



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

**«Συγκριτική αξιολόγηση των διαθέσιμων τεχνικών  
κομποστοποίησης»**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μπεκιάρης Βασίλειος**

Μηχανολόγος Μηχανικός

[mixanikos.me@gmail.com](mailto:mixanikos.me@gmail.com)

**Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Ανδρεόπουλος Ανδρέας**

**ΑΘΗΝΑ 2022**

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ  
ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ»**

Επιβλέπων καθηγητής: Ανδρέας Ανδρεόπουλος

Συνεπιβλέπων Καθηγητής:

Η Τριμελής Επιτροπή

Γεώργιος Βαρελίδης

Δημήτριος Αλεξάκης,

Ανδρέας Ανδρεόπουλος

### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μπεκιάρης Βασίλειος του Φωτίου, με αριθμό μητρώου 177 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών  


## Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών το ακαδημαϊκό έτος 2021-2022.

Θα ήθελα ολοκληρώνοντας αυτή την προσπάθεια να ευχαριστήσω όλους αυτούς που με στήριξαν και με βοήθησαν στο έργο αυτό, ο κάθε ένας με τον τρόπο του.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Καθηγητή κύριο Ανδρέοπουλο Ανδρέα, για τη πολύτιμη καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές, τη γραμματεία και τους συμφοιτητές του παρόντος μεταπτυχιακού για τον πολύτιμο χρόνο που μοιραστήκαμε γνώσεις, προβληματισμούς και εμπειρίες.

Τέλος, θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγο μου Μαργαρίτα και το γιό μου Φώτη για την καθολική τους στήριξη σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Αφιερώνω αυτή την εργασία πρωτίστως στους γονείς μου, ιδιαίτερα στον πατέρα μου που δυστυχώς τον χάσαμε μέσα στο χρονικό διάστημα αυτό των σπουδών μου, αλλά και σε όλους τους γονείς που προσπαθούν να δώσουν στα παιδιά τους όλα τα απαραίτητα εφόδια για τη ζωή τους.

Τέλος αφιερώνω αυτή την εργασία σε όλους τους καλοπροαίρετους ανθρώπους που αγωνίζονται για ένα καλύτερο εαυτό και ένα καλύτερο κόσμο, αλλάζοντας σιγά σιγά και σταδιακά τρόπο σκέψης και τρόπο ζωής. Σε όλους αυτούς που προσπαθούν να δημιουργήσουν συνείδηση ορθών κατευθύνσεων. Σε αυτούς που μέσα στο εγώ προσπαθούν να εντάξουν και το εμείς, σεβόμενοι τον Θεό τους, τον εαυτό τους, το συνάνθρωπό τους, αλλά και το φυσικό περιβάλλον μέσα στο οποίο ζούμε, υπάρχουμε και εξαρτιόμαστε άμεσα από αυτό.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	8
1.1 Ιστορία και Ορισμός της κομποστοποίησης .....	8
1.2 Παράγοντες που ελέγχουν την διαδικασία της κομποστοποίησης .....	10
1.2.1 Αρχική σύσταση του οργανικού κλάσματος.....	11
1.2.2 Αερισμός.....	11
1.2.3 Θερμοκρασία .....	12
1.2.4 Υγρασία .....	12
1.2.5 Λόγος άνθρακα /άζωτο (C/N).....	13
1.2.6 Τιμές pH.....	13
1.2.7 Σύνοψη.....	13
1.3 Φάσεις της κομποστοποίησης.....	15
1.4 Τεχνικές και συστήματα κομποστοποίησης.....	18
1.4.1 Indian Bangalore.....	19
1.4.2 Κομποστοποίηση Vessel.....	19
1.4.3 Windrow Composting.....	20
1.4.4 Βερμικομποστοποίηση.....	20
1.4.5 Στατική Κομποστοποίηση .....	21
1.4.6 Κομποστοποίηση Φύλλων .....	21
1.4.7 Ινδική κομποστοποίηση Indore .....	21
1.4.8 Berkley Rapid Composting.....	22
1.5 Χρήσεις κομποστ και οφέλη .....	22

1.6 Νομικό πλαίσιο για την κομποστοποίηση .....	26
2. Μεθοδολογία έρευνας.....	30
3. Συγκριτική ανάλυση διαχείρισης απορριμμάτων με κομποστοποίηση και συμβατικούς τρόπους: προκλήσεις και ευκαιρίες για το μέλλον.....	31
3.1 Κομποστοποίηση και απόβλητα .....	31
3.2 Διαχείριση οργανικών αποβλήτων.....	35
3.2.1 Ταξινόμηση αποβλήτων σύμφωνα με τη βιοαποδομησιμότητα.....	37
3.2.2 Μέθοδοι Διάθεσης Απορριμμάτων.....	37
4. Συγκριτική ανάλυση αερόβιας και αναερόβιας αποικοδόμησης .....	43
4.1 Αερόβια Κομποστοποίηση.....	43
4.2 Αναερόβια αποικοδόμηση.....	47
4.3 Σύγκριση αερόβιας με αναερόβια αποικοδόμηση .....	49
4.3.1 Οικονομικά στοιχεία.....	52
4.4 Αξιολόγηση του κόμποστ .....	55
Συζήτηση – Συμπεράσματα .....	58
Βιβλιογραφία .....	65
Παράρτημα .....	93

## **Περιεχόμενα Εικόνων**

Εικόνα 1. Κομποστοποίηση σε αρχαίους πολιτισμούς .....	9
Εικόνα 2. Φάσεις κομποστοποίησης .....	17
Εικόνα 3. Σωρός κόμποστ Στην Petaluma το 2015 .....	26
Εικόνα 4. Σκουπίδια στις παρυφές των δρόμων .....	31

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Σύγκριση μεταξύ κομποστοποίησης και συμβατικών μεθόδων διαχείρισης .....	40
--	----



# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Ιστορία και Ορισμός της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση αποτελεί τη φυσική διαδικασία αποσύνθεσης, η οποία υποβοηθάται από την ανθρώπινη παρέμβαση, έτσι ώστε να υπάρχουν ιδανικές συνθήκες για την εξέλιξη της διεργασίας. Η κομποστοποίηση δεν αποτελεί μια ανακάλυψη του σύγχρονου κόσμου αλλά υπάρχει από τα αρχαία χρόνια (Haug, 1993). Αποτελούσε μια τεχνική για την βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους τόσο στον πολιτισμό των Ισραηλιτών, όσο και στους Έλληνες και στους Ρωμαίους. Επιπρόσθετα, αναφορές σχετικά με την κομποστοποίηση έχουν γίνει και σε αρχαίους πολιτισμούς της Νότιας Αμερικής, της Κίνας, της Ιαπωνίας αλλά και της Ινδίας. Στις περισσότερες από αυτές τις αναφορές τα οργανικά απόβλητα συλλέγονταν σε σωρούς και ανοικοδομούνταν ως κόσμπος (Epstein, 1997). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι Σουμέριοι συγκέντρωναν τα αστικά απόβλητά τους σε κάποιους ειδικούς πέτρινους χώρους, έξω από την εκάστοτε οικία, το οποίο μετά την αποικοδόμησή του χρησιμοποιούταν ως εδαφοβελτιωτικό. Ειδική αναφορά θα πρέπει να γίνει στο σύστημα αστικών αποβλήτων κατά την Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, όπου τα αστικά απόβλητα μαζεύονταν από κάποια κρατική διαχείριση σε συχνά χρονικά διαστήματα και μετά την αποικοδόμησή τους, χρησιμοποιούνταν σε αγροτικές εργασίες. (Diaz, 2007).



Εικόνα 1. Κομποστοποίηση σε αρχαίους πολιτισμούς

Η πρώτη ακριβής και κάπως πιο επιστημονική περιγραφή σχετικά με την κομποστοποίηση έγινε από τους Ναΐτες, οι οποίοι αναφέρουν ότι γίνεται προεπεξεργασία των διαφορετικών υλικών έτσι ώστε να γίνει κομποστοποίηση και να παραχθεί κόμποστ διαφόρων τύπων. Επίσης, αναφέρουν στοιχεία για την απαιτούμενη υγρασία κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης, τις αναλογίες ανάμιξης των υλικών και την αξιολόγηση του κόμποστ (Diaz, 2007).

Σύμφωνα με τον Epstein (1997), η σύγχρονη ιστορία της κομποστοποίησης ξεκινά τέλη της δεκαετίας του 1880, με μια δημοσίευση σχετικά με την κομποστοποίηση από τον Αγροτικό Πειραματικό Σταθμό της Βόρειας Καρολίνας. Λίγα χρόνια αργότερα και συγκεκριμένα το 1922, ο Beccari πατεντάρει το πρώτο σύστημα κομποστοποίησης ενώ 13 χρόνια αργότερα ο Sir Albert Howard, αναλύει σε δημοσίευσή του την έννοια της «κομποστοποίησης μεγάλης κλίμακας». Μετά το 1930 το ενδιαφέρον γύρω από την κομποστοποίηση αναζωπυρώθηκε τόσο στην Αμερική όσο και στην Ευρώπη, χωρίς βέβαια κάποια σημαντική πρόοδο στο υπό μελέτη ζήτημα. Η σημαντική πρόοδος ήρθε μετά το 1980, όπου και πολλές πειραματικές μελέτες έλαβαν χώρα, γεγονός που σε μεγάλο βαθμό προώθησε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Diaz, 2007).

Σήμερα λοιπόν η κομποστοποίηση αναφέρεται στην βιοαποδόμηση κάποιων στερεών αποβλήτων με οξυγόνο και υπό την επίδραση διαφόρων μικροοργανισμών. Κατά την διαδικασία αυτή παράγεται θερμότητα και το τελικό προϊόν είναι το κόμποστ. Το κόμποστ χρησιμοποιείται συνήθως για τη βελτίωση

του εδάφους κατά την καλλιέργεια φυτών (Rynk, 1992). Με τον τρόπο αυτό η οργανική ουσία που αρχικά είναι τοξική για τα φυτά, μετατρέπεται σε ένα ασφαλές εδαφοβελτιωτικό, χωρίς παθογόνους οργανισμούς (Arvanitoyannis & Tserkezou, 2008). Κύρια πλεονεκτήματα της διαδικασίας αυτής στις μέρες μας θεωρούνται η μείωση του όγκου των αποβλήτων, η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων και την παράλληλη παραγωγή ενός χρήσιμου προϊόντος, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα (Onwosi et al., 2017). Από την άλλη μεριά, μειονεκτήματα της κομποστοποίησης που έχουν αναφερθεί είναι οι πρόκληση δυσάρεστων οσμών, ο μεγάλος απαιτούμενος χώρος των μονάδων διαχείρισης αποβλήτων καθώς και η ανάγκη προώθησης του κόμποστ (Epstein, 1997).

Έτσι λοιπόν με την κομποστοποίηση ουσιαστικά εξοικονομούνται πόροι ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο όγκος των αποβλήτων. Το κόμποστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα καθώς και σε κάποιες εργασίες αποκατάστασης (Diaz, 2007).

## **1.2 Παράγοντες που ελέγχουν την διαδικασία της κομποστοποίησης**

Όπως προαναφέρθηκε η κομποστοποίηση στηρίζεται στην παρουσία των μικροοργανισμών. Με αυτή την λογική οι παράγοντες που επηρεάζουν την δραστηριότητά τους επηρεάζουν και την όλη διεργασία της κομποστοποίησης, καθορίζοντας όχι μόνο το ρυθμό αλλά και την έκταση της κομποστοποίησης και την ποιότητα του κόμποστ (Κατσίρη, 2003). Οι κυριότεροι από αυτούς τους παράγοντες σύμφωνα με τον Κατσίρη (2003) είναι οι εξής:

1. *Η αρχική σύσταση του οργανικού κλάσματος*
2. *Ο αερισμός*
3. *Η θερμοκρασία*
4. *Η υγρασία*
5. *Ο λόγος C/N*
6. *Οι τιμές pH*

### 1.2.1 Αρχική σύσταση του οργανικού κλάσματος

Αυτή ίσως είναι και η πιο σημαντική παράμετρος της κομποστοποίησης, διότι το μείγμα χρειάζεται μια σωστή αναλογία οργανικών υλικών πλούσιων σε άνθρακα. Το μείγμα θα πρέπει να προετοιμαστεί έτσι ώστε να περιλαμβάνει υλικά πλούσια σε άνθρακα αλλά και υλικά πλούσια σε άζωτο. Η αναλογία αυτή μπορεί σε μεγάλο βαθμό να καθορίσει την ταχύτητα αποσύνθεσης του μείγματος. Εμπειρικά έχει φανεί ότι μια πολύ καλή αναλογία είναι τα τρία μέρη από άνθρακα προς ένα μέρος αζώτου. Πέρα από την αναλογία των υλικών του μείγματος σημαντική είναι και η παράμετρος του μεγέθους των κόκκων του υλικού. Όσο πιο μικρό το μέγεθος των κόκκων του υλικού τόσο καλύτερο και πιο ομοιογενές θεωρείται το υπόστρωμα. Εμπειρικά έχει φανεί ότι ικανοποιητικό θεωρείται το μέγεθος κόκκων από κάποια χιλιοστά έως 5cm (Ζορμπάς, 1999).

### 1.2.2 Αερισμός

Ο αερισμός αποτελεί έναν απαραίτητο παράγοντα για την τέλεση της κομποστοποίησης, διότι παρέχει το απαραίτητο οξυγόνο για τη διάσπαση της οργανικής ύλης, τη ρύθμιση της υγρασίας σε επιθυμητά για την όλη διεργασία επίπεδα και την απομάκρυνση της θερμότητας. Έτσι λοιπόν ο αερισμός κατά την κομποστοποίηση είναι απαραίτητος για τη διατήρηση της αναπνοής και του μεταβολισμού των μικροοργανισμών, αλλά και για να είναι εφικτή η οξείδωση των οργανικών μορίων.

Επιπρόσθετα, ο αερισμός συνδέεται άρρηκτα με την υγρασία. Συνεπώς ένας ακόμη λόγος του αερισμού κατά την κομποστοποίησης είναι η μείωση της υγρασίας σε επιθυμητά επίπεδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι σε περίπτωση που λόγω κακού αερισμού το οξυγόνο πέσει κάτω του 5% παράγονται δυσάρεστες οσμές και η αποικοδόμηση της μάζας επιβραδύνεται. Τέλος συνηθισμένες πρακτικές αερισμού θεωρούνται τα ρεύματα αέρα και τα τακτικά γυρίσματα των σωρών

(Λάλας κ.α., 2007).

### 1.2.3 Θερμοκρασία

Η διαδικασία της κομποστοποίησης αποτρέπεται από ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες και έτσι η αποδόμηση της οργανικής μάζας επιβραδύνεται. Υπάρχουν μόνο λίγα είδη βακτηρίων, τα οποία μπορούν να συνεχίζουν να μεταβολίζουν σε θερμοκρασίας πάνω από 70°C, τα οποία είναι τα εξής:

- *Bacillus stearothermophilus*
- *Bacillus subtilis*
- *Clostridium sp.*
- *Thermus sp.*

Η διαδικασία της κομποστοποίησης περιλαμβάνει μια αρχική θερμοφιλική φάση, η οποία είναι πάρα πολύ απαραίτητη, διότι σε αυτήν θανατώνονται πολλοί παθογόνοι, που δεν αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες. Κατά κάποιο τρόπο λαμβάνει χώρα μια μορφή αποστείρωσης σε θερμοκρασίες από 55°C έως 65°C. Έπειτα επέρχεται η μεσόφιλη φάση (35°C - 45°C), στην οποία συνεχίζει η αποικοδόμηση της οργανικής μάζας με σταθερό ρυθμό. Στη φάση αυτή η πτώση της θερμοκρασίας κάτω των 20°C προκαλεί επιβράδυνση της βιοαποικοδόμησης (Λαζαρίδη, 2000).

### 1.2.4 Υγρασία

Η υγρασία της μάζας, όπως προαναφέρθηκε συσχετίζεται με τον ρυθμό του αερισμού. Εμπειρικά έχει φανεί ότι η καλύτερη υγρασία για την διεργασία της κομποστοποίησης είναι 40% με 65%. Υγρασία κάτω από 40% προκαλεί

επιβράδυνση της βιοαποικοδόμησης, ενώ αντίθετα η αυξημένη υγρασία ευνοεί την επικράτηση αναερόβιων συνθηκών (Λαζαρίδη, 2000).

### 1.2.5 Λόγος άνθρακα /άζωτο (C/N)

Η σχέση άνθρακα / αζώτου επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα της βιοαποδόμησης. Η βέλτιστη αναλογία έχει υπολογιστεί ότι είναι 25:1. Για το λόγο αυτό συχνά σε διάφορα απορρίμματα γίνεται προσπάθεια βελτίωσης την αναλογίας αυτής με προσθήκη αζωτούχων ενώσεων (Φραγγελάκης, 2006).

### 1.2.6 Τιμές pH

Το ιδανικό pH για την διεργασία της κομποστοποίησης θεωρείται ότι είναι από 5,5 έως και 8,5. Κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης το pH στην αρχή μειώνεται λόγω της δράσης των οξυγενών βακτηρίων, ενώ έπειτα στη δεύτερη φάση σταθεροποιείται (Μανιός, 2009).

### 1.2.7 Σύνοψη

Έγινε σαφές από όλα τα παραπάνω ότι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση είναι η υφή των πρώτων υλών, η θερμοκρασία που επικρατεί κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης, η υγρασία, το pH, η ύπαρξη οξυγόνου καθώς και η αναλογία C/N. Η θερμοκρασία είναι ένας ουσιαστικός παράγοντας στην κομποστοποίηση επειδή βοηθά στην επίσπευση της διαδικασίας κομποστοποίησης και στην εξάλειψη των παθογόνων οργανισμών (Hafeez, Gupta & Gupta, 2018).

Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης όταν αναπτύσσονται στους 20–40°C θεωρούνται μεσόφιλοι,

ενώ στους 40–70°C είναι θερμοφιλοι (Chennaou et al., 2018). Οι μεσόφιλοι διασπών αρχικά τις εύκολα αποικοδομήσιμες ενώσεις που υπάρχουν στα απόβλητα, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία στο κομπόστ. Ακόμη, ο όγκος των αποβλήτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία επηρεάζει μερικές φορές τη θερμοκρασία (παραγωγή θερμότητας). Εάν ο όγκος των απορριμμάτων είναι χαμηλός, η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να μην επιτευχθεί.

