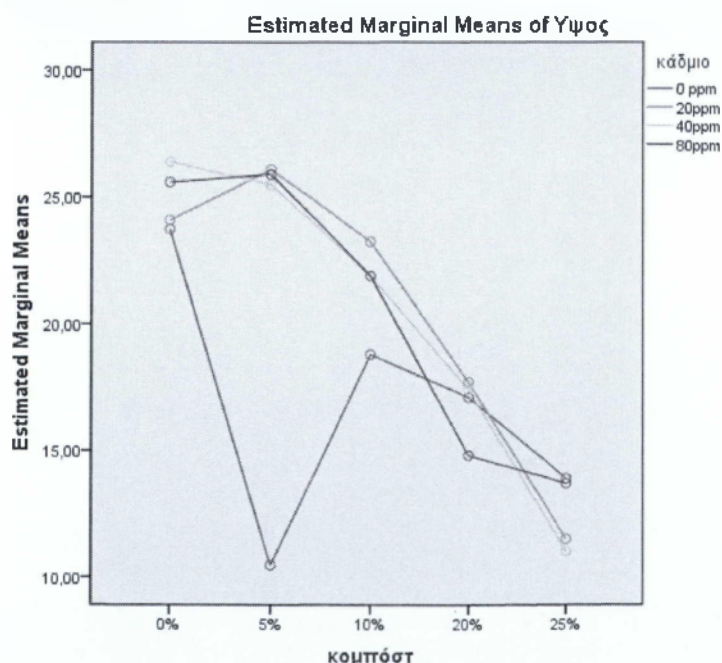
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα 9, το compost και το Cd είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών. Στο σύνολο των μεταχειρίσεων η προσθήκη compost είχε αρνητική επίδραση στο ύψος των φυτών ( Πίνακας και Σχεδιάγραμμα 5 ). Με την αύξηση των δόσεων του compost το ύψος μειωνόταν αντίστοιχα. Ωστόσο η προσθήκη Cd είχε θετική επίδραση (Πίνακας ) και το ύψος ήταν σημαντικά μεγαλύτερο συγκριτικά με την μεταχείριση χωρίς Cd.

**Πίνακας 10.** Επίδραση του compost στο ύψος των φυτών

0%	25,0	a
5%	21,9	b
10%	21,3	b
20%	16,7	c
25%	12,5	d

**Πίνακας 11.** Επίδραση του Cd στο ύψος των φυτών

0 ppm	16,5	b
20 ppm	20,4	a
40 ppm	20,4	a
80 ppm	20,3	a



**Σχεδιάγραμμα 5.** Μεταβολές του ύψους των φυτών σε σχέση με την προσθήκη compost και Cd.

## ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΛΛΩΝ

**Πίνακας 12:** Επίδραση του compost και των επιπέδων Cd στον αριθμό φύλλων των φυτών

	ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ	Μ.Ο αρ. φύλλων
1	COMPOST 0 % + 0 PPM CD	21
2	COMPOST 0 % + 20 PPM CD	22,6
3	COMPOST 0 % + 40 PPM CD	24,8
4	COMPOST 0% + 80PPM CD	26
5	COMPOST 5% + 0 PPM CD	24,2
6	COMPOST 5% + 20 PPM CD	25,4
7	COMPOST 5% + 40 PPM CD	24
8	COMPOST 5% + 80 PPM CD	27
9	COMPOST10% + 0 PPM CD	17,6
10	COMPOST10 % + 20 PPM CD	18,8
11	COMPOST10 % + 40 PPM CD	19,4
12	COMPOST10% + 80 PPM CD	21,8
13	COMPOST 20% + 0 PPM CD	16
14	COMPOST 20% +20PPM CD	15,6
15	COMPOST 20% +40 PPM CD	16
16	COMPOST Γ 20% +80 PPM CD	16,2
17	COMPOST 25% + 0 PPM CD	14,4
18	COMPOST 25% + 20 PPM CD	15
19	COMPOST 25 % + 40 PPM CD	15,6
20	COMPOST 25 % + 80 PPM CD	15