Η αναλογία C:N στο 30 είναι η καλύτερη δυνατή για την κομποστοποίηση (Yan et al., 2015). Σε περίπτωση χαμηλής αναλογίας C:N, ο αέρας δεν θα διεισδύσει στο σωρό, γεγονός που οδηγεί σε αναερόβιες συνθήκες και προκαλεί παραγωγή οσμής εκτός από απώλεια αζώτου με τη μορφή αερίου αμμωνίας. Αντίθετα, σε περιπτώσεις υψηλής αναλογίας C/N, οι δραστηριότητες των μικροοργανισμών θα μειωθούν και ο ρυθμός αποσύνθεσης θα γίνει ασύμφορα αργός (Artemio et al., 2018).

Η παρουσία οξυγόνου είναι επίσης ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κατά την κομποστοποίηση. Όταν οι οργανισμοί οξειδώνουν τον άνθρακα για να σχηματίσουν ενέργεια, το οξυγόνο αυτό καταναλώνεται. Χωρίς επαρκές οξυγόνο, η όλη διαδικασία της κομποστοποίησης μετατρέπεται σε αναερόβια και αυτό οδηγεί σε παραγωγή αερίων όπως το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα και η αμμωνία. Όταν παράγονται τα αέρια αυτά γίνεται αντιληπτό λόγω των ανεπιθύμητων οσμών.

Επιπρόσθετα, το pH των υλικών που είναι υπό κομποστοποίηση επηρεάζει την ταχύτητα της όλης διαδικασίας. Το αλκαλικό pH θεωρείται το καλύτερο για την κομποστοποίηση, διότι όταν το pH είναι όξινο οι μικροοργανισμοί καταστρέφονται και η διαδικασία γίνεται αργή ή και σταματάει (Ameen, Ahmad & Raza, 2016).

Η υγρασία είναι και αυτή ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στη διαδικασία της κομποστοποίησης και θα πρέπει να κυμαίνεται από 40% έως 60% (Ameen, Ahmad & Raza, 2016). Πιθανή περίσσεια νερού οδηγεί σε μείωση της διάχυσης του οξυγόνου και αυτό, με τη σειρά του, μειώνει τις μεταβολικές

δραστηριότητες των οργανισμών. Δεδομένου ότι τα μικρόβια εξαρτώνται απόλυτα από το νερό, ο μεταβολισμός οργανικών μορίων από μικροοργανισμούς είναι εφικτός μόνο όταν αυτά διαλύονται πρώτα μέσα στο νερό. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι καθώς προχωράει η όλη διαδικασία της κομποστοποίησης η υγρασία πέφτει (Chennaou et al., 2018).

Επίσης σημαντικό είναι και το μέγεθος των σωματιδίων που κομποστοποιούνται. Ιδανικά θεωρούνται τα σωματίδια διαμέτρου 1 - 2 ίντσες, διότι διαθέτουν μεγάλη επιφάνεια και έτσι ενισχύεται η μικροβιακή δραστηριότητα. Θα πρέπει βέβαια να αναφερθεί, ότι τα ιδιαίτερα μικρά σωματίδια είναι πιθανό να μειώσουν την κίνηση του οξυγόνου και κατ' επέκταση τον ρυθμό της κομποστοποίησης (Zhao et al., 2017). Επιπλέον, το μικροσκοπικό μέγεθος σωματιδίων ενθαρρύνει τη διατήρηση της υγρασίας και μειώνει τον εναέριο χώρο, γεγονός που πάλι μειώνει τον ρυθμό της κομποστοποίησης. Σε γενικές γραμμές τα οργανικά υλικά που έχουν σκληρή υφή και μεγάλη περιεκτικότητα λιγνίτη, όπως τα σκληρά φύλλα ή τα φύλλα με αγκάθια, κομποστοποιούνται αργά (Wilson, 1989).

### 1.3 Φάσεις της κομποστοποίησης

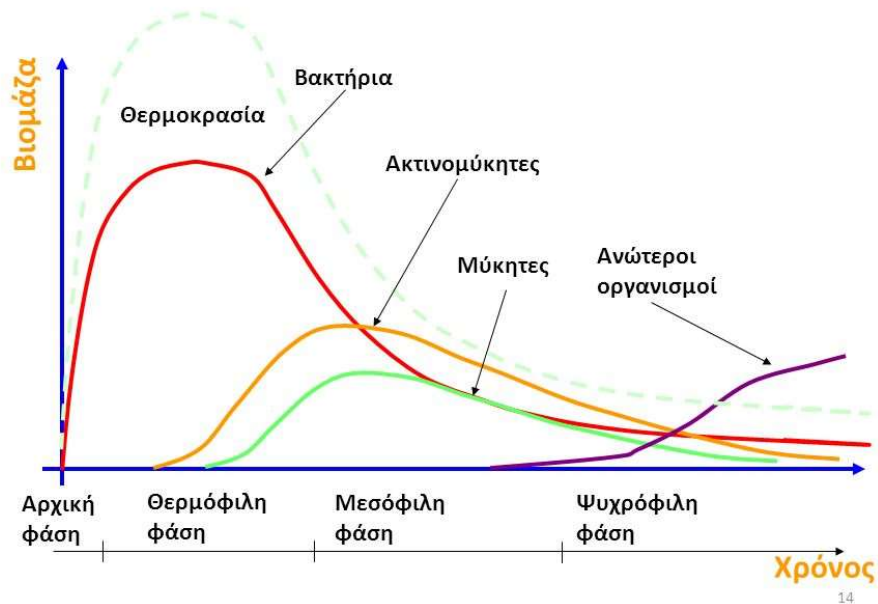
Σύμφωνα με τους Hafeez, et al. (2018), το κύριο συστατικό που είναι υπεύθυνο για τη διαδικασία βιοαποδόμησης κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι η μόνιμη μικροβιακή κοινότητα. Η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα από τη δραστηριότητα μιας μικτής μικροβιακής κοινότητας. Από όλους τους μικροοργανισμούς που λέγεται ότι υπάρχουν στην κομποστοποίηση, τα βακτήρια και οι μύκητες έχουν τον υψηλότερο πληθυσμό (Galitskaya et al., 2017).

Στην κομποστοποίηση, εμπλέκονται δύο διαφορετικές ομάδες αερόβιων μικροοργανισμών. Η πρώτη ομάδα είναι οι μεσόφιλοι οργανισμοί, ενώ η δεύτερη



είναι οι θερμοφιλοι οργανισμοί. Αυτοί οι οργανισμοί θα μπορούσαν να είναι βακτήρια, ακτινομύκητες και ζυμομύκητες και κυριαρχούν σε διαφορετικές φάσεις της κομποστοποίησης. Το μεσόφιλο στάδιο, το θερμοφιλο στάδιο και το δεύτερο μεσόφιλο στάδιο, το οποίο είναι γνωστό ως στάδιο ψύξης, είναι οι σημαντικές φάσεις στη διαδικασία κομποστοποίησης. Η διαδικασία κομποστοποίησης θα μπορούσε να ξεκινήσει με ένα μεσόφιλο στάδιο όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 20–40°C. Το θερμοφιλο στάδιο έρχεται μετά το μεσόφιλο στάδιο. Στο θερμοφιλο στάδιο (40–70°C), λαμβάνει χώρα η ενεργή αποσύνθεση σε σύγκριση με το μεσόφιλο στάδιο (Hafeez et al., 2018). Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, οι μεσόφιλοι οργανισμοί σκοτώνονται ή αδρανοποιούνται και ο πληθυσμός και η ποικιλία των θερμοφίλων και/ή των θερμοανεκτικών βακτηρίων, των ακτινομυκήτων και των μυκήτων αυξάνεται (Chennaou et al., 2018).

## Φάσεις κομποστοποίησης



## Εικόνα 2. Φάσεις κομποστοποίησης <sup>1</sup>

Το δεύτερο μεσόφιλο στάδιο είναι επίσης γνωστό ως φάση σκλήρυνσης και έρχεται μετά το θερμόφιλο στάδιο. Σε αυτό το στάδιο, το κομπόστ ωριμάζει. Οι ακτινομύκητες έχουν παρατηρηθεί να έχουν βιοαποικοδομητική δράση, εκκρίνοντας ένα ευρύ φάσμα εξωκυτταρικών ενζύμων. Έχουν επίσης την ικανότητα να μεταβολίζουν ανυπόφορα μόρια (Limaye et al., 2017).

Ορισμένοι μικροοργανισμοί που αποικοδομούν τις λιγνοκυτταρίνες εμπλέκονται στην κομποστοποίηση. Η λιγνοκυτταρίνη περιλαμβάνει πολυσακχαρίτες (κυτταρίνη και ημικυτταρίνη), φαινολικό πολυμερές και λιγνίνη (Ghanbarzadeh & Almasi, 2013). Η ικανότητα των οργανισμών να αποικοδομούν την οργανική ύλη εξαρτάται από την ικανότητά τους να παράγουν ένζυμα που χρειάζονται για την αποικοδόμηση των συστατικών του υποστρώματος (κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη). Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα υπόστρωμα, τόσο πιο πολύπλοκο είναι και το ένζυμο που απαιτείται για τη βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης (Ogbonna et al., 2015). Οι Singh και Nain (2014) αποκάλυψαν ότι εκατοντάδες μύκητες είναι επίσης ικανοί να αποικοδομούν τη λιγνοκυτταρίνη. Οι μύκητες μαλακής σήψης (*Chaetomium*, *Ceratocystis* και *Kretzschmaria deusta*) είναι ικανοί να αποσυνθέσουν την κυτταρίνη αλλά αποδομούν τη λιγνίνη αργά και ατελώς. Επομένως, η ρύθμιση και ο έλεγχος αυτών των μικροοργανισμών μπορεί να βοηθήσει στην επιτάχυνση του ρυθμού κομποστοποίησης.

Το κομπόστ είναι ουσιαστικά μια διαδικασία ανοργανοποίησης κατά την οποία μια σειρά αερόβιων οργανισμών αποικοδομεί τις οργανικές ύλες σε ανόργανες ενώσεις με ένα σταθεροποιημένο χουμικό οξύ ως κύριο τελικό προϊόν. Τα τρία κύρια κλάσματα του χούμου είναι το φουλβικό οξύ, το χουμίνιο και το χουμικό οξύ. Το χούμο περιέχει:

---

<sup>1</sup> <https://slideplayer.gr/slide/11185869/>

- Αμινοξέα
- Πουρίνες
- Πυριμιδίνες
- αρωματικές ουσίες
- ουρονικά οξέα
- αμινοζάχαρα
- πεντόζες
- εξόζες
- σάκχαρα
- αλκοόλες
- μεθυλοσάκχαρο
- και αλειφατικά οξέα.

Επιπλέον, κατά την κομποστοποίηση, εκλύονται CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> και PO<sub>4</sub>. Αυτά απελευθερώνονται σε αέριες μορφές παρουσία οξυγόνου (αερόβιες συνθήκες). Τέλος, ο ρόλος των εντόμων στην κομποστοποίηση δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Μπορούν είτε να υπάρχουν μη σκόπιμα (Jalal, Hanna & Shekha, 2019) σκόπιμα. Διαφορετικά είδη εντόμων όπως το Black Soldier Fly (BSF) (Purkayastha et al., 2017), τα ιαπωνικά σκαθάρια (Pinero et al., 2020), ο γρύλος (Ozdemir et al., 2019), οι Milichiidae (Morales & Wolff, 2010) και οι προνύμφες της οικιακής μύγας (Wang et al., 2016). Από όλα αυτά τα είδη, το BSF είναι το πιο δημοφιλές, λόγω της ικανότητάς του να υποβαθμίζει ένα ευρύ φάσμα υποστρωμάτων (Wang & Shelomi, 2017). Τέλος, τα έντομα έχουν την ικανότητα να εκφυλίζουν μεγάλα βιομόρια από απόβλητα και να τα μετατρέπουν σε διάφορες μορφές θρεπτικών ουσιών (Fowles et al., 2020).

#### **1.4 Τεχνικές και συστήματα κομποστοποίησης**

Τα συστήματα κομποστοποίησης ομαδοποιούνται αρχικά σε συστήματα

σε σειράδια και σε κλειστά συστήματα. Στην πρώτη κατηγορία το υλικό συγκεντρώνεται αρχικά σε σωρούς (Rynk, 1992), σε εξωτερικό αλλά και σε εσωτερικό χώρο (Haug, 1993). Αντίθετα στα κλειστά συστήματα χρησιμοποιούνται διάφοροι αντιδραστήρες για την διεργασία της κομποστοποίησης (Chalmers, & Storey, 1998). Έτσι λοιπόν υπάρχουν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι κομποστοποίησης, που η κάθε μία τους διαθέτει κάποια πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματά. Επομένως, η μέθοδος που ταιριάζει καλύτερα στον στόχο του ερευνητή και το είδος του υλικού που θα κομποστοποιηθεί υπαγορεύει τη μέθοδο κομποστοποίησης που πρέπει να υιοθετηθεί. Μερικές από τις μεθόδους κομποστοποίησης απαριθμούνται παρακάτω.

#### **1.4.1 Indian Bangalore**

Η μέθοδος κομποστοποίησης Indian Bangalore αναπτύχθηκε στο Bangalore της Ινδίας και για αυτό ονομάστηκε έτσι. Η κομποστοποίηση πραγματοποιείται με το σκάψιμο τάφρων ή λάκκων βάθους περίπου ενός μέτρου όπου οργανικά υπολείμματα και νυχτερινό χόμα τοποθετούνται σε στρώματα κατ' εναλλαγή (Misra, Roy & Hiraoka, 2003). Ο λάκκος τελικά καλύπτεται με ένα στρώμα απορριμμάτων πάχους 15–20 cm. Τα υλικά αφήνονται στο λάκκο χωρίς γύρισμα ή πότισμα για διάρκεια τριών μηνών. Κατά την χρονική αυτή περίοδο, υπάρχει μείωση του όγκου των υλικών, και περισσότερο χόμα και απορρίμματα τοποθετούνται από πάνω σε στρώματα κατ' εναλλαγή και καλύπτονται με λάσπη ή χόμα για να αποφευχθεί η απώλεια υγρασίας και η αναπαραγωγή μυγών. Αυτός ο τύπος κομποστοποίησης διαρκεί περίπου έξι έως οκτώ μήνες για να ληφθεί το τελικό προϊόν (Misra, Roy & Hiraoka, 2003).

#### **1.4.2 Κομποστοποίηση Vessel**

Η κομποστοποίηση αυτή σε σκάφος αναφέρεται σε κάθε τύπο κομποστοποίησης που πραγματοποιείται σε κλειστό χώρο όπως δοχείο ή κτίριο. Οι μέθοδοι εντός του σκάφους εξαρτώνται από μια ποικιλία τεχνικών εξαναγκασμένου αερισμού και μηχανικής στροφής για την ενίσχυση της διαδικασίας κομποστοποίησης. Αυτή η μέθοδος είναι εντατική και δαπανηρή (Gonawala & Jardosh, 2018).

#### **1.4.3 Windrow Composting**

Η τεχνική αυτή πραγματοποιείται με την τοποθέτηση πρώτων υλών σε μακρόστενες στοίβες οι οποίες περιστρέφονται τακτικά. Η ανάμειξη των υλικών επιτρέπει τον καλό αερισμό του. Μια τυπική εγκατάσταση κομποστοποίησης θα πρέπει να ξεκινά από 3 πόδια ύψος για πυκνά υλικά όπως κοπριά και 12 πόδια ύψος για υλικά όπως φύλλα. Αποτελεί μια μέθοδο δύσκολη και δαπανηρή στην υποστήριξη, αλλά είναι γρήγορη και διατηρεί τη θερμότητα. (Gonawala & Jardosh, 2018).

#### **1.4.4 Βερμικομποστοποίηση**

Ο όρος αναφέρεται στη χρήση γαιοσκωλήκων για την κομποστοποίηση αποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών (Arumugam et al., 2017). Οι γαιοσκώληκες μπορούν να αποικοδομήσουν σχεδόν όλα τα είδη οργανικής ύλης επειδή τρέφονται με αυτά. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι γαιοσκώληκες που ζυγίζουν 0,1 κιλό μπορούν να τρώνε 0,1 κιλό υπολειμμάτων την ημέρα! Τα εκκρίματα των σκουληκιών είναι πλούσια σε νιτρικά άλατα, καθώς και διαθέσιμες μορφές φωσφόρου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου, που βελτιώνουν τη γονιμότητα του εδάφους. Η ύπαρξη γαιοσκωλήκων στο έδαφος ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων και ακτινομυκήτων (Bhat et al., 2018).

#### **1.4.5 Στατική Κομποστοποίηση**

Αποτελεί μια παραδοσιακή μέθοδο κομποστοποίησης όπου τα απόβλητα κομποστοποιούνται αερόβια, χρησιμοποιώντας παθητικό αερισμό. Αυτή η μέθοδος είναι χρονοβόρα, αν και είναι ένας απλός τρόπος κομποστοποίησης, ο οποίος έχει χαμηλό λειτουργικό και κεφαλαιουχικό κόστος σε σύγκριση με την κομποστοποίηση vermicomposting, windrow και Indian Bangalore. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει απλώς το σχηματισμό ενός σωρού πρώτων υλών και έχει χαμηλή απαίτηση εργασίας και εξοπλισμού. Ο αερισμός βασίζεται κυρίως στην παθητική κίνηση του αέρα μέσω του σωρού, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται αργά η οργανική ύλη (Gonawala & Jardosh, 2018).

#### **1.4.6. Κομποστοποίηση Φύλλων**

Η κομποστοποίηση φύλλων διαθέτει το πλεονέκτημα της αποσύνθεσης οργανικού υλικού χωρίς να δημιουργείται σωρός κομποστοποίησης. Σε αυτή τη μέθοδο, οργανικές ουσίες όπως φύλλα, υπολείμματα κήπου, αποκόμματα γρασιδιού, ζιζάνια και φυτικές τροφές απλώνονται αραιά απευθείας στο έδαφος. Τα οργανικά υλικά στη συνέχεια οργώνονται με μια τσάπα ή φτυάρι και αφήνονται εκεί να αποσυντίθενται. Μία ή περισσότερες στρώσεις οργανικού υλικού(ων) απλώνονται στην περιοχή καλλιέργειας, ποτίζονται καλά και αφήνονται να αποσυντεθούν μέχρι τη στιγμή της φύτευσης. Η μέθοδος είναι φθηνή και απλή (Misra, Roy & Hiraoka, 2003).

#### **1.4.7 Ινδική κομποστοποίηση Indore**

Η μέθοδος Indian Indore περιλαμβάνει ένα μείγμα πρώτων υλών όπως φυτικά υπολείμματα, ζωική κοπριά και ούρα, γη, τέφρα ξύλου και νερό. Όλα τα οργανικά απόβλητα που διατίθενται σε ένα αγρόκτημα, όπως ζιζάνια, μίσχοι, πεσμένα φύλλα ή υπολείμματα χορτονομής γίνονται ένα στρώμα πάχους περίπου

15 cm έως ότου ο σωρός φτάσει περίπου το ενάμισι μέτρο. Ο σωρός κόβεται σε κάθετες φέτες των 20-25 kg περίπου. Η στρωμνή μεταφέρεται στους λάκκους κομποστοποίησης και γεμίζεται στρώμα-στρώμα μέσα σε μια εβδομάδα. Πάνω από τα υλικά του λάκκου πασπαλίζεται αρκετή ποσότητα νερού. Η ενυδάτωση του κομπόστ γίνεται μόνο τρεις φορές σε όλη την περίοδο της κομποστοποίησης. Και συγκεκριμένα την δέκατη πέμπτη μέρα μετά την στοίβαξη του λάκκου κομποστοποίησης, τις επόμενες 15 ημέρες μετά την πρώτη ενυδάτωση και τέλος μετά από ένα μήνα μετά την πρώτη ενυδάτωση. Αυτή η μέθοδος είναι εντατική και χρονοβόρα. Είναι επίσης επιρρεπής στις μύγες και σε διαταραχές των παρασίτων και ο άνεμος μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια θρεπτικών συστατικών (Misra, Roy & Hiraoka, 2003).

#### **1.4.8 Berkley Rapid Composting**

Αυτή είναι μια γρήγορη μέθοδος κομποστοποίησης. Εδώ, τα υλικά κομποστοποιούνται πιο γρήγορα εάν το μέγεθος είναι μεταξύ 0,5-1,5 ίντσες σε μέγεθος. Οι μαλακοί, χυμώδεις ιστοί δεν χρειάζεται να τεμαχιστούν σε πολύ μικρά κομμάτια γιατί αποσυντίθενται γρήγορα. Όσο πιο σκληροί είναι οι ιστοί, τόσο μικρότεροι πρέπει να τεμαχιστούν για να ενισχυθεί η αποσύνθεση. Μόλις ξεκινήσει ένας σωρός, δεν πρέπει να προστεθεί τίποτα γιατί χρειάζεται ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να σπάσουν τα αρχικά υλικά, και οτιδήποτε προστίθεται πρέπει να ξεκινά από το αρχικό στάδιο διάσπασης — επιμηκύνοντας έτσι τον χρόνο αποσύνθεσης για ολόκληρο το σωρό (Misra, Roy & Hiraoka, 2003).

### **1.5 Χρήσεις κομποστ και οφέλη**

Τα κύρια πλεονεκτήματα του κόμποστ είναι η αύξηση της γονιμότητας του εδάφους, της απόδοσης των καλλιεργειών, του ελέγχου της διάβρωσης και της τροποποίησης του εδάφους. Σύμφωνα με τους Majbar, et al. (2018), το

κομπόστ βοηθά στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και της απόδοσης των φυτών. Επιπρόσθετα, η συμπλήρωση κομπόστ με συνθετικό λίπασμα μπορεί να είναι μια άλλη οδός εφαρμογής του κομπόστ για την ανάπτυξη των φυτών. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι το συνθετικό λίπασμα μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικό από το κομπόστ στην προαγωγή της ανάπτυξης των φυτών (Pampru et al., 2017). Ως εκ τούτου, συχνά προτείνεται η συνδυαστική εφαρμογή των δύο σε κατάλληλες αναλογίες.

Τα βακτήρια του κόμποστ προάγουν την ανάπτυξη των φυτών, τα οποία μπορούν να κάνουν το έδαφος πιο γόνιμο και έτσι ιδανικό για την καλλιέργεια πολλών φυτών.

Σημαντική ποσότητα αζώτου, φωσφόρου και καλίου χάνεται λόγω της διάβρωσης. Το κομπόστ αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού και βοηθάει τη δομή του εδάφους και τη σταθερότητα των αδρανών του στοιχείων (Gonawala & Jardosh, 2018). Αυτό οφείλεται στην παρουσία χούμου (σταθερό υπόλειμμα που προκύπτει από υψηλό βαθμό αποσύνθεσης οργανικής ύλης) που συνδέεται με το έδαφος και λειτουργεί ως «κόλλα» του εδάφους συγκρατώντας τα συστατικά του εδάφους μαζί (Epelde et al., 2018).

Επιπρόσθετα με το κόμποστ γίνεται βιοέλεγχος ασθενειών, βιοαποκατάσταση και ασφαλής διαχείριση απορριμμάτων. Με άλλα λόγια το κομπόστ χρησιμεύει ως βιολογικός έλεγχος για τις ασθένειες των φυτών. Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο κομπόστ χρησιμοποιούν διαφορετικούς μηχανισμούς για την καταπολέμηση των παθογόνων ομολόγων τους. Αυτά περιλαμβάνουν τον ανταγωνισμό για θρεπτικά συστατικά, τον παρασιτισμό, τη θήρευση, την παραγωγή αντιβιοτικών, την παραγωγή λυτικών και άλλων εξωκυτταρικών ενζύμων ή ενώσεων (Olanrewaju, Glick & Babalola, 2017). Για παράδειγμα, ο έλεγχος του μαρασμού των φυτών και των ασθενειών απόσβεσης αναφέρθηκε ότι αντιμετωπίζεται από το *Bacillus* sp. σε κομπόστ (Lin et al., 2014).

Ακόμη, το έδαφος που έχει μολυνθεί με βαρέα μέταλλα μπορεί να



αποκατασταθεί με κομπόστ. Το κομπόστ έχει φανεί χρήσιμο στην αποικοδόμηση χλωριωμένων και μη χλωριωμένων υδρογονανθράκων, χημικών συντηρήσεων ξύλου, διαλυτών, βαρέων μετάλλων, φυτοφαρμάκων, προϊόντων πετρελαίου και εκρηκτικών στο έδαφος. Το κομπόστ μπορεί να μειώσει την τοξικότητα ορισμένων χημικών ρύπων απορροφώντας ή υποβαθμίζοντας τέτοια στοιχεία (Huang et al., 2017). Τα βαρέα μέταλλα μπορεί να μην είναι διαθέσιμα με κατακρήμνιση (Kato et al., 2014), προσρόφηση (Soares et al., 2016), συμπλοκοποίηση (Tsang et al., 2014) και αντιδράσεις οξειδοαναγωγής (Zhang et al., 2013). Όμως η κομποστοποίηση αποτελεί έναν ασφαλή τρόπο διαχείρισης των αποικοδομήσιμων οργανικών αποβλήτων. Τα απόβλητα που θα μπορούσαν να πεταχτούν σε υδάτινα σώματα, στις πλευρές των δρόμων ή ακόμα και να καούν μπορούν να κομποστοποιηθούν (Khater, 2015).

Βέβαια θα πρέπει να αναφερθεί ότι για να είναι χρήσιμο το κόμποστ και να μπορεί να προσφέρει τα παραπάνω πλεονεκτήματα, θα πρέπει να διατεθεί στη βέλτιστη ποσότητα που θα παρέχει επαρκή θρεπτικά συστατικά στα φυτά. Αρχικά, όσον αφορά το άζωτο, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών. Όταν υπάρχει έλλειψη αζώτου, η ανάπτυξη των φυτών είναι μειωμένη. Το άζωτο είναι ένα σημαντικό συστατικό της χλωροφύλλης και υπεύθυνο για το πράσινο χρώμα στα φυτά. Το κομπόστ έχει αναφερθεί ότι περιέχει τη βέλτιστη περιεκτικότητα σε N που απαιτείται για την ανάπτυξη των φυτών (Khater, 2015). Η υψηλή συσσώρευση αζώτου στο λίπασμα κομποστοποίησης δεν είναι σύνηθες φαινόμενο επειδή λόγω της ανοργανοποίησης, τα θρεπτικά συστατικά στο λίπασμα κομποστοποίησης απελευθερώνονται σταδιακά. Η περίσσεια αζώτου στα φυτά λόγω της υπερβολικής εφαρμογής λιπάσματος μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία ανάπτυξη, λαμπερό πράσινο χρώμα και μειωμένο ριζικό σύστημα. Σε ακραίες περιπτώσεις, η περίσσεια αζώτου μπορεί να προκαλέσει το κάψιμο του ιστού των φύλλων και το θάνατο του φυτού. Η έλλειψη αζώτου προκαλεί απώλεια του πράσινου χρώματος των φύλλων, καθυστερημένη ανάπτυξη, χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και κίτρινο χρωματισμό (Loks et al., 2014). Όσον αφορά τον φώσφορο, είναι

συστατικό της σύνθετης δομής νουκλεϊκού οξέος των φυτών, το οποίο ρυθμίζει την πρωτεϊνοσύνθεση. Επομένως, ο φώσφορος είναι σημαντικός για τη δημιουργία νέου ιστού και σύνθετων ενεργειακών μετασχηματισμών της κυτταρικής διαίρεσης του φυτού. Η προσθήκη φωσφόρου στο έδαφος με χαμηλή περιεκτικότητα προάγει την ανάπτυξη των ριζών, τη χειμερινή ανθεκτικότητα, διεγείρει την άροση και συχνά επιταχύνει την ωριμότητα στα φυτά. Η ανεπάρκεια φωσφόρου μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερημένη ανάπτυξη, κακή ανάπτυξη σπόρων και καρπών, καθυστερημένη ωρίμανση και αλλαγή στο χρώμα των ωριμασμένων φύλλων σε χαρακτηριστικό σκούρο μπλε έως μπλε-πράσινο. Το κομπόστ έχει αναφερθεί ότι περιέχει τη βέλτιστη συγκέντρωση φωσφόρου που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών (Khater, 2015). Επίσης, όσον αφορά το κάλιο, αποτελεί ένα στοιχείο απαραίτητο για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών. Αυξάνει την ανάπτυξη των φυτών, την περιεκτικότητα σε καροτίνη αλλά και σε χλωροφύλλη (Razaq et al., 2017). Ακόμη, το κάλιο προάγει το σφρίγος και το χρώμα των φυτών. Το κάλιο χρειάζεται για να δημιουργήσει το φυτό σάκχαρα. Είναι επίσης απαραίτητο γιατί βοηθά το φυτό να αντισταθεί στις ασθένειες και να επιβιώσει σε αντίξοες καιρικές συνθήκες όπως η ξηρασία και το κρύο. Η ανεπάρκεια καλίου στα φυτά μπορεί να οδηγήσει σε κάψιμο και μαύρισμα των άκρων των παλαιότερων φύλλων, το οποίο εξελίσσεται στο σύνολο των φύλλων με την πάροδο του χρόνου. Τα αδύναμα στελέχη θα μπορούσαν επίσης να σχετίζονται με ανεπάρκεια καλίου. Σύμφωνα με τους Kammoun, et al. (2017), το κομπόστ είναι καλή πηγή καλίου και φωσφόρου που απαιτείται για την ανάπτυξη των φυτών.



Εικόνα 3. Σωρός κόμποστ Στην Petaluma το 2015<sup>2</sup>

## 1.6 Νομικό πλαίσιο για την κομποστοποίηση

Στη χώρα μας το θεσμικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση αποβλήτων έχει καθοριστεί από τους εξής Νόμους:

«1. Το Ν.4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012) «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος –Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα. Με τον Νόμο αυτό ενσωματώνεται στο εθνικό δίκαιο η οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα (2008/98/ΕΚ) και ρυθμίζεται συνολικά η διαχείριση των αποβλήτων, επικίνδυνων και μη.

2. Το Ν. 2939/2001 (ΦΕΚ 179/Α/06.08.2001) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε με το Ν. 3854/10 (ΦΕΚ

---

<sup>2</sup> <https://www.pressdemocrat.com/article/news/negotiations-for-new-sonoma-county-composting-site-ended-over-financing-iss/>

94/A/23.06.2010) «Τροποποίηση της νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων και τον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις» και το Ν.4042/2012. Ο Νόμος 2939/2001, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει, μαζί με τα κατά εξουσιοδότηση αυτού εκδοθέντα ΠΔ και ΚΥΑ, διαμορφώνει το θεσμικό πλαίσιο για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων (ΟΤΚΖ, ΜΕΟ, ΗΣ&Σ, ΑΣΟΒ, ΑΗΗΕ, ΑΛΕ και ΑΕΚΚ).

Στο εθνικό δίκαιο έχει άμεση ισχύ ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ), σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 2002/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει και έχουν επίσης ενσωματωθεί ειδικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα απόβλητα, όπως:

- η ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572 Β) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ, και
- η ΚΥΑ 36060/1155/Ε.103/2013 - Καθορισμός πλαισίου κανόνων, μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από βιομηχανικές δραστηριότητες, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2010/75/ΕΕ «περί βιομηχανικών εκπομπών (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης)» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 24ης Νοεμβρίου 2010,

Για τη ρύθμιση επιμέρους θεμάτων έχει εκδοθεί σειρά κοινών υπουργικών αποφάσεων, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- ΚΥΑ με αρ. 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν.4042/2012
- ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν. 4042/2012 και

- ΚΥΑ με αρ. 146163//2012 «Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων 1991», που εκδόθηκε κατ' εξουσιοδότηση του άρθρου 38, παρ. 7 του ν. 4042/2012.

Η πρώτη ΚΥΑ που έθεσε τεχνικές προδιαγραφές για τη διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) ήταν η ΚΥΑ 114218/1997. Αναφορικά με το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων, οι προδιαγραφές περιορίζοντουσαν στη γενική λειτουργία της αερόβιας επεξεργασίας, και στα χαρακτηριστικά του παραγόμενου κομπόστ από επεξεργασία σύμμεικτων απορριμμάτων. Πιο συγκεκριμένα, για τις μονάδες κομποστοποίησης η ΚΥΑ προέβλεπε εν συντομία τα παρακάτω:

- Στις μονάδες κομποστοποίησης θα πρέπει να προβλέπεται κεντρικός αεραγωγός με διακλαδώσεις για την αναρρόφηση του αέρα από κάθε κτήριο κομποστοποίησης. Αυτός ο αέρας, εφόσον προηγουμένως διέλθει από υδατοπαγίδες, θα πρέπει να καταλήγει σε φίλτρα απόσμησης (συνήθως βιόφιλτρα).
- Στη ραφιναρία θα πρέπει να υπάρχουν διακλαδώσεις για την αναρρόφηση αέρα από τις ακόλουθες θέσεις: 1) χοάνη υποδοχής του κομπόστ, 2) κόσκινα και 3) λοιπό εξοπλισμό εξευγενισμού. Ο αναρροφούμενος αέρας θα πρέπει να καταλήγει σε φίλτρα αποκονίωσης. Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων αποκονίωσης και μείωσης των οσμών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 98%. Ειδικότερα για τις βαρυσμετρικές τράπεζες ο αέρας εφόσον θα οδηγείται σε κυκλώνα θα καταλήγει τελικά σε φίλτρο αποκονίωσης.
- Η σκόνη των φίλτρων αποκονίωσης θα πρέπει να συλλέγεται σε ειδικούς χώρους και θα διατίθεται έπειτα από στερεοποίηση / σταθεροποίηση. Τα απενεργοποιημένα φίλτρα θα διατίθενται σε ΧΥΤΑ ή θα καίγονται σε ειδικές εγκαταστάσεις οι οποίες θα πληρούν τις προδιαγραφές καθαρισμού των αερίων της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων.
- Τα στραγγίσματα από τη μονάδα κομποστοποίησης θα πρέπει να συλλέγονται και όσα από αυτά δεν επανατρέπονται στο σώμα του

*κομποστοποιημένου υλικού θα πρέπει να οδηγούνται στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της εγκατάστασης».*

## 2. Μεθοδολογία έρευνας

Η παρούσα μελέτη αποτελεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση με θέμα τη «Συγκριτική αξιολόγηση των διαθέσιμων τεχνικών κομποστοποίησης». Ως βιβλιογραφική ανασκόπηση ορίζεται η έρευνα από δευτερογενή δημοσιεύματα που έχει ως κύριο σκοπό το να παρουσιάσει κάποια ήδη δημοσιευμένα δεδομένα συνολικά. Με τον τρόπο αυτό το υπό μελέτη ζήτημα προσεγγίζεται από διάφορες οπτικές και έπειτα λαμβάνει χώρα σύγκριση και ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνει χώρα μια εμπειριστατωμένη προσέγγιση του θέματος.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί περιγραφική ανασκόπηση (Day & Gastel, 2012), και στοχεύει στην ανασκόπηση πρόσφατων άρθρων σχετικά με την κομποστοποίηση και το πώς αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την διαχείριση αποβλήτων.

### 3. Συγκριτική ανάλυση διαχείρισης απορριμμάτων με κομποστοποίηση και συμβατικούς τρόπους: προκλήσεις και ευκαιρίες για το μέλλον

#### 3.1 Κομποστοποίηση και απόβλητα

Η ακατάλληλη διαχείριση των απορριμμάτων είναι επιζήμια για την ανθρώπινη υγεία. Εκτός από αντιαισθητικό θέαμα τα απορρίμματα και οι ρύποι προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση, επηρεάζουν τα υδάτινα σώματα όταν απορρίπτονται στο νερό ή μέσω έκπλυσης, και καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος όταν καίγονται, αυξάνοντας έτσι τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Τα απόβλητα συχνά υφίστανται ακατάλληλη διαχείριση (Aruna et al., 2018; Alam & Ahmade, 2009) χρησιμοποιώντας συμβατικές μεθόδους. Τα απόβλητα καίγονται, απορρίπτονται σε ωκεανούς, υδάτινες οδούς αλλά και στις παρυφές των δρόμων (Ogwueleka, 2009).



Εικόνα 4. Σκουπίδια στις παρυφές των δρόμων<sup>3</sup>

<sup>3</sup> [https://www.researchgate.net/figure/Garbage-dumped-on-the-road\\_fig1\\_318176149](https://www.researchgate.net/figure/Garbage-dumped-on-the-road_fig1_318176149)



Αυτές οι πρακτικές είναι ιδιαίτερα επιζήμιες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο διότι εκεί αναπαράγονται έντομα και παράσιτα, απελευθερώνονται δυσάρεστες οσμές, προκαλείται ένα αντιαισθητικό θέαμα και προωθείται η υπερθέρμανση του πλανήτη όταν λαμβάνει χώρα η καύση τους.

Η μετατροπή των οργανικών (αποικοδομήσιμων) αποβλήτων μπορεί να είναι είτε αερόβια είτε αναερόβια. Όταν μετασχηματίζεται υπό αερόβιες συνθήκες, σχηματίζεται κομπόστ (Lazaridi et al., 2018). Όταν υποβάλλεται σε αναερόβια επεξεργασία, σχηματίζεται βιοαέριο, καθώς και λύματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιολιπάσματα (Khan, Chniti, Owaid, 2018).