**Πίνακας 13 .** Στατιστική ανάλυση (Ανάλυση της διακύμανσης ANOVA) του αριθμού φύλλων των φυτών

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Αριθμός φύλλων

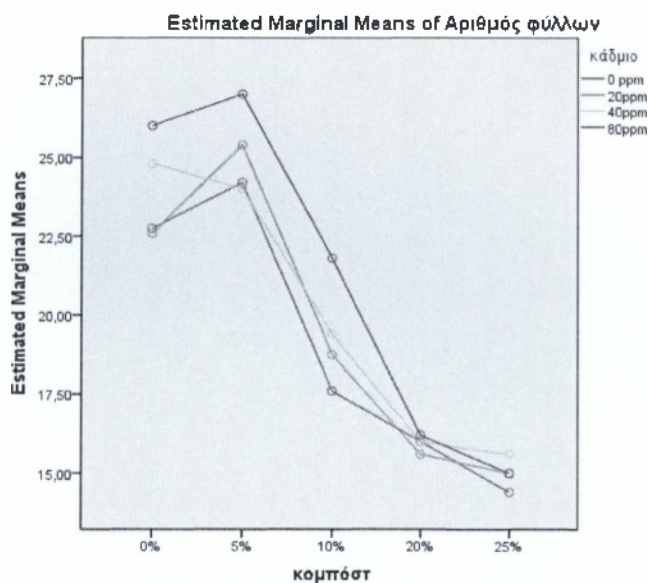
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1802,665 <sup>a</sup>	19	94,877	6,745	,000
Intercept	38654,539	1	38654,539	2748,203	,000
compost	1670,537	4	417,634	29,692	,000
Cd	66,414	3	22,138	1,574	,202
compost * Cd	53,138	12	4,428	,315	,985
Error	1097,100	78	14,065		
Total	41661,000	98			
Corrected Total	2899,765	97			

a. R Squared = ,522 (Adjusted R Squared = ,529)

Η στατιστική ανάλυση (Πίνακας 13) έδειξε ότι στο σύνολο των μεταχειρίσεων η προσθήκη Cd δεν είχε στατιστική σημαντική επίδραση στον αριθμό φύλλων αλλά η προσθήκη compost είχε σημαντική αρνητική επίδραση. Τον μεγαλύτερο αριθμό φύλλων έδωσαν τα φυτά που αναπτύχθηκαν με 0% και 5% compost (Πίνακας 14), Παράλληλα η μεταχείριση με 80 ppm Cd έδωσε φυτά με τον υψηλότερο αριθμό φύλλων στο σύνολο γενικά των μεταχειρίσεων ( Σχεδιάγραμμα 7 ).

Πίνακας 14 . Επίδραση του compost στον αριθμό των φύλλων

0%	24,1	a
5%	25,1	a
10%	19,4	b
20%	15,9	c
25%	15,0	c



Σχεδιάγραμμα 7. Μεταβολές του αριθμού των φύλλων σε σχέση με την προσθήκη compost και Cd.



## Συμπέρασμα

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη compost σε δόσεις μεγαλύτερες από 5% είχαν αρνητική και σημαντική επίδραση στα αυξητικά χαρακτηριστικά των φυτών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί ότι σύμφωνα με τον πίνακα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του compost, το προϊόν έχει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα . και κατά συνέπεια να αυξάνει την αλατότητα του εδάφους με αρνητικές επιδράσεις στην καλλιέργεια. Επιπρόσθετα η προσθήκη Cd προκάλεσε θετική και στατιστικά σημαντική αντίσταση των αυξητικών παραμέτρων που μετρήθηκαν ενώ τα φυτά δεν παρουσίασαν συμπτώματα φυτοτοξικότητας στις υψηλές συγκεντρώσεις του Cd. Τα προηγούμενα αποτελέσματα μπορεί να αποδοθούν στο γεγονός ότι το Cd δόθηκε υπό μορφή νιτρικού άλατος και έτσι το επιπλέον άζωτο που είναι και άμεσα αφομοιώσιμο από τα φυτά να ενισχύει την ανάπτυξη των φυτών. Παράλληλα η πρόσληψη του Cd εμποδίζεται από την ανταγωνιστική παρουσία των νιτρικών σύμφωνα με τους Sady and Kowalska (2006) και Gouia et al., (2000). Να σημειωθεί ότι το compost εξαιτίας την υψηλής εναλλακτικής του ικανότητας έχει την ικανότητα να δεσμεύει το Cd και έτσι στις υψηλές δόσεις Cd, το μέταλλο αυτό να έχει μειωμένη διαθεσιμότητα στο έδαφος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