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια ασφαλή μέθοδο διαχείρισης των απορριμμάτων. Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία όπου πολύπλοκα αποικοδομήσιμα υλικά αποικοδομούνται και μετασχηματίζονται από μικροοργανισμούς σε οργανικά και ανόργανα υποπροϊόντα (Toledo et al., 2018). Τα υποπροϊόντα περιέχουν ενώσεις «που μοιάζουν με χουμικά» που τα διαφοροποιούν από εκείνα που βρίσκονται στο εγγενές έδαφος, τα κάρβουνα και την τύρφη. Συνεπώς με την κομποστοποίηση μετατρέπονται διάφορα άχρηστα αποβλήτων σε χρήσιμα και ασφαλή προϊόντα (π.χ βιολιπάσματα και βελτιωτικά του εδάφους) (Cai et al., 2007; Bai, Shen & Dong, 2010; Yu et al., 2019).

Σε σύγκριση με την υγειονομική ταφή, η διαδικασία της κομποστοποίησης είναι περιβαλλοντικά φιλικότερα διότι συμβάλει στην προστασία των υπόγειων υδάτων από τη μόλυνση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι επέρχεται μείωση τόσο των μικροβίων όσο και των ρύπων κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης. Τα παθογόνα μικρόβια κατά την κομποστοποίηση θανατώνονται, ενώ αντίθετα τα ευεργετικά μικρόβια απορροφούν χημικές ουσίες όπως POPs και EDRs που παραμένουν στο έδαφος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Έτσι, η εφαρμογή της κομποστοποίησης αυξάνει την αγροτική παραγωγικότητα και την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ύλη (Luo et al., 2017). Λόγω της επαρκούς θρεπτικής ουσίας στα κομποστοποιημένα υλικά και της παρουσίας φυτικών οργανισμών (Pane et al., 2014).

Αυτό βοηθά στη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας σε μεγάλο βαθμό. Εκτός από τη χρήση ως λίπασμα, το κομπόστ είναι χρήσιμο στη βιοαποκατάσταση (Ventorino et al., 2019), στον έλεγχο των ασθενειών των φυτών (Pane et al., 2019), στον έλεγχο των ζιζανίων (Coelho et al., 2019), στην πρόληψη της ρύπανσης (Uvizene et al., 2019), στον έλεγχο της διάβρωσης και στην αποκατάσταση υγροτόπων. Η κομποστοποίηση αυξάνει επίσης τη βιοποικιλότητα του εδάφους και μειώνει τους περιβαλλοντικούς κινδύνους που σχετίζονται με τα συνθετικά λιπάσματα (Pose-Juan et al., 2017). Η κομποστοποίηση ξεκινά και διαχειρίζεται υπό ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και όχι ως μια διαδικασία που είναι φυσική και ανεξέλεγκτη (Cáceres, Malin'ska, Marfà, 2018). Η διαδικασία ελέγχου διαφοροποιεί την κομποστοποίηση από την αποσύνθεση που αποτελεί μια εντελώς φυσική διαδικασία (Hoitink & Fahy, 1986).

Όσο ευεργετική και αν είναι η κομποστοποίηση, θα πρέπει να αναφερθεί ότι χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να είναι έτοιμη, παράγει δυσάρεστες οσμές, απαιτεί μεγάλο χρόνο ανοργανοποίησης, μπορεί να περιέχει κάποια παθογόνα που αντέχουν σε κάποιο βαθμό την υψηλή θερμοκρασία, δηλαδή θερμοανεκτικά παθογόνα και πιθανών να έχει ανεπαρκή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Όλα αυτά έχουν αποθαρρύνει τους αγρότες από το να την ενσωματώσουν ευρέως ως μέσο βιώσιμης γεωργίας. Αυτό έκανε τα χημικά λιπάσματα, που είναι άμεσα διαθέσιμα, να προτιμώνται από την οργανική πηγή, δηλαδή την κομποστοποίηση. Το κομπόστ θα πρέπει να εκτιμάται μετά τη σύγκριση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του. Αρκετές εργασίες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στη γεωπονική αξιολόγηση, τη μικροβιακή μόλυνση και τη θρεπτική σύνθεση του κομπόστ (Aziabile & Koledzi, 2018; Sánchez-Monedero et al., 2019; Sigmund et al., 2018; Tan et al., 2018), παραλείποντας τα αίτια της μεγάλης διάρκειας της κομποστοποίησης και τις τεχνικές για την εξάλειψη των δυσάρεστων οσμών, των παθογόνων και των βαρέων μετάλλων.

Στο παρόν κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μια αξιολόγηση των προκλήσεων που σχετίζονται με την κομποστοποίηση και τις προοπτικές που μπορούν να κάνουν την κομποστοποίηση ευρέως χρησιμοποιούμενη στην βιώσιμη γεωργία. Θα

πρέπει λοιπόν να αναπτυχθούν γρήγορες μέθοδοι για την ανίχνευση παθογόνων και βαρέων μετάλλων, καθώς και τεχνικές παγίδευσης των δυσάρεστων οσμών. Επιπλέον, η ιδέα της αργής κομποστοποίησης οργανικών υλικών θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, έτσι ώστε να εξακριβωθεί εάν θα πρέπει να γίνεται εμπλουτισμός του κόμποστ τόσο με ενεργοποιητές πλούσιους σε θρεπτικά συστατικά, όσο και με αντιβακτηριακούς, αντιμυκητιακούς, αντιϊικούς και αντινηματώδεις παράγοντες.

Αν και η κομποστοποίηση έχει πολλά οφέλη, τα οποία και αναλύθηκαν παραπάνω, αποτελεί μια μέθοδο διαχείρισης απορριμμάτων που θέτει διάφορες προκλήσεις, από τις επιπτώσεις της στην κλιματική αλλαγή έως την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και την εξάντληση του οξυγόνου, καθώς και την παραγωγή δυσάρεστων οσμών από την απελευθέρωση υδρόθειου που παράγεται από αναερόβια δραστηριότητα. Ως αποτέλεσμα αυτών των επιπτώσεων στην υγεία, έχουν θεσπιστεί διάφοροι κανονισμοί από διαφορετικούς φορείς σε διαφορετικές χώρες σχετικά με τη χρήση της μεθόδου της κομποστοποίησης. Αυτοί οι περιορισμοί δείχνουν ότι αυτή η μέθοδος θα πρέπει ακόμα να βελτιωθεί για να χρησιμοποιηθεί ευρέως στην αειφόρο γεωργία.

Η βελτίωση αφορά κυρίως στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και στον έλεγχο της ροής του οξυγόνου. Αυτά είναι τα βασικά για τη λειτουργία των μικροβίων που πραγματοποιούν τη διαδικασία κομποστοποίησης. Τα διάφορα μικρόβια σε κάθε στάδιο έχουν τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν, επομένως πρέπει να παρακολουθούνται καλά και χρειάζονται οξυγόνο ώστε τα αναερόβια μικρόβια να λειτουργούν λιγότερο από τα αερόβια. Η αυξημένη δραστηριότητα των αναερόβιων μικροβίων αυξάνει την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και την απελευθέρωση υδρόθειου, που είναι επιβλαβή για την υγεία αλλά και προκαλούν δυσάρεστες οσμές. Εάν αυτά μπορούν να ταξινομηθούν, τότε υπάρχουν πολλές ευκαιρίες ώστε αυτή η διαδικασία να είναι αποτελεσματική στη σωστή διαχείριση των απορριμμάτων.

### 3.2 Διαχείριση οργανικών αποβλήτων

Περίπου το 50% των αποβλήτων που παράγονται είναι οργανικά (Iman et al., 2008; Getahun et al., 2012; Sharholly et al., 2008). Η σωστή διαχείριση των οργανικών αποβλήτων θα μειώσει δραστικά τον όγκο της ρύπανσης που προκύπτει από την ακατάλληλη διαχείριση τους. Αναλυτικότερα, τα απόβλητα επηρεάζουν το περιβάλλον οδηγώντας σε σοβαρές και επικίνδυνες επιπτώσεις για τη ζωή του ανθρώπου και για το περιβάλλον. Οι άνθρωποι και τα ζώα επηρεάζονται εξίσου από αυτές τις δυσμενείς επιπτώσεις, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν έξαρση ασθενειών, μείωση του προσδόκιμου ζωής και ένα επισφαλές περιβάλλον. Μερικά απόβλητα κατά την καύση τους παράγουν αέριο μεθάνιο, το οποίο συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι επιπτώσεις των αποβλήτων στο περιβάλλον και στην υγεία είναι πλέον ανησυχητικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα απόβλητα μολύνουν τον αέρα, το νερό και το έδαφος. Η ατμοσφαιρική ρύπανση περιλαμβάνει οσμή, καπνό και σκόνη. Όταν καίγονται τα στερεά απόβλητα, απελευθερώνονται αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα αλλά και το υποξείδιο του αζώτου, που οδηγούν σε καταστροφή του στρώματος του όζοντος και προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Bhat et al., 2018).

Στον αέρα απελευθερώνονται επίσης υδρόθειο και μεθάνιο. Αυτές οι ουσίες είναι τοξικές για τις ανθρώπινες ζωές. Μια άλλη περιβαλλοντική επίδραση των αποβλήτων είναι η ρύπανση των υδάτων. Αναφέρεται ότι περίπου 1400 άνθρωποι πεθαίνουν καθημερινά λόγω προβλημάτων/ασθενειών που σχετίζονται με το νερό (Khan, Suleman & Asad, 2019). Τα απόβλητα που βρίσκουν το δρόμο τους σε υδάτινα σώματα όπως ποτάμια, ρυάκια και ωκεανούς μπορεί να έχουν διασπαστική επίδραση στα υδατικά συστήματα μειώνοντας το pH τους και προκαλώντας τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς και στους ανθρώπους που χρησιμοποιούν το νερό. Ορισμένοι από αυτούς τους ρύπους είναι λιγότερο διαλυτοί στο νερό και είναι εξαιρετικά λιπόφιλοι (Varjani, Gnansounou & Pandey, 2017).

Διάφορες μελέτες έχουν δείξει την παρουσία τοξικών μετάλλων [31-33] σε υδάτινα σώματα (Holanda & Johnson, 2020; Corral-Bobadilla et al., 2019; Sahay et al., 2019).

Η ρύπανση του εδάφους μπορεί επίσης να προκύψει από ακατάλληλη διαχείριση των απορριμμάτων. Τα απόβλητα που απορρίπτονται αδιακρίτως είναι αντιαισθητικά ως θέαμα αλλά αποτελούν και φορείς ασθενειών. Επιπρόσθετα κάποια απόβλητα (π.χ ραδιενεργά) είναι τοξικά για τους οργανισμούς και τα φυτά του εδάφους, μειώνοντας έτσι την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και αποτελώντας απειλή ακόμα και για την ανθρώπινη ζωή (Mani & Kumar, 2014).

Οι ανθρώπινες ασθένειες προκύπτουν από ακατάλληλα επεξεργασμένα απόβλητα που φιλοξενούν φορείς ασθενειών. Τα κουνούπια αναπαράγονται σε στάσιμα υδάτινα σώματα, σε φραγμένες αποχετεύσεις, σε ελαστικά που συλλέγουν νερό της βροχής, σε άδεια δοχεία τροφίμων, κ.λπ. , καθώς και λοιμώξεις από παράσιτα που προκαλούνται από την επαφή του δέρματος με τα απορρίμματα (Alam & Ahmande, 2013).

Αν και οι εργαζόμενοι τις περισσότερες φορές λαμβάνουν προστατευτικά μέτρα όπως γάντια, μάσκες και στολές, θα πρέπει να βρεθούν τρόποι έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επαφή τους με τα απορρίμματα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στην Αυστραλία, οι Langdon, et al. (2019) μελέτησαν την εκτίμηση κινδύνου για οργανικούς ρύπους στα κομποστοποιημένα στερεά αστικά απόβλητα. Στη μελέτη τους, κατάφεραν να κατηγοριοποιήσουν τα επίπεδα κινδύνου σε χαμηλή, μεσαία και υψηλή προτεραιότητα, με βάση τις επιπτώσεις τους στην υγεία. Από αυτό, μπορούν να ληφθούν μέτρα που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο οι επιμέρους τοξικές ουσίες από αυτά τα απόβλητα μπορούν να απορριφθούν σωστά και αποτελεσματικά, χωρίς να αποτελούν κίνδυνο για το περιβάλλον αλλά και για την ανθρώπινη υγεία.

Σε μια άλλη μελέτη των Gangwar, et al. (2019), διερευνήθηκε ο αντίκτυπος των ηλεκτρονικών απορριμμάτων στην ανθρώπινη υγεία και η απελευθέρωση διαφόρων τοξικών μετάλλων στον αέρα. Άλλες μελέτες έχουν

επίσης αναφέρει την επίδραση αυτών στο οικοσύστημα και στον άνθρωπο εγείροντας πολλές ανησυχίες (Ali et al., 2019; Herrero et al., 2020; Mohammed et al., 2019; Yu et al., 2019).

### **3.2.1 Ταξινόμηση αποβλήτων σύμφωνα με τη βιοαποδομησιμότητα**

Με βάση τη βιοαποδομησιμότητα, τα απόβλητα μπορούν να ταξινομηθούν σε βιοαποδομήσιμα, μέτρια αποικοδομήσιμα και μη βιοαποδομήσιμα. Οι αερόβιοι και αναερόβιοι οργανισμοί δρουν στα βιοαποδομήσιμα απόβλητα ως αποτέλεσμα της επιτάχυνσης του ρυθμού αποικοδόμησής τους. Ορισμένα γεωργικά απόβλητα όπως η κοπριά αγελάδων, τα περιττώματα πουλερικών κ.λπ. αποτελούν παραδείγματα βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (Bhat et al., 2018). Τα μέτρια αποικοδομήσιμα απόβλητα είναι απόβλητα που αποικοδομούνται αργά και έχουν συστατικά με σκληρή υφή. Παραδείγματα τέτοιων απορριμμάτων αποτελούν το ξύλο και τα χαρτόνια (Bhat et al., 2018). Μη βιοδιασπώμενο απόβλητα, είναι αυτά που δεν μπορούν να αποικοδομηθούν βιολογικά (Alam & Almade, 2013). Παραδείγματα μη βιοαποδομήσιμων αποβλήτων είναι τα απόβλητα των ορυχείων, τα ορυκτά υλικά, οι σακούλες πολυαιθυλενίου, τα δέρματα, τα πλαστικά κ.α.

### **3.2.2 Μέθοδοι Διάθεσης Απορριμμάτων**

Τα απόβλητα θα μπορούσαν να κομποστοποιηθούν ή να απορριφθούν με τη χρήση συμβατικών μεθόδων. Παρακάτω ακολουθεί η ταξινόμηση των μεθόδων διάθεσης απορριμμάτων που περιλαμβάνει τις συμβατικές μεθόδους και τις μεθόδους κομποστοποίησης.

Αρχικά θα πρέπει κανείς να αναφερθεί στην απόρριψη σε ανοιχτή χωματερή. Αυτή είναι μια μέθοδος διάθεσης απορριμμάτων όπου τα απόβλητα απορρίπτονται αδιακρίτως σε οποιονδήποτε διαθέσιμο χώρο. Αυτή η μέθοδος

διάθεσης απορριμμάτων πρέπει να αποθαρρύνεται. Τα απόβλητα που απορρίπτονται μέσω αυτού του τρόπου αποτελούν πηγές ασθενειών και χρησιμεύουν ως τόποι αναπαραγωγής για μύγες και τρωκτικά, τα οποία είναι και αυτά φορείς ορισμένων ασθενειών (π.χ χολέρα). Πέρα από το άσχημο θέαμα προκαλούν επίσης μια δυσάρεστη οσμή (Alam & Almade, 2013).

Μια ακόμη μέθοδος, αποτελεί η απόρριψη απορριμμάτων με διατροφή ζώων. Τα οικόσιτα ζώα όπως οι κατσίκες, οι κότες, οι σκύλοι και τα πρόβατα τρέφονται με υπολείμματα όπως φλούδες φρούτων και λαχανικών, φύλλα και άλλα υπολείμματα τροφών. Βέβαια χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, διότι τα υπολείμματα τροφίμων θα μπορούσαν να μολυνθούν και έτσι να οδηγήσουν σε μόλυνση των ζώων που τρέφονται απευθείας με τα απόβλητα ή των ανθρώπων που τρέφονται με αυτά τα ζώα. Ορισμένες ανθρώπινες ασθένειες έχουν εντοπιστεί από την κατανάλωση ζώων που είχαν προηγουμένως τραφεί με μολυσμένες ζωοτροφές. Για παράδειγμα, η τριχίνωση στους ανθρώπους έχει εντοπιστεί στη μόλυνση των ακατέργαστων σκουπιδιών που χρησιμοποιούνται στη διατροφή των ζώων (Abdel-Shafy & Mansour, 2018).

Επιπρόσθετα, η απόρριψη αποβλήτων σε ποτάμια και ωκεανούς έχει πλέον απαγορευτεί και θα πρέπει ισχυρά να αποτρέπεται. Τα απόβλητα που περιέχουν πολυάριθμες χημικές ουσίες όταν απορρίπτονται σε υδάτινα σώματα μπορεί να καταστήσουν το νερό τοξικό για οδηγήσουν σε θάνατο την υδρόβια ζωή καθώς και για τον άνθρωπο (Ogwueleka, 2009). Θα μπορούσε να υπάρξει βιομεγέθυνση των τοξικών αποβλήτων στον άνθρωπο, η οποία μεταφέρεται από την κατανάλωση ζώων που ζουν σε υδάτινα σώματα (Zahir et al., 2005). Ορισμένες βιομηχανίες βρίσκονται κοντά σε ποτάμια ή ωκεανούς και προβαίνουν για λόγους ευκολίας στη φυσική απόρριψη των λυμάτων τους στα υδάτινα σώματα. Το κάνουν αυτό σε μια προσπάθεια να εξοικονομήσουν το κόστος της διάθεσης των απορριμμάτων. Σε ορισμένες αναπτυσσόμενες και υπανάπτυκτες χώρες, τα σπίτια είναι χτισμένα πάνω στο νερό έτσι ώστε τα απόβλητά τους να πέφτουν απευθείας στα υδατικά συστήματα, τα οποία τελικά τα παρασύρουν. Το νερό που ρέει από αυτήν την πηγή μπορεί να δέχεται νερό σε άλλη τοποθεσία και

μπορεί να χρησιμεύσει ως πηγή παθογόνων μικροοργανισμών που μεταδίδονται στο νερό, τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν μόλυνση σε άτομα που χρησιμοποιούν το νερό για διάφορους οικιακούς σκοπούς. Τέτοια υδατογενή παθογόνα περιλαμβάνουν τα *Vibrio sp.*, *Salmonella sp.* και *Shigella sp.* (Xie, Qiu, & Wang, 2017).

Η απόρριψη απορριμμάτων με αποτέφρωση αποτελεί τη διαδικασία καύσης εύφλεκτων απορριμμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτή η μέθοδος μειώνει τον όγκο τέτοιων απορριμμάτων κατά 90%. Τα υπολείμματα από την καύση υλικών όπως στάχτη, γυαλί και μέταλλα απορρίπτονται στη συνέχεια σε χώρο υγειονομικής ταφής (Alam & Ahmade, 2013). Αυτή η μέθοδος μειώνει μόνο το μέγεθος των απορριμμάτων, αλλά δεν αποτελεί ένα συνολικό μέσο διάθεσης απορριμμάτων και σχετίζεται με την έκλυση αερίων του θερμοκηπίου (Ji et al., 2016). Η μέθοδος αυτή μπορεί να εξοικονομήσει περίπου 2–2,6 Mt ισοδύναμου CO<sub>2</sub> ανά έτος (Jeswani & Azapagic, 2016).

Επίσης, υπάρχει η απόρριψη με έγχυση σε βάθος. Η μέθοδος έγχυσης σε βαθιά φρεάτια περιλαμβάνει την εναπόθεση απορριμμάτων στα υπόγεια, αδιαπέραστα στρώματα πετρωμάτων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τοξικά υγρά απόβλητα από βιομηχανίες (Alam & Ahmade, 2013). Απόβλητα όπως όξινα και καυστικά χημικά, άλμη πετρελαιοπηγών και ραδιενεργά απόβλητα από μονάδες επεξεργασίας ουρανίου απορρίπτονται χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο. Προτού μπορέσουν να διατεθούν τα απόβλητα χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η τοπική υποεπιφανειακή γεωλογία της περιοχής για να αποφευχθεί η ρύπανση στα υπόγεια νερά. Βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η πιθανή μόλυνση των υπόγειων υδάτων.

Επιπρόσθετα, υπάρχει η απόρριψη απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ. Αυτή η μέθοδος διάθεσης απορριμμάτων περιλαμβάνει τη χρήση των απορριμμάτων ως χωματερών (Chan & Wong, 2017). Η διαδικασία πραγματοποιείται με τη διασπορά των απορριμμάτων σε λεπτές στρώσεις και τη συμπίεση με μια βαριά μπουλντόζα όταν προστίθεται κάθε στρώμα. Όταν τα απορρίμματα είναι περίπου



3 μέτρα ύψος, καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα καθαρού χώματος και συμπιέζονται ξανά. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να γεμίσει ο λάκκος (Alam & Ahmade, 2013). Τα απόβλητα που απορρίπτονται μέσω αυτής της μεθόδου έχουν παθογόνα μικρόβια ή τοξικές χημικές ουσίες που είναι επιβλαβείς για το έδαφος και τους οργανισμούς του εδάφους, καθώς και για τον άνθρωπο (μέσω εισπνοής μολυσμένου αέρα ή κατανάλωσης μολυσμένου νερού). Αυτές οι δυσμενείς επιπτώσεις έχουν κάνει αυτή τη μέθοδο διάθεσης αποβλήτων να αποθαρρύνεται από τα κράτη μέλη της ΕΕ (Wang et al., 2018), προωθώντας έτσι άλλες μεθόδους διάθεσης αποβλήτων όπως η αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων και η αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας (Wang et al., 2020). Μια οδηγία για την υγειονομική ταφή προτάθηκε το 2001 σύμφωνα με την οποία το κράτος μέλος της ΕΕ θα πρέπει να μειώσει τη διαχείριση των απορριμμάτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής στο 35% έως τις 16 Ιουλίου 2016 και ότι η υγειονομική ταφή θα καταργηθεί έως το 2020 (Brennan et al., 2016).

**Όσον αφορά την απόρριψη με κομποστοποίηση, αποτελεί μία μέθοδο που μπορεί να εξαλείψει τα αποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα. Τα αποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα είναι αλλιώς γνωστά ως βιοαποδομήσιμα απόβλητα (Abdel-Shafy, Mansour, 2018).**

Η κομποστοποίηση είναι ένα εφαρμόσιμο και αποτελεσματικό μέσο, το οποίο μπορεί και μετατρέπει τα διάφορα οργανικά απόβλητα σε προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευεργετικά ως βιολιπάσματα. Υπάρχουν βέβαια υλικά όπως οι σακούλες από πολυαιθυλένιο και τα πλαστικά που δεν μπορούν να κομποστοποιηθούν. Η κομποστοποίηση αποτελεί έναν ασφαλή τρόπο διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων, αν και συχνά συνδέεται με την ύπαρξη δυσάρεστων οσμών και την απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου. Η σύγκριση μεταξύ συμβατικών και μεθόδων κομποστοποίησης για τη διαχείριση των απορριμμάτων παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Σύγκριση μεταξύ κομποστοποίησης και συμβατικών μεθόδων διαχείρισης

Κομποστοποίησης	Συμβατικές μέθοδοι	Βιβλιογραφικές αναφορές
<p>Η κομποστοποίηση βοηθά στη διασφάλιση της βιωσιμότητας του περιβάλλοντος μέσω της συγκράτησης των σωματιδίων του εδάφους, . Αποτρέπει έτσι την διάβρωση του χώματος και συμβάλλει στη ορθή διαχείριση των απορριμμάτων. Επίσης, βοηθά στη βιοαποκατάσταση των εδαφών που έχουν μολυνθεί και συμβάλλει στην αύξηση της βιοποικιλότητας του εδάφους.</p>	<p>Οι συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων μολύνουν το έδαφος, τον αέρα και τα υδάτινα σώματα. Απελευθερώνουν μυρωδιές και δημιουργούν άσχημες εικόνες. Επιπλέον, προκαλούν μόλυνση των υπόγειων υδάτων όταν θάβονται τα απόβλητα.</p>	<p>Bian et al., 2019 Košnár et al., 2019. Mohammed &amp; Elias, 2017.</p>
<p>Βοηθά επίσης στην καταστολή ασθενειών στα φυτά και εμπλουτίζει με θρεπτικές ουσίες το έδαφος.</p>	<p>Αυτές οι μέθοδοι συχνά φιλοξενούν παράσιτα, παθογόνα και έντομα, τα οποία έχουν αρνητικές συνέπειες στην υγεία.</p>	<p>Van Epps &amp; Blaney, 2016,</p>
<p>Βοηθά στη μείωση των επιπτώσεων του θερμοκηπίου μετριάζοντας την παραγωγή αερίων όπως</p>	<p>Συμβάλλουν κυρίως στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό είναι αποτέλεσμα της καύσης των απορριμμάτων.</p>	<p>Awasthi et al., 2017,2020</p>

<p>το μεθάνιο. Αν και το CO<sub>2</sub> απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, είναι σαφώς λιγότερο σε σύγκριση με άλλους τρόπους διαχείρισης απορριμμάτων.</p>		
<p>Μειώνει δραστικά τον όγκο των απορριμμάτων</p>	<p>Αυξάνουν τον όγκο των απορριμμάτων</p>	<p>Moharir &amp; Kumar, 2019</p>
<p>Δεν μπορούν να κομποστοποιηθούν κάποιες ουσίες, όπως οι σακούλες πολυαιθυλενίου και τα πλαστικά.</p>	<p>Μπορεί (η αποτέφρωση) να επεξεργαστεί και πλαστικά και σακούλες πολυαιθυλενίου κ.λπ., αν και αποτελεί απειλή για περιβαλλοντική ρύπανση</p>	<p>Moharir &amp; Kumar, 2019</p>

## 4. Συγκριτική ανάλυση αερόβιας και αναερόβιας αποικοδόμησης

Σε όλο τον κόσμο, η κομποστοποίηση γίνεται πιο κοινή πρακτική ως απάντηση στις ανησυχίες για τη μόλυνση των γεωργικών προϊόντων. Πολλά συστήματα καλλιέργειας έχουν εξελιχθεί τις τελευταίες δεκαετίες και επεκτείνουν συνεχώς την καλλιεργούμενη έκταση επηρεάζοντας αρνητικά το περιβάλλον. Το κύριο πρόβλημα με τις αναπτυσσόμενες χώρες είναι ότι εισάγουν τεράστιες ποσότητες δημητριακών, οσπρίων και άλλων προϊόντων διατροφής κ.λπ. μη βιολογικών πηγών εκτός των τροπικών περιοχών (Wackernagel et al., 2004). Επομένως, για να αντισταθμιστεί αυτό το χάσμα μεταξύ οργανικών και ανόργανων προϊόντων, απαιτείται καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση μπορεί να οριστεί ως ανοργανοποίηση και μερική ύγρανση των οργανικών ουσιών με τη δράση μικροβίων, υπό βέλτιστες συνθήκες και είναι ένας φυσικός τρόπος αντιμετώπισης των απορριμμάτων, μέσω της μετατροπής τους σε βελτιωτικά του εδάφους και σε θρεπτικά συστατικά των φυτών (Mehta et al., 2012, 2014).

Οι δύο κύριες τεχνικές αποσύνθεσης της οργανικής ύλης είναι η αερόβια αποσύνθεση (αναγκαιότητα αέρα) και αναερόβια (χωρίς ανάγκη αέρα). Σε αυτό το κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μια συγκριτική ανάλυση τόσο στις μεθόδους κομποστοποίησης, τους παράγοντες που τις επηρεάζουν όσο και στα πλεονεκτήματα της αερόβιας έναντι της αναερόβιας κομποστοποίησης.

### 4.1 Αερόβια Κομποστοποίηση

Η αποσύνθεση οργανικού υλικού με οξυγόνο αποτελεί μια «αερόβια» διαδικασία. Τα αερόβια μικρόβια χρησιμοποιούν το οξυγόνο για να τραφούν με οργανική ύλη για να αναπτύξουν το κυτταρικό τους πρωτόπλασμα από θρεπτικά συστατικά (κυρίως άζωτο, φώσφορο και μέρος του άνθρακα) που υπάρχουν στην

πρώτη ύλη του κομπόστ. Η οργανική ύλη σε γενικές γραμμές διασπάται πιο αποτελεσματικά και πλήρως σε συνθήκες διαθεσιμότητας οξυγόνου ως αποτέλεσμα της ενέργειας που παράγεται από την αερόβια αναπνοή (Evans, 2001; Cadena et al., 2009). Στη φύση, η πιο κοινή περιοχή για αερόβια διαδικασία αποσύνθεσης είναι το δάσος, όπου το νεκρό και σάπιο υλικό ζωικών και φυτικών υπολειμμάτων είναι σε μέγιστη ποσότητα και μπορεί να μετατραπεί σε σχετικά σταθερή οργανική ύλη και λόγω της παρουσίας επαρκούς ποσότητας οξυγόνου αυτού του είδους η αποσύνθεση δεν μυρίζει.

Η πρώτη φάση της αερόβιας κομποστοποίησης είναι ο σχηματισμός σωρών. Μέσα στις πρώτες δύο ημέρες της κομποστοποίησης, η θερμοκρασία αυξάνεται γρήγορα στους 70-80°C. Αρχικά, οι μεσόφιλοι οργανισμοί (εύρος βέλτιστης θερμοκρασίας ανάπτυξης 20-45°C) πολλαπλασιάζονται γρήγορα λόγω της επαρκούς παρουσίας διαθέσιμων σακχάρων και αμινοξέων. Τα κοινά μεσόφιλα μικρόβια είναι *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Clostridium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Humicola*, *Penicillium* και *Streptomyces* κ.λπ. Λόγω της διαθεσιμότητας άφθονης πηγής τροφής, αυτά τα μικρόβια αναπτύσσονται γρήγορα και παράγουν θερμότητα με τον δικό τους μεταβολισμό. Έπειτα αρκετοί θερμόφιλοι μύκητες (*Aspergillus*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Humicola*, *Absidia*, *Sporotrichum*, *Torula* (ζύμη) και *Thermoascus*), θερμόφιλα βακτήρια (*Bacillus* και *Thermus*) και λίγοι ακτινομύκητες (*Streptomyces*, *Micropolyspora*, *Thermoactinomyces*, *Raspoactinomyces* και *Thermoactinomyces*) μπορούν και δρουν σε θερμοκρασία έως 65 έως 70°C ή και υψηλότερη. Η αναγκαιότητα αυτής της φάσης «αιχμής θέρμανσης» έγκειται στην απολύμανση από τα περισσότερα από τα παθογόνα και τους σπόρους τους, που μπορούν να μολύνουν το κομπόστ και αργότερα το έδαφος και τις καλλιέργειες που έρχονται σε επαφή με αυτό (Bertoldi, 2010; Mehta et al., 2012).

Η τελική φάση του σταδίου ενεργούς κομποστοποίησης είναι το στάδιο ωρίμανσης. Αυτό το στάδιο μπορεί να αναγνωριστεί χωρίς περαιτέρω αλλαγή στη θερμοκρασία. Σε αυτή τη φάση, μερικά από τα μικρόβια (κυρίως οι μύκητες) δείχνουν τη δραστηριότητά και αποσυνθέτουν το υλικό των φυτικών κυτταρικών

τοιχωμάτων όπως η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη. Η φάση σκλήρυνσης είναι μία από τις βασικές φάσεις πριν από την εφαρμογή του κομπόστ στο χωράφι. Το ανώριμο κομπόστ μπορεί να προκαλέσει πολλούς κινδύνους όπως ανεπάρκεια οξυγόνου και μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Επίσης το ανώριμο κομπόστ μπορεί να οδηγήσει σε απελευθέρωση οργανικών οξέων που μπορούν να προκαλέσουν τοξική επίδραση στις καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχές εφαρμογής (Bernal et al., 2009; Mehta et al., 2014).

Τέλος, στην τελική φάση της κομποστοποίησης, η θερμοκρασία πέφτει στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το ώριμο πλέον κομπόστ γίνεται πιο ομοιόμορφο και λιγότερο ενεργό για τα μικρόβια, αν και τα μεσόφιλα μικρόβια αποικίζουν ξανά στο κομπόστ. Το τελικό υλικό κομποστοποίησης αποκτά σκούρο καφέ έως μαύρο χρώμα που διαθέτει αυξημένη ποσότητα του χούμου. Το μέγεθος των σωματιδίων του ώριμου κομπόστ είναι κοντά στην υφή του εδάφους και η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N) μειώνεται, το pH είναι περίπου ουδέτερο και η ικανότητα ανταλλαγής του υλικού αυξάνεται (Mehta et al., 2014).

Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την αερόβια κομποστοποίηση είναι το οξυγόνο. Η ανάπτυξη των αερόβιων μικροβίων επηρεάζεται άμεσα από την παροχή οξυγόνου (Parkinson et al., 2004; Shen et al., 2011). Η μικρότερη παροχή οξυγόνου στο σωρό κομπόστ μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη αερόβιων μικροβίων και να οδηγήσει σε βραδύτερη αποσύνθεση της πρώτης οργανικής ύλης. Επιπλέον, ο σωστός αερισμός βοηθάει στην εξάλειψη της υπερβολικής θερμότητας και μειώνει τους υδρατμούς. Επομένως, είναι απαραίτητος ο καλός αερισμός για την επάρκεια της κομποστοποίησης. Ο σωστός αερισμός στην κομποστοποίηση μπορεί να επιτευχθεί ελέγχοντας το μέγεθος των σωματιδίων της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται στην κομποστοποίηση και επίσης με το συχνό γύρισμα του σωρού (Shen et al., 2011).

Ένας ακόμη καθοριστικός παράγοντας είναι η θερμοκρασία. Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, η κομποστοποίηση περιλαμβάνει δύο φάσεις θερμοκρασίας: χαμηλή θερμοκρασία (μεσόφιλη, 20-45°C) και υψηλή

θερμοκρασία (θερμοφιλική, 50-70°C) φάση (Liang et al., 2003). Εάν η θερμοκρασία φτάσει να είναι ιδιαίτερα υψηλή ή χαμηλή, η δραστηριότητα των μικροβίων κομποστοποίησης επηρεάζεται αρνητικά, με αποτέλεσμα ανώριμο και μη αποτελεσματικό κομπόστ. Τα περισσότερα από τα παθογόνα δεν μπορούν να επιβιώσουν στους 55° C και πάνω και για την εξάλειψη των σπόρων των ζιζανίων η κρίσιμη θερμοκρασία είναι περίπου 62° C και πάνω. Επομένως, για τη σωστή κομποστοποίηση, η θερμοκρασία του προϊόντος αποτελεί έναν καίριο παράγοντα και μπορεί να ρυθμιστεί με τον σωστό αερισμό του κομπόστ (Atchley και Clark, 1979).

Ο κύριος ρόλος της περιεκτικότητας σε υγρασία στην αερόβια κομποστοποίηση είναι η διατήρηση της μεταβολικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών. Εάν το κομπόστ είναι πολύ ξηρό, η δραστηριότητα των μικροβίων μειώνεται γρήγορα, με αποτέλεσμα την αργή διαδικασία κομποστοποίησης, ενώ η περιεκτικότητα σε υγρασία σε υπερβολική ποσότητα δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες για μικροβιακή ανάπτυξη. Επομένως για σωστή αερόβια διαδικασία κομποστοποίησης η περιεκτικότητα σε υγρασία θα πρέπει να είναι 40-65% (Atchley και Clark, 1979).

Το pH του σωρού κομποστοποίησης μπορεί να επηρεάσει άμεσα τον μικροβιακό πληθυσμό περιορίζοντας τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών στα μικρόβια. Το βέλτιστο pH για σωστή μικροβιακή ανάπτυξη στο σωρό κομποστοποίησης συνιστάται από 6,0 έως και 7,5 (Atchley και Clark, 1979).