Αλμπάνης Τ., "Ρύπανση και Τεχνολογία Περιβάλλοντος", Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1996.

Κουιμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά Κ., "Χημεία Περιβάλλοντος". Θεσσαλονίκη, 1998.

Λουκίδου Μ., "Απομάκρυνση τοξικών μετάλλων από αραιά διαλύματα με την εφαρμογή της βιορρόφησης". Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Χημείας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2003.

Μανουσάκης Γ. "Γενική και Ανόργανη Χημεία". Β' Έκδοση, Εκδόσεις Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 1994.

Μήτσιος Ι.Κ., "Γονιμότητα Εδαφών", (Θρεπτικά στοιχεία και βαρέα μέταλλα), Μέθοδοι και Εφαρμογές, 2004.

Παναγοπούλου Α., "Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον". Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 2011.

Περδικάτσης Β., "Αναλυτική Περιβαλλοντική Γεωχημεία", 2003.

Τσοτσόλη Ν.Χ., "Παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη καδμίου από εδάφη καλλιεργούμενα με καπνό". Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2005.

Φυτιάνος Κ., "Η ρύπανση των θαλασσών", Β' Έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 1996.

### Ξένη

Manser A.G. and Keeling Alan A., "Handbook of Processing and Recycling of Municipal Waste". CRC Press LLC, 1996.

Alloway, B.J. "Heavy Metals in Soils". Halsted Press. J. Wiley & Sons Inc., London 1996.

American Journal of Plant Sciences. "Cadmium Toxicity in Plants and Role of Mineral Nutrients in its Alleviation". 2012, 3 1476-1489.

Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea. "Agricultural Methods for Toxicity Alleviation in Metal Contaminated Soils".

**Gouia, H., Ghorbal, M. H., and C. Meyer** 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant physiology and Biochemistry* 38:629-638.

**Kabata, A. and Pendias, H.** "Trace Elements in Soils and Plants", 2001.

**Margaret E. Farago** "Plants and the Chemical Elements". Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity, 1994.

**Peter B. Woodbury**, Cornell Waste Management Institute. "Potential Effects of Heavy Metals in Municipal Solid Waste Compost on Plants and the Environment". Boyce Thompson Institute for Plant Research at Cornell University, New York.

**Prasad M.N.V** (Ed), "Trace Elements and Nutrients, Consequences in Ecosystem and Human Health". J. Wiley & Sons Inc., Chichester, New York, Tokyo, 2008.

**Sady W., and I. Kowalska** 2006. Effects of nitrogen form or solution pH on cadmium content and quality of spinach. *Acta Horticulturae* 700: 133-136.

**Sanità di Toppi L., Gabbrielli R.** "Response to Cadmium in higher plants", 1999.

**Selman A. Waksman and Robert L. Starkey.** "The Soil and the Microbe: An introduction to the study of the microscopic population of the soil and its role in soil processes and plant growth". New York J. Wiley & Sons Inc., 1931.

The US Composting Council. "Field Guide to Compost Use", 2001.

## Διαδίκτυο

<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.310178>

<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4746/1/Διπλωματική%20Έργ.pdf>

<http://www.compostingcouncil.org>

<http://www.ecocity.gr>

<http://www.onlinelibrary.wiley.com>

<http://www.princeton.edu>