Όσον αφορά στα θρεπτικά συστατικά που υπάρχουν στο κομπόστ είναι: ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N) αποτελεί έναν περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία κομποστοποίησης. Σε υψηλότερη αναλογία C:N (40:1), η υπερβολική ποσότητα πηγής άνθρακα και η περιορισμένη ποσότητα πηγής αζώτου περιορίζουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών και έχει ως αποτέλεσμα τη βραδύτερη διαδικασία αποσύνθεσης (Zhu et al., 2007). Αντίθετα, εάν η αναλογία C:N είναι μικρότερη από 20:1 οδηγεί σε υποχρησιμοποίηση του N και η περίσσεια μπορεί να απελευθερωθεί στην

ατμόσφαιρα ως αμμωνία ή υποξείδιο του αζώτου. Η απελευθέρωση των αερίων αυτών προκαλεί δυσάρεστες οσμές (Jeong and Kim, 2001). Άλλο σημαντικό θρεπτικό συστατικό στη διαδικασία κομποστοποίησης είναι ο φώσφορος (P), ο οποίος είναι ένα μη πτητικό θρεπτικό συστατικό το οποίο όμως μπορεί να εκπλυθεί από το σύστημα, επομένως η συγκέντρωση του P στην πρώτη ύλη πρέπει να είναι υψηλή. Ομοίως, το κάλιο είναι ένα άλλο μη πτητικό θρεπτικό συστατικό που μπορεί να εκπλυθεί από το σύστημα κομποστοποίησης. Η συγκέντρωση του καλίου στο τελικό προϊόν πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από την αρχική ακατέργαστη κοπριά (Hu et al., 2007).

## 4.2 Αναερόβια αποικοδόμηση

Η διαδικασία της αναερόβιας κομποστοποίησης πραγματοποιείται χωρίς τη συμμετοχή οξυγόνου. Συνήθως λαμβάνει χώρα στη φύση. Η αναερόβια αποσύνθεση έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση οργανικών ενώσεων με την εφαρμογή αναερόβιων μικροοργανισμών. Παρόμοια με την αερόβια διαδικασία, τα αναερόβια μικρόβια χρησιμοποιούν επίσης άζωτο, φώσφορο και άλλα θρεπτικά συστατικά για να αναπτύξουν το πρωτόπλασμα των κυττάρων τους. Η κύρια διαφορά είναι μεταξύ της αποσύνθεσης οργανικών και ανόργανων ενώσεων που υπάρχουν στο σωρό, όπως η διάσπαση του οργανικού αζώτου σε οργανικά οξέα και αμμωνία. Παρομοίως, το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα απελευθερώνεται με τη μορφή αερίου μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και ένα μικρό μέρος του άνθρακα μπορεί να αναπνεύσει ως  $\text{CO}_2$  (Cayuela et al., 2012; Jiang et al., 2011).

Κατά τη διαδικασία της αναερόβιας κομποστοποίησης λαμβάνουν χώρα τέσσερα κύρια στάδια:

- Υδρόλυση
- Οξεογένεση
- Ακετογένεση



- και μεθανογένεση.

Το πρώτο στάδιο είναι η υδρόλυση όπου τα ζυμωτικά μικρόβια διασπούν την αδιάλυτη σύνθετη οργανική ύλη. Η υδρολυτική δραστηριότητα είναι ένας παράγοντας περιορισμού του ρυθμού καθώς έχει σημαντικό αντίκτυπο στην πρώτη ύλη με υψηλή οργανική περιεκτικότητα (Vavilin et al., 2008). Το δεύτερο στάδιο της αναερόβιας αποσύνθεσης, δηλαδή της οξεογένεσης, εμπλέκεται στην περαιτέρω διάσπαση των εναπομεινάντων σύνθετων μορίων από ζυμωτικά βακτήρια. Στην επόμενη φάση της αναερόβιας χώνευσης, απλά μόρια χωνεύονται περαιτέρω. Τα κύρια βακτήρια αυτής της φάσης είναι το *Clostridium aticum*, το *Acetobacter woodii* και το *Clostridium thermoautotrophicum*. Η τελική φάση είναι η μεθανογένεση, όπου το μεθάνιο παράγεται από βακτήρια που ονομάζονται διαμορφωτές μεθανίου (π.χ. *Methanosarcina*) (Demirel and Scherer, 2008).

Και στην αναερόβια κομποστοποίηση, η θερμοκρασία είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός περιοριστικός παράγοντας. Η βέλτιστη θερμοκρασία για βέλτιστη ανάπτυξη του μεσόφιλου χωνευτήρα για παραγωγή βιοαερίου είναι 35°C. Προηγούμενη μελέτη για την επίδραση της θερμοκρασίας στον μεσόφιλο χωνευτήρα αναφέρει ότι για κάθε πτώση 10°C η δραστηριότητα και ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών μειώνεται κατά 50% και με 20°C μείωση της θερμοκρασίας η παραγωγή βιοαερίου πέφτει και σταματά (Samir et al., 2010). Θερμοκρασία πάνω από 37°C οδηγεί σε παρατεταμένη διαδικασία πέψης και ως αποτέλεσμα μειώνει το ρυθμό παραγωγής βιοαερίου.

Το pH είναι ο δεύτερος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επεξεργασία της αναερόβιας κομποστοποίησης. Η διαδικασία πέψης επηρεάζεται σημαντικά από τη διακύμανση του pH (Romano et al., 2011). Το βέλτιστο εύρος pH για την αναερόβια κομποστοποίηση θεωρείται μεταξύ 6,8 και 7,2. Ωστόσο, η αναερόβια αποσύνθεση μπορεί να ανεχθεί pH 6,5-8,0.

Επιπρόσθετα, η αρχική συγκέντρωση του υποστρώματος επηρεάζει άμεσα την αναερόβια χώνευση (Fernández et al., 2008) και επίσης η παραγωγή αερίου

μεθανίου κατά την αναερόβια αποσύνθεση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αρχική συγκέντρωση του υποστρώματος. Τέλος, σε αντίθεση με την αερόβια αποσύνθεση, στην αναερόβια κομποστοποίηση τα παθογόνα αποτελούν σημαντικές απειλές για το υλικό κομποστοποίησης επειδή δεν υπάρχει αρκετή θερμότητα που μπορεί να καταστρέψει τα παθογόνα. Ο μόνος τρόπος εξάλειψης των παθογόνων είναι η μη διαθεσιμότητα οξυγόνου που δημιουργεί μια δυσμενή κατάσταση στα παθογόνα και μπορεί σιγά σιγά να τα εξαφανίσει από το κομπόστ. Επιπλέον, οι βιολογικοί ανταγωνισμοί εναντίον αυτών των παθογόνων στο κομπόστ μπορούν επίσης να μειώσουν τις πιθανότητες διαθεσιμότητας του παθογόνου στο αναερόβιο λίπασμα. Επομένως, είναι απαραίτητο η κατάσταση να είναι εντελώς αναερόβια και το κομποστοποιημένο υλικό πρέπει να διατηρείται για περιόδους από έξι μήνες έως ένα χρόνο, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η πλήρης καταστροφή των παθογόνων (Hoitink and Fahy, 1986; Yazdani et al., 2012).

### 4.3 Σύγκριση αερόβιας με αναερόβια αποικοδόμηση

Η αναερόβια κομποστοποίηση θεωρήθηκε ως πιθανή εναλλακτική λύση στην αερόβια κομποστοποίηση. Το κύριο επιχείρημα υπέρ της αναερόβιας κομποστοποίησης ήταν η ελαχιστοποίηση της απώλειας αζώτου (Yu et al., 2015). Ακόμη και με αυτό το πλεονέκτημα, τα μειονεκτήματα της αναερόβιας λειτουργίας δεν μπορούν να αγνοηθούν. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα της αερόβιας κομποστοποίησης έναντι της αναερόβιας κομποστοποίησης, που συνοψίζονται στα εξής Gill et al., 2014; Zeng et al., 2012):

- α) ταχεία αποσύνθεση της πρώτης ύλης
- β) η θερμοκρασία του σωρού αυξάνεται σε εκείνο το επίπεδο όπου τα παθογόνα και τα ζιζάνια δεν μπορούν να επιβιώσουν
- γ) ο αριθμός και η ένταση των απαράδεκτων εκπομπών μειώνονται απότομα και
- δ) μπορεί να δημιουργηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Αναλυτικότερα, η αποσύνθεση του οργανικού υλικού στην αερόβια κομποστοποίηση προχωρά πιο γρήγορα σε σύγκριση με την αναερόβια διαδικασία. Στην αναερόβια διαδικασία το κομποστοποιημένο υλικό πρέπει να διατηρείται για περιόδους από έξι μήνες έως ένα έτος για να διασφαλιστεί η σωστή αποσύνθεση των οργανικών υλικών ενώ στην αερόβια κομποστοποίηση ο χρόνος πλήρους αποσύνθεσης είναι περίπου 3 έως 6 μήνες (Gabhane et al., 2012; Tian et al., 2012).

Όσον αφορά στην καταστολή των παθογόνων, τόσο η αερόβια όσο και η αναερόβια κομποστοποίηση απαιτούν μικρόβια για την αποσύνθεση της πρώτης ύλης. Τα περισσότερα από τα παθογόνα δεν είναι ευαίσθητα σε υψηλές θερμοκρασίες και αναερόβιες συνθήκες. Υπό αερόβιες συνθήκες, ο σωρός κομπόστ μπορεί να φτάσει σε θερμοκρασία 60°C έως 70°C, η οποία είναι αρκετά υψηλή για να σκοτώσει τα παθογόνα που υπάρχουν στην πρώτη ύλη. Στη διαδικασία αναερόβιας κομποστοποίησης η θερμοκρασία δεν φτάνει ποτέ μέχρι τους 70°C και συνεπώς, η πιθανότητα τα παθογόνα να παραμείνουν στο κομπόστ είναι σημαντικά υψηλότερη σε σύγκριση με την αερόβια αποσύνθεση. Στα αερόβια συστήματα κομποστοποίησης, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ των ειδών ζιζανίων και των διαφορετικών παραμέτρων κομποστοποίησης όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος και η υγρασία (Egley, 1990; Larney et al., 2003).

Κατά τη διάρκεια της αερόβιας κομποστοποίησης, υψηλότερη θερμοκρασία (έως 70°C) αυξάνει το ποσοστό θνησιμότητας των σπόρων των ζιζανίων. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της έκθεσης σε υψηλή θερμοκρασία στην κομποστοποίηση, τόσο μεγαλύτερη είναι η θνησιμότητα των σπόρων των ζιζανίων (Dahlquist et al., 2007). Παρόμοια μελέτη για το κομπόστ (Wiese et al., 1998) αναφέρει ότι, σε 35% υγρασία και 50-70°C, οι σπόροι των ζιζανίων, σκοτώθηκαν. Γενικά στην αερόβια διαδικασία κομποστοποίησης τα μυκητιακά παθογόνα δεν επιβιώνουν λόγω της υψηλής θερμοκρασίας (Hoitink

and Fahy, 1986). Ωστόσο, πολλά από αυτά σχηματίζουν αναπαραγωγικές δομές είναι συνήθως πιο ανθεκτικές στη θερμότητα από τις φυτικές δομές τους. Πολλοί παθογόνοι μύκητες όπως το *Fusarium oxysporum*, το *Olpidium brassicae*, το *Synchytrium endobioticum*, το *Plasmodiophora brassicae* και τα *Phytophthora infestans* μπορούν να παράγουν την αναπαραγωγική τους δομή που μπορεί να επιβιώσει από 40°C έως 65°C για 10-30 λεπτά (Golueke, 1982). Παρομοίως, τα βακτηριακά παθογόνα φυτών είναι απίθανο να επιβιώσουν από την κομποστοποίηση, όπου η θερμοκρασία συνήθως αυξάνεται πάνω από τους 50°C (Bollen, 1993). Επομένως, η βέλτιστη έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία είναι απαραίτητη για την πλήρη απομάκρυνση των παθογόνων μυκήτων από το κομποστ. Όλες αυτές οι μελέτες υποστηρίζουν τον σημαντικό ρόλο της θερμόφιλης φάσης των διαδικασιών αερόβιας κομποστοποίησης έναντι της αναερόβιας κομποστοποίησης όπου η θερμοκρασία δεν ανεβαίνει ως τους 65° C.

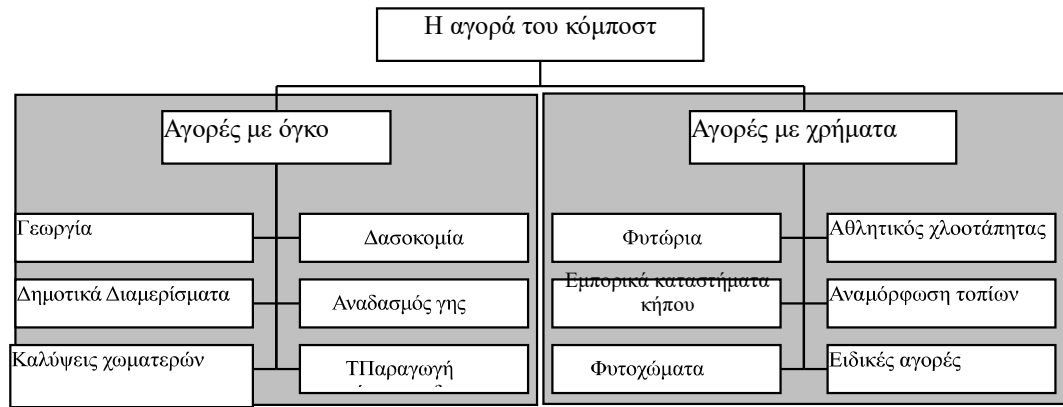
Στην αρχική φάση της κομποστοποίησης των απορριμμάτων, η εκπομπή ορισμένων δυσάρεστων οσμών είναι προβλέψιμη. Η πηγή αυτής της δυσάρεστης μυρωδιάς οφείλεται κυρίως στην ταχεία δραστηριότητα των μικροβίων προς την αποικοδόμηση πολύπλοκων ενώσεων σε απλές ενώσεις. Η ένταση και η έκταση των οσμών κατά την αναερόβια κομποστοποίηση είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με την αερόβια κομποστοποίηση. Στην αερόβια κομποστοποίηση, η συχνή παροχή οξυγόνου στο σωρό συμβάλλει στη μείωση των πιθανοτήτων σχηματισμού και εκπομπής δύσοσμων αερίων ενώ στην αναερόβια κομποστοποίηση, λόγω του σχηματισμού κλειστού συστήματος η εκπομπή δυσάρεστης οσμής είναι μεγαλύτερη. Η πιθανή λύση για τον έλεγχο των εκπομπών αερίων είναι η χημική και ή βιολογική επεξεργασία (Maulini-Duran, 2013; Jiang et al., 2015).

Όλες οι παραπάνω μελέτες υποστηρίζουν τα πλεονεκτήματα της αερόβιας κομποστοποίησης έναντι της αναερόβιας. Ωστόσο, μια παροδική αναερόβια φάση αναγνωρίζεται ως ουσιαστικό μέρος της κομποστοποίησης για την καταστροφή των αλογονωμένων υδρογονανθράκων σε συνδυασμό με τη διατήρηση του αζώτου. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη μελλοντικής μελέτης για τη διερεύνηση

των σταδίων κομποστοποίησης λεπτομερώς για την καλύτερη κατανόηση του αποτελεσματικού σχηματισμού κομποστοποίησης.

#### 4.3.1 Οικονομικά στοιχεία

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι αγορές του κόμποστ (Zurbugg, 2002).



Όπως γίνεται σαφές από το παραπάνω σχήμα, οι αγορές του κόμποστ διακρίνονται στις αγορές όγκου και στις αγορές χρημάτων. Οι αγορές όγκου είναι μεγάλες αγορές, ωστόσο το εμπόδιο στις εκτεταμένες πωλήσεις καθορίζεται από την τιμή και την τοποθεσία των χρηστών. Γενικά η πιθανή τιμή πώλησης ανά μονάδα κομπόστ είναι χαμηλή. Η τοποθεσία αυτών των αγορών όγκου είναι συχνά στις περιαστικές και αγροτικές περιοχές, με αποτέλεσμα να συνεπάγονται πιο περίπλοκες ρυθμίσεις διανομής και μεταφοράς. Οι αγορές αστικού όγκου περιλαμβάνουν δημοτικά διαμερίσματα που χρησιμοποιούν κομπόστ για δημόσιους χώρους, πάρκα και διαχείριση οδών, καθώς και αστικούς αγρότες (Zurbugg, 2002).

Για τις αγορές χρημάτων, από την άλλη, οι τιμές είναι σημαντικά υψηλότερες. Αυτή η αγορά είναι διαθέσιμη στην αστική και περιαστική περιοχή. Στην Ινδία, για παράδειγμα, οι τιμές για το κομπόστ ποικίλλουν μεταξύ 2Rs ανά κιλό (0,04 ευρώ) για αγορές όγκου και Rs. 20 ανά κιλό (0,40 ευρώ) για τις αγορές

δολαρίων (Zurbrugg 2002).

Σε μια μελέτη που έλαβε χώρα στην Τανζανία, η παραγωγή και η χρήση κομπόστ είναι επί του παρόντος πολύ περιορισμένη, παρά τις εκτεταμένες αστικές γεωργικές δραστηριότητες. Οι παραγωγοί κομποστοποίησης χρησιμοποιούν το κομπόστ στα δικά τους αγροτεμάχια ή πωλούν μεταξύ 6-20 kg την ημέρα, προς 20Tsh/kg (0,02 Ευρώ). Οι πελάτες τους είναι κυρίως καλλιεργητές λουλουδιών και φυτώρια (Kiangoo & Amend 2001). Οι αγρότες λαχανικών έχουν ελάχιστη έως καθόλου εμπειρία με το κομπόστ. Γενικά προτιμούν τη χρήση κοπριάς κοτόπουλου καθώς είναι εύκολα διαθέσιμη και η εμπειρία έχει δείξει ότι αυξάνει την απόδοση της καλλιέργειας. Οι Kiangoo και Amend (2001) υπολογίζουν μια ετήσια παραγωγή κοπριάς κοτόπουλου στο Dar es Salaam που ανέρχεται σε 91.250 τόνους με μέση περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά 2:2:1 (NPK σε %). Δίπλα στην κοπριά κοτόπουλου, η κοπριά αγελάδας θεωρείται το επόμενο πιο συχνά χρησιμοποιούμενο προϊόν.

Όσον αφορά την προθυμία αγοράς ή χρήσης κομπόστ είναι δύσκολο να ερμηνευθούν οι απόψεις των καταναλωτών, καθώς η γνώση για το κομπόστ και τα οφέλη του δεν είναι γνωστά σε μεγάλο βαθμό. Καθώς η πλειονότητα των αγροτών απάντησε ότι θα ήταν πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν κόμποστ σε ποσότητες ισοδύναμες με την τρέχουσα χρήση λιπασμάτων, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι δεν υπάρχουν γενικές αρνητικές συμπεριφορές ή πολιτισμικοί φραγμοί απέναντι στο κόμποστ. Προηγούμενες έρευνες (JICA, 1997) έδειξαν ότι μια μειοψηφία (5%) αγροτών, όταν ρωτήθηκε για το κομπόστ, απέρριψε το κομπόστ που προερχόταν από απόβλητα, καθώς φοβόταν τις ασθένειες που επηρεάζουν τις καλλιέργειές τους.

Όσον αφορά στην χώρα μας, το θεσμικό πλαίσιο είναι ακόμη ανεπαρκές σε θέματα που αφορούν την κομποστοποίηση. Αυτό αποτελεί ένα εμπόδιο στην ευρύτερη εξάπλωση της μεθόδου για τη διαχείριση αποβλήτων. Αν μάλιστα κανείς λάβει υπόψιν του ότι τα ελληνικά εδάφη έχουν μεγάλη ανάγκη προσθήκης οργανικής ουσίας, αλλά και αποκατάστασης πολλές φορές, γίνεται ακόμη πιο επιτακτική η ανάγκη θέσπισης ενός σαφούς θεσμικού πλαισίου σχετικά με την κομποστοποίηση.

Σήμερα, ενώ η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα παραγωγής κόμποστ, κάτι που θα την ωφελούσε και σε περιβαλλοντικό επίπεδο, εισάγει κόμποστ και φυτοχωμάτων από άλλες χώρες,

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες στη χώρα μας απαιτούνται 10 τόνοι οργανικής ουσίας ετησίως. Αν αναλογιστεί κανείς πόσες θερμοκηπιακές καλλιέργειες υπάρχουν στην Ελλάδα, γίνεται σαφές ότι οι ανάγκες για οργανική ουσία είναι πάρα πολλές και για το λόγο αυτό η λύση της κομποστοποίησης θα ήταν ιδανική. Για να υιοθετηθεί ευρέως όμως η τεχνική αυτή και να ωφεληθεί η Ελλάδα τόσο σε επίπεδο οικονομίας όσο και οικολογίας, θα πρέπει να γίνει σωστός εθνικός σχεδιασμός και να καλυφθούν τα ελλείματα της χώρας σε κόμποστ.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στην ΕΕ παράγονται κάθε χρόνο 22.000.000 τόνοι κόμποστ, από τους οποίους τα 6.000.000 παράγονται από φυτικά υλικά και πωλούνται στην χώρα παραγωγής ή εξάγονται σε τιμές από 100 έως 400 ευρώ ανά τόνο.<sup>4</sup>

Από την άλλη πλευρά, όσον αφορά στο βιοαέριο, σύμφωνα με την European Biogas Association (EBA, 2017), στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν 17.662 μονάδες βιοαερίου, με τη Γερμανία και την Ιταλία να εμφανίζουν την μεγαλύτερη παραγωγή.

Τεράστια καταγράφεται η δυναμική της αγοράς βιοαερίου στην Ελλάδα παρά την ύφεση που επήλθε σε όλους τους κλάδους, λόγω της οικονομικής κρίσης. Σύμφωνα με συντηρητικές εκτιμήσεις του Τμήματος Βιομάζας του ΚΑΠΕ, 17.500.000 τόνοι από απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων διοχετεύονται κάθε χρόνο σε όλη τη χώρα (Zafiris, 2007).

Τα υφιστάμενα έργα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου της χώρα μας είναι πλέον 30 (εγκατεστημένη ισχύ 59,67 MWe) (Ζαφείρης, 2016). Αξίζει να αναφερθεί ότι από αυτά τα 31,2 MWe προέρχονται από χώρους υγειονομικής ταφής, τα 14,8 MWe από βιολογικούς καθαρισμούς και τα 13,57 MWe από μονάδες αγροτικής ή κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης.

---

<sup>4</sup> [https://www.ecorec.gr/ecorec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=154:2013-03-04-13-26-17&catid=11&Itemid=485&lang=en](https://www.ecorec.gr/ecorec/index.php?option=com_content&view=article&id=154:2013-03-04-13-26-17&catid=11&Itemid=485&lang=en)

Στην Ελλάδα, παρά την μεγάλη γραφειοκρατία που υπάρχουν καλές προοπτικές για τον κλάδο.<sup>5</sup> Συμπερασματικά, η εξέλιξη της ανάπτυξης του τομέα του βιοαερίου στην Ελλάδα υπήρξε αργή και σταθερή και εντοπίζεται κυρίως στην κατασκευή και λειτουργία «αγροτικών» μονάδων, δηλαδή αυτών που επεξεργάζονται απόβλητα, υπολείμματα, παραπροϊόντα ή και πρωτογενή προϊόντα του γεωργικού τομέα και της συναφούς μεταποίησης. Το διάστημα 2006 – 2010 ήταν φυσικό να μην υπάρξει καμία δραστηριότητα καθώς η τιμή αναφοράς για το βιοαέριο ήταν 73 €/MWh, ενώ η τιμή για τα φωτοβολταϊκά ήταν 400-500 €/MWh. Η πρώτη ΑΓΡΟτική μονάδα βιοαερίου τέθηκε σε λειτουργία μετά την δημοσίευση του Ν. 3831/2010, όπου η τιμή σκαρφάλωσε στα 220 €/MWh). Έκτοτε η τιμή παρέμεινε στα επίπεδα των 220 €/MWh (με κάποιες διαφοροποιήσεις, ανάλογα με τον τρόπο χρηματοδότησης), αλλά η εξέλιξη της εισόδου νέων μονάδων στο δίκτυο ήταν ιδιαίτερα αργή<sup>6</sup>

#### 4.4 Αξιολόγηση του κομπόστ

Η γεωπονική αξιολόγηση του κομπόστ πραγματοποιείται για να παρατηρηθεί η επίδραση των κομπόστ στην ανάπτυξη ορισμένων φυτών, αξιολογώντας την απόδοση των φυτών που καλλιεργούνται με το κομπόστ και τα αποτελέσματα που παρατηρούνται χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποιότητας του κομπόστ. Το κομπόστ έχει αναφερθεί ότι αυξάνει την απόδοση των καλλιεργειών λόγω της θρεπτικής ουσίας που περιλαμβάνει (Sharma et al., 2017; Lawal & Babalola, 2014; Masowa et al., 2018). Αντίστοιχα, υπάρχουν αναφορές για χαμηλή κατάσταση θρεπτικών συστατικών στο κομπόστ, η οποία δεν αύξησε την ανάπτυξη των φυτών. Είναι, επομένως, πολύ σημαντικό να αξιολογηθεί η

<sup>5</sup> <https://bioenergynews.gr/to-bioaerio-stin-ee-kai-stin-ellada/>

<sup>6</sup> [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi89MevsqT2AhXNQvEDHYpWA4kQFnoEAcQAQ&url=https%3A%2F%2Fhabio.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F08%2F%25CE%25A5%25CE%25A0%25CE%259F%25CE%259C%25CE%259D%25CE%2597%25CE%259C%25CE%2591-%25CE%25A4%25CE%2597%25CE%259D-%25CE%25A3%25CE%25A5%25CE%259D%25CE%2594%25CE%2595%25CE%25A3%25CE%2599%25CE%259C%25CE%259F%25CE%25A4%25CE%2597%25CE%25A4%25CE%2591\\_190504.pdf&usg=AOvVaw2zPtCtT1DsV4Sy58RZhbGL](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi89MevsqT2AhXNQvEDHYpWA4kQFnoEAcQAQ&url=https%3A%2F%2Fhabio.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F08%2F%25CE%25A5%25CE%25A0%25CE%259F%25CE%259C%25CE%259D%25CE%2597%25CE%259C%25CE%2591-%25CE%25A4%25CE%2597%25CE%259D-%25CE%25A3%25CE%25A5%25CE%259D%25CE%2594%25CE%2595%25CE%25A3%25CE%2599%25CE%259C%25CE%259F%25CE%25A4%25CE%2597%25CE%25A4%25CE%2591_190504.pdf&usg=AOvVaw2zPtCtT1DsV4Sy58RZhbGL)



θρεπτική αξία των κομπόστ και επίσης να προστεθεί υπόστρωμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά για τη βελτίωση της θρεπτικής και γεωπονικής τους αξίας. Για το λόγο αυτό απαιτείται χημική ανάλυση του κομπόστ έτσι ώστε να εξεταστεί η ποιότητα και η συγκέντρωση των στοιχείων που υπάρχουν σε αυτό. Σύμφωνα με τον FAO (2001), τα πρότυπα του αζώτου (N), στο οργανικό λίπασμα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1%, ενώ η περιεκτικότητα σε P και K δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1,5%. Επιπλέον, το λίπασμα πρέπει να παρέχει ασβέστιο, ψευδάργυρο, χαλκό και άλλα βασικά μικροθρεπτικά συστατικά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,01%-0,05%.

Από την άλλη πλευρά, η πηγή των αποικοδομήσιμων υλικών και των ενεργοποιητών καθορίζει την ποικιλομορφία και τον πληθυσμό των μικροοργανισμών καθώς και τα παθογόνα που θα μπορούσαν να υπάρχουν στο παραγόμενο κομπόστ (Alvarenga et al., 2015). Παθογόνοι οργανισμοί όπως η *Escherichia coli* και η *Salmonella sp.* υπάρχουν στα κομπόστ (Chen et al., 2018). Σύμφωνα με τους Wu, et al. (2015) , οι *Thermoactinomyces* αποτελούν θερμοφίλους μύκητες που μπορούν να προκαλέσουν «πνεύμονα του αγρότη», μια αλλεργική ασθένεια του αναπνευστικού συστήματος στους αγρότες. Τα κομπόστ θα πρέπει να αξιολογούνται ορθά ως προς το μικροβιακό και χημικό φορτίο, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια των φυτών, των οργανισμών του εδάφους, των ζώων και των ανθρώπων.

Επιπρόσθετα, οι POPs και οι EDRs αποτελούν επικίνδυνες χημικές ουσίες που απομένουν στο έδαφος, το νερό κ.λπ. και δεν αποικοδομούνται εύκολα με όλα τα διαθέσιμα μέσα. Περιλαμβάνουν πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH) (φθορανθένιο, βενζο(β)φθορανθένιο και βενζο(α)πυρένιο) και εννεύλοφαινόλες (NP) μεταξύ άλλων. Οι POP και οι EDR επηρεάζουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία, επομένως, είναι ανάγκη να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Η έκθεση σε EDRs γίνεται κυρίως μέσω εισπνοής, επαφής και κατάποσης μολυσμένων προϊόντων, αέρα, νερού και εδάφους. Τα φυτά απορροφούν αυτές τις επικίνδυνες χημικές ουσίες από το έδαφος σε επαφή με επεξεργασμένα νερά (Dodgen, 2013). Τέτοιες μολύνσεις από το νερό και το

έδαφος έχουν τεκμηριωθεί στην Ασία, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη (Brambilla et al., 2016; Braunig et al., 2017). Η κατάποση αυτών των φυτών, επομένως, οδηγεί σε βιοσυσώρευση EDRs στον άνθρωπο, αν και οι ποσότητες που απορροφώνται από τα φυτά μπορεί να είναι αμελητέες. Η εύρεση ενός μέσου για την εξάλειψη αυτών των επικίνδυνων ομάδων χημικών δεν είναι εύκολη. Αν και πολλές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψή τους, δεν υπάρχει αποδεκτό επίπεδο επιτυχίας. Ωστόσο, οι μέθοδοι κομποστοποίησης έχουν δείξει ότι είναι ικανές να εξαλείψουν αυτές τις απειλές για την ανθρώπινη ύπαρξη (Luo et al., 2018). Η παρουσία μικροβίων στο κομπόστ βοηθά στην απορρόφηση των POP, επομένως η βιοδιαθεσιμότητα αυτών των POP είναι πολύ κρίσιμη για την απορρόφησή τους. Για να αντεπεξέλθουν καλά, τα μικρόβια περνούν από διάφορες προσαρμογές όπως φυσιολογικές, συμπεριφορικές και μορφολογικές για να μπορέσουν να απορροφήσουν πλήρως.

## Συζήτηση – Συμπεράσματα

Στις μέρες μας οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν διευκολύνει τις διαδικασίες διαχωρισμού, οδηγώντας τις μεθόδους και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κομποστοποίηση σε σημαντικές αλλαγές. Πολλά κύρια εργαλεία διαχωρισμού έχουν εξελιχθεί για καλύτερη διαχείριση των απορριμμάτων μέσω της κομποστοποίησης. Η διαδικασία κομποστοποίησης έχει βελτιωθεί με την προσθήκη βιοαπανθράκων ως υλικό συν-κομποστοποίησης, γεγονός που μειώνει σημαντικά τον χρόνο κομποστοποίησης. Μεταξύ των δραστηριοτήτων που επηρεάζονται από την παρουσία βιοαπανθράκων στην κομποστοποίηση είναι αυτές των μικροβιακών κοινοτήτων, αυξάνοντας την παρουσία ορισμένων μικροοργανισμών (Jindo et al., 2012) και ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητά τους και οδηγώντας σε πιο γρήγορη αποσύνθεση. Ιδιότητες όπως η υψηλή σταθερότητα, η υψηλή απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, το πορώδες, η καλή ικανότητα συγκράτησης νερού, η χαμηλή χύδην πυκνότητα καθιστούν τον βιοαπανθράκωμα χρήσιμο στην κομποστοποίηση (Steiner et al., 2018). Το Biochar εξισορροπεί επίσης το pH και δρα ως καταλύτης στην επιτάχυνση της κομποστοποίησης (Ahmed et al., 2019). Ο έλεγχος της οσμής και της έκλυσης ανεπιθύμητων αερίων που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της κομποστοποίησης. Η απελευθέρωση οσμών μπορεί να αποτραπεί με τη βελτίωση του αερισμού στους σωρούς κομποστοποίησης, χρησιμοποιώντας τον έλεγχο ανάδρασης οξυγόνου και τη διαδικασία αερισμού με διακόπτη (Wei et al., 2017).

Επίσης, η προσθήκη διογκωτικών παραγόντων όπως σανό ρυζιού, πριονίδι ή σανό σιταριού μπορεί να αφαιρέσει την υγρασία από το σωρό του κομποστ και να αυξήσει το πορώδες του αέρα (Awasthi et al., 2015). Τα βλαβερά αέρια που απελευθερώνονται με την κομποστοποίηση μπορούν επίσης να παγιδευτούν χρησιμοποιώντας σύγχρονους βιοαντιδραστήρες όπως οι βιοαντιδραστήρες αερόσακων (Jiang et al., 2019) και οι πετσέτες ψεκάσμου (Jafari et al., 2018). Οι

βιοαντιδραστήρες του αερόσακου παγιδεύουν και ανακυκλώνουν την αμμωνία, αυξάνοντας έτσι την περιεκτικότητα του κόμποστ σε νιτρικά άλατα (Jiang et al., 2019).

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι γεωργικά απόβλητα όπως φύλλα, υπολείμματα φυτικών μερών και νεκρά φυτά καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό των απορριμμάτων που παράγονται στο αγρόκτημα. Ορισμένα από αυτά περιέχουν ανθεκτικές ενώσεις και χαμηλά θρεπτικά συστατικά, που δυσκολεύουν την κομποστοποίησή τους. Όταν τέτοια απόβλητα προστίθενται σε ένα σωρό κομποστοποίησης, επιβραδύνουν τον ρυθμό κομποστοποίησης άλλων υλικών. Τα διαφορετικά είδη φυτών ποικίλλουν σε σκληρότητα. Η περιεκτικότητα σε λιγνίνη, κουτίνη, πολυφαινόλη και υποβερίνη στα φυτικά απόβλητα επιμηκύνει τον χρόνο κομποστοποίησης σε ένα σωρό κομποστοποίησης. Υπάρχουν βέβαια και ορισμένα βακτήρια και μύκητες που αποικοδομούν τη λιγνίνη με την πάροδο του χρόνου παράγοντας κάποια πολύπλοκα ένζυμα που περιλαμβάνουν μαγγάνιο. Οι ακτινομύκητες είναι επίσης ικανοί να αποικοδομούν τη λιγνίνη (Bhatti et al., 2017). Οι υψηλά φαιολικές ενώσεις χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να κομποστοποιηθούν λόγω της πολύπλοκης χημικής τους δομής (Lewis & Brown, 2010).

Ακόμη, η συν-κομποστοποίηση αποτελεί την προσθήκη υλικών μαζί κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Αυτό γίνεται κυρίως για να επιτευχθεί μία βέλτιστη αναλογία C:N, να επιταχυνθεί η διαδικασία κομποστοποίησης και επίσης να βελτιωθεί η ποιότητα του τελικού προϊόντος (Cofie et al., 2016; Arumugan et al., 2018). Κατά τη συν-κομποστοποίηση, ένας συνδυασμός διαφορετικών υλικών μπορεί να βελτιώσει ή και να επιβραδύνει τον ρυθμό κομποστοποίησης. Όταν προστίθενται υποστρώματα υψηλής θρεπτικής αξίας στο κομπόστ, οι μικροοργανισμοί γίνονται πιο διαθέσιμοι και η διαδικασία κομποστοποίησης επιταχύνεται. Όταν σε ένα σωρό κομποστοποίησης προστίθενται υλικά με χαμηλά θρεπτικά συστατικά, υψηλή κυτταρίνη ή υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη, η διαδικασία κομποστοποίησης επιβραδύνεται. Η υψηλή αναλογία υψηλό C:N σε οργανικά υλικά τα καθιστά ακατάλληλα για

χρήση από τον μικροοργανισμό, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η κομποστοποίηση τους. Η μείωση του C:N τέτοιων υποστρωμάτων με τη χρήση ενεργοποιητών είναι συχνά απαραίτητη έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μια ταχεία διαδικασία κομποστοποίησης. Οι ενεργοποιητές είναι πηγές μικροοργανισμών που αναμένεται να αποικοδομήσουν τις πρώτες ύλες που κομποστοποιούνται (Iewkittayakorn, Chungsiriporn & Rakmak, 2018). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα λύματα, τα περιττώματα πουλερικών, η κοπριά αγελάδας, η κοπριά χοίρου, η κοπριά κασίικας κ.λπ. Είναι γνωστό ότι αυτά έχουν χαμηλή αναλογία C:N, γεγονός που καθιστά την κομποστοποίησή τους πολύ δύσκολη λόγω του προβλήματος δυσάρεστων οσμών που σχετίζεται με αυτά. Επομένως, η συν-κομποστοποίησή τους με αποικοδομήσιμα υλικά με υψηλή αναλογία C:N βοηθά στην επίτευξη της σωστής αναλογίας C:N.

Επιπλέον, τα υλικά που χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να κομποστοποιηθούν μπορούν να κομποστοποιηθούν ξεχωριστά για να αποτραπεί η επιβράδυνση της διαδικασίας κομποστοποίησης άλλων υλικών. Τα κομπόστ που παράγονται από τέτοια υλικά θα μπορούσαν επίσης να αξιολογηθούν έτσι ώστε να εξακριβωθεί αν μπορούν να απελευθερώνουν θρεπτικά συστατικά για μεγάλο χρονικό διάστημα σε διαιτές ή πολυετείς καλλιέργειες.

Στη δεκαετία του 1970, το σύστημα αεριζόμενου στατικού πασσάλου αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες για τον έλεγχο της αλλαγής θερμοκρασίας λόγω του μεταβαλλόμενου ρυθμού αερισμού. Αντί για τη μηχανική στροφή, χρησιμοποιήθηκε ένας ανεμιστήρας για να φυσά αέρα ή να αναρροφά αέρα από αυτόν (Erstein et al., 1976; Miller et al., 1985). Αρχικά, εξετάστηκαν μείγματα λάσπης και θρυμματισμένου ξύλου και το 1980, το εγχειρίδιο για τη «μέθοδο αεριζόμενου πασσάλου Beltsville» παρήχθη από το USDA και την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA) (Wilson et al., 1980). Σε γενικές γραμμές, το σύστημα που αναρροφά αέρα ήταν καλό για την ελαχιστοποίηση των οσμών, ενώ το άλλο έδινε καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας, ενισχύοντας έτσι τον χρόνο επεξεργασίας. Το σύστημα αεριζόμενου στατικού πασσάλου έκανε διαθέσιμο ένα σχετικά χαμηλού κόστους

σύστημα ελεγχόμενης κομποστοποίησης που επέτρεπε μια σειρά από στρατηγικές ελέγχου (Stentiford et al., 2016). Αυτό έδωσε τη δυνατότητα στους ερευνητές να κατασκευάσουν τα ελεγχόμενα συστήματά τους χωρίς να βασίζονται σε μεγάλης κλίμακας εμπορικές εγκαταστάσεις. Πολλοί ερευνητές τις δεκαετίες του 1980 και του 1990 χρησιμοποίησαν αυτό το σύστημα για να δοκιμάσουν και να επικυρώσουν τις ιδέες τους.

Καθώς η έρευνα συνεχίζει να εξελίσσεται, η προσπάθεια για βελτίωση της κομποστοποίησης άρχισε να αυξάνεται. Δύο σημαντικοί παράγοντες αποτελούν τη βάση αυτών των κινήσεων, η απολύμανση (διασφάλιση ότι το υλικό ήταν ασφαλές στη χρήση από την άποψη των παθογόνων μικροοργανισμών) και η σταθεροποίηση (έλεγχος της διάσπασης των πιο εύκολα βιοαποδομήσιμων συστατικών με όσο το δυνατόν πιο ελεγχόμενο και γρήγορο τρόπο). Αν και αυτοί οι δύο παράγοντες αποτέλεσαν τη βάση πολλών ερευνών από τη δεκαετία του 1970, ωστόσο, οι τρόποι με τους οποίους έπρεπε να αξιολογηθούν αποτέλεσαν αντικείμενο πολλών ερευνών (Steniford et al., 2016). Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει κοινή συμφωνία για τον τρόπο μέτρησής τους, αλλά πολλά εθνικά πρότυπα έχουν ενσωματώσει μεθόδους αξιολόγησης και όρια στους κανονισμούς τους.

Τα τελευταία 20 χρόνια, πολλοί παράγοντες έχουν επηρεάσει την αύξηση των μονάδων κομποστοποίησης σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη, ωστόσο, οι κύριες δυνάμεις ήταν η οδηγία για την υγειονομική ταφή, το κόστος διάθεσης και οι οικονομικές κυρώσεις. Με βάση την ποσότητα των οργανικών αποβλήτων που τοποθετήθηκαν σε ΧΥΤΑ το 1995, καθένα από τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έπρεπε να μειώσει την ποσότητα βιοαποδομήσιμου υλικού στους χώρους υγειονομικής ταφής.

Η διαχείριση της διαδικασίας κομποστοποίησης αποτελεί έναν παράγοντα μεγάλης σημασίας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για μελλοντική βελτίωση. Είναι απαραίτητοι δείκτες και αισθητήρες που μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση της διαδικασίας διαχείρισης. Η πιθανότητα σχηματισμού αερίων θερμοκηπίου

κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης προτρέπει την ανάγκη για σωστές διαδικασίες διαχείρισης, και ως εκ τούτου, την ανάγκη για περισσότερη γνώση σχετικά με το χειρισμό των ενζύμων, των μικροβιακών κοινοτήτων, των υποστρωμάτων και των συνθηκών επεξεργασίας για την αποτελεσματική μείωση των εκπομπών μεθανίου και οξειδίου του αζώτου. Για μελλοντική έρευνα, σε ορισμένους τομείς όπου απαιτείται έρευνα, το υπόβαθρο των ερευνητών θα καθορίσει γενικά την ατζέντα τους από την άποψη της αντιληπτής σημασίας της έρευνας σε διάφορους συγκεκριμένους τομείς. Ωστόσο, υπάρχει μια πρόκληση να δοκιμαστεί σε πιλοτική κλίμακα πόσο εύκολα μετρήσιμες βασικές παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες για πιο σύνθετες διαδικασίες και για να βοηθήσουν τον σωστό έλεγχο των εργασιών κομποστοποίησης. Για να λυθεί αυτό το ζήτημα, υπάρχει ανάγκη για αισθητήρες που μπορούν να μετρήσουν τις αέριες φάσεις, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για χρονοβόρα και κουραστικά βήματα. Αυτό μπορεί να αυξήσει τις ευκαιρίες για βελτίωση της μονάδας κομποστοποίησης.

Επίσης, σε αυτήν την εποχή ο προσδιορισμός αλληλουχίας DNA είναι σχετικά προσιτός σε σύγκριση με αυτό που ήταν παλιά. Η έρευνα καλό είναι να αξιοποιήσει αυτή την ευκαιρία για να εφαρμόσει τεχνικές αλληλούχισης για να καταστεί δυνατή η σωστή και πλήρης κατανόηση των μικροβιακών κοινοτήτων και των λειτουργιών των ενζύμων στην κομποστοποίηση. Αυτές οι ενζυμικές λειτουργίες περιλαμβάνουν την παραγωγή αερίων θερμοκηπίου, την παραγωγή οργανικών αποβλήτων και τη δημιουργία οσμής.

Συμπερασματικά, η ακατάλληλη διαχείριση απορριμμάτων είναι μια κοινή πρακτική που δεν είναι ασφαλής και μπορεί να αντικατασταθεί με μια ασφαλέστερη μέθοδο διαχείρισης απορριμμάτων, όπως η κομποστοποίηση. Ο κόσμος τείνει προς τη βελτίωση της περιβαλλοντικής και ανθρώπινης υγείας. Ως μορφή οργανικού λιπάσματος, η κομποστοποίηση μπορεί να έχει τον κομβικό ρόλο για την επίτευξη του προαναφερθέντος στόχου. Η εστίαση στην κομποστοποίηση θα προκαλέσει στροφή στη χρήση χημικών λιπασμάτων προς όφελος του κομποστ. Αυτή η αλλαγή θα προάγει την περιβαλλοντική και

ανθρώπινη υγεία μειώνοντας τον αριθμό των ρυπογόνων χημικών ουσιών που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Στην παρούσα κατάσταση, χρειάζεται ακόμη να γίνει αρκετή ευαισθητοποίηση σχετικά με τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας για την πλήρη αποδοχή της από τους αγρότες.

Όσον αφορά τις τεχνολογίες βελτίωσης, προτείνονται ορισμένες συστάσεις που θα βοηθήσουν στη βελτίωσή τους. Λόγω των μεγάλων θρεπτικών συστατικών που περιέχονται στα κομπόστ, συνιστάται η εξαγωγή μονοθρεπτικών συστατικών από τα κομπόστ. Πολλές φορές, όταν γίνεται ανάλυση εδάφους πριν από τη φύτευση, μπορεί να υπάρχει έλλειψη ενός θρεπτικού συστατικού. Η εξόρυξη μονολιπασμάτων από τη μορφή σύνθετου λιπάσματος του κομπόστ θα βοηθήσει πολύ στην πρόληψη της υπερβολικής εφαρμογής θρεπτικών συστατικών που δεν χρειάζονται.

Επιπλέον, οργανισμοί που είναι ικανοί να αποικοδομούν πολύπλοκα αποικοδομήσιμα υλικά μπορούν να διατεθούν στους αγρότες ως «εμβόλιο» για να επιταχύνουν τις αργές διαδικασίες κομποστοποίησης. Θα πρέπει επίσης να διεξαχθούν περισσότερες έρευνες για την ανακάλυψη του μηχανισμού παγίδευσης οσμών. Θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για παγίδευση CO<sub>2</sub> για να αποτραπεί η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου από την κομποστοποίηση. Εδώ και πολλά χρόνια, ερευνητές και εταιρείες έχουν οραματιστεί τη δυνατότητα των αστικών απορριμμάτων ως πηγή πρώτων υλών. Σε ολόκληρη την Ευρώπη, για παράδειγμα, οι εταιρείες απορριμμάτων έχουν μεταφέρει τις επενδύσεις τους σε συστήματα αναερόβιας χώνευσης ως αποτέλεσμα των κρατικών κινήτρων που τους παρέχονται. Αυτά τα κυβερνητικά κίνητρα θα μπορούσαν να φέρουν μια νέα εξέλιξη όπως η ενσωμάτωση των διεργασιών βιοενέργειας (αναερόβια χώνευση, βιοαπανθράκωση) στην κομποστοποίηση και τα υποπροϊόντα των διεργασιών βιοενέργειας θα μπορούσαν να κομποστοποιηθούν για να αυξήσουν την αξία τους, τα γεωπονικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Η ικανότητα του κομπόστ να βελτιώνει τόσο τη δομή όσο και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών προσθέτοντας στη θρεπτική ουσία που είναι



ήδη διαθέσιμη στο έδαφος ήταν ο κύριος παράγοντας που καθοδηγεί τη χρήση του στη φυτική παραγωγή. Η εστίαση των θρεπτικών συστατικών ήταν συνήθως στο άζωτο, αλλά έχουμε αναγνωρίσει ότι τα ορυκτά φωσφορικά που διατίθενται για τη φυτική παραγωγή είναι περιορισμένη πηγή και η διαθεσιμότητά του αναφέρθηκε ότι μειώνεται μετά το 2035. Έχοντας αυτό υπόψη, η χρήση του φωσφόρου στο κομπόστ σε συνδυασμό με πιο αποτελεσματική χρήση του φωσφόρου θα πρέπει να μπορεί, τουλάχιστον, να παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των πηγών.

Επιπλέον, για να παραχθεί ένα αποτελεσματικό κομπόστ, μπορούν να προστεθούν στο κομπόστ φυτικής προέλευσης αντινηματώδη, ιοκτόνο, βακτηριοκτόνο και μυκητοκτόνο. Αυτό θα βοηθήσει στην ενθάρρυνση της αποκλειστικά βιολογικής γεωργίας αποτρέποντας τις χημικές εφαρμογές. Συνιστάται να κομποστοποιούνται τα αργά αποικοδομούμενα υλικά χωριστά, έτσι ώστε τα αργά αποικοδομούμενα υλικά να μην επιμηκύνουν την περίοδο κομποστοποίησης άλλων υλικών. Θα πρέπει να διεξαχθεί περισσότερη έρευνα για να γνωρίζουμε εάν τα υλικά που χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να κομποστοποιηθούν επίσης μεταλλοποιούνται σταδιακά. Τα υλικά με αργή μεταλλοποίηση θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για διετές και πολυετείς καλλιέργειες, καθώς χρησιμεύουν ως μακροπρόθεσμη πηγή θρεπτικών συστατικών.

## Βιβλιογραφία

### Διεθνής

Abdel-Shafy, H.I., Mansour, M.S. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egypt. J. Petrol.* 2018, 27, 1275–1290.

Ahmed, M. et al., Innovative processes and technologies for nutrient recovery from wastes: A comprehensive review. *Sustainability* 2019, 11, 4938.

Alam, P., Ahmade, K. Impact of Solid Waste on Health and The Environment. *Int. J. Sustain. Dev. Green Econ.* 2013, 2, 165–168.

Ali, I.H. et al., Contamination and human health risk assessment of heavy metals in soil of a municipal solid waste dumpsite in Khamees-Mushait, Saudi Arabia. *Toxin Rev.* 2019, 1–14.

Alvarenga, P. et al., Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Manag.* 2015, 40, 44–52.

Ameen, A., Ahmad, J., Raza, S. Effect of pH and moisture content on composting of Municipal solid waste. *Int. J. Sci. Res. Publ.* 2016, 6, 35–37.

Artemio, M.-M. et al., Composting agroindustrial waste inoculated with lignocellulosic fungi and modifying the C/N ratio. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 2018, 9, 271–280.

Arumugam, K., et al., Investigation on paper cup waste degradation by bacterial consortium and *Eudrillus eugeinea* through vermicomposting. *Waste Manag.* 2018, 74, 185–193.

Arumugam, K. et al., Enhancing the post consumer waste management through vermicomposting along with bioinoculum. *Int. J. Eng. Trends Technol.* 2017, 44, 179–182.

Aruna, G., et al., An observational study on practices of disposal of waste Garbages in Kamakshi Nagar at Nellore. *Int. J. Appl. Res.* 2018, 4, 392–394.

Arvanitoyannis, I. S., Tserkezou, P. Corn and rice waste: A comparative and critical presentation of methods and current and potential uses of treated waste. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(6), 958–988. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01545.x>.

Atchley, S.H., Clark, J.B (1979). Variability of temperature, pH, and moisture in an aerobic composting process. *Appl. Environ. Microbiol.* 38(6): 1040-1044.

Awasthi, M.K. et al., Co-composting of organic fraction of municipal solid waste

mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresour. Technol.* 2015, 182, 200–207.

Awasthi, M.K. et al., Heterogeneity of biochar amendment to improve the carbon and nitrogen sequestration through reduce the greenhouse gases emissions during sewage sludge composting. *Bioresource Technol.* 2017, 224, 428–438.

Awasthi, S.K. et al., Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities. *Bioresource Technol.* 2020, 299, 122555.

Aziablé, E., Kolédzi, E.K. Study of Agronomic and Environmental Profile of Compost and Fine Fraction Produced and Stored in a Shed at Composting Site: ENPRO Composting Site, Lomé, Togo. *Science* 2018, 6, 95–98.

Bai, J., Shen, H., Dong, S. Study on eco-utilization and treatments of highway greening waste. *Proc. Environ. Sci.* 2010, 2, 25–31.

Bernal, M.P., Albuquerque, J.A., Moral, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.*, 2009, 100(22): 5444-5453.

Bhat, R.A., Dar, S.A., Dar, D.A., Dar, G. Municipal Solid Waste Generation and current Scenario of its Management in India. *Int. J. Adv. Res. Sci. Eng.* 2018, 7,

419–431.

Bhatti, A.A., Haq, S., Bhat, R.A. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microb. Pathog.* 2017, 111, 458–467.

Bian, B., et al., Pilot-scale composting of typical multiple agricultural wastes: Parameter optimization and mechanisms. *Bioresource Technol.* 2019, 287, 121482.

Bollen, G.J. (1993). Factors involved in inactivation of plant pathogens during composting of plant residues. In *Science and Engineering of Composting*, eds. H.A.J. Hoitink and H.M. Keener, pp. 301-18. Ohio, USA, Renaissance Publications, 728 pp.

Brambilla, G., et al., Potential impact on food safety and food security from persistent organic pollutants in top soil improvers on Mediterranean pasture. *Sci. Total Environ.* 2016, 543, 581–590.

Braunig, J. et al., Fate and redistribution of perfluoroalkyl acids through AFFF-impacted groundwater. *Sci. Total Environ.* 2017, 596–597, 360–368.

Brennan, R. et al., Management of landfill leachate: The legacy of European Union Directives. *Waste Manag.* 2016, 55, 355–363.

Cáceres, R., Malin'ska, K., Marfà, O.J.W.M. Nitrification within composting: A review. *Front. Microbiol.* 2018, 72, 119–137.

Cadena, E., et al., Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assess*, 2009, 14(5): 401-410.

Cai, Q.-Y. et al., Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge-composts. *J. Hazard. Mater.* 2007, 147, 1063–1072.

Cayuela, M.L. et al., (2012). Biochemical changes and GHG emissions during composting of lignocellulosic residues with different N-rich by-products. *Chemosphere*, 88(2): 196-203.

Chan, G.Y.-S., Wong, M.H. Landfill Sites: Revegetation. In *Encyclopedia of Soil Science*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2017; pp. 1322–1326.

Chen, Z., Kim, J., Jiang, X. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* in animal waste-based composts as influenced by compost type, storage condition and inoculum level. *J. Appl. Microbiol.* 2018, 124, 1311–1323.

Chennaou, M., et al., Evolution of Bacterial and Fungal Flora during In-Vessel Composting of Organic Household Waste under Air Pressure. *J. Mater. Environ.*

*Sci.* 2018, 9, 680–688.

Coelho, L. et al., Organic compost effects on *Stevia rebaudiana* weed control and on soil properties in the Mediterranean region. *Rev. Ciênc. Agrár.* 2019, 42, 109–121.

Cofie, O., Nikiema, J., Impraim, R., Adamtey, N., Paul, J., Koné, D. Co-Composting of Solid Waste and Fecal Sludge for Nutrient and Organic Matter Recovery; International Water Management Institute (IWMI): Colombo, Sri Lanka, 2016; Volume 3, p. 47.

Corral-Bobadilla, M., et al., Bioremediation of waste water to remove heavy metals using the spent mushroom substrate of *Agaricus bisporus*. *Water* 2019, 11, 454.

Dahlquist, R.M., Prather, T.S. Stapleton, J.J (2007). Time and temperature requirements for weed seed thermal death. *Weed Sci.*, 55: 619–625.

de Bertoldi, M. (2010). Production and utilization of suppressive compost: environmental, food and health benefits. In *Microbes at Work* (pp. 153-170). Springer Berlin Heidelberg.

Demirel, B., Scherer, P. (2008). The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: a review. *Rev.*

*Environ. Sci. Biotechnol*, 7(2): 173-190.

Diaz, L. F. and Bertoldi, M. (2007). History of Composting. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford *Compost Science and Technology*, pp. 7-25.

Dodgen, L.K. et al., Uptake and accumulation of four PPCP/EDCs in two leafy vegetables. *Environ. Pollut.* 2013, 182, 150–156.

Egley, G.H. (1990). High-temperature effects on germination and survival of weed seeds in soil. *Weed Sci.*, 38: 429–435.

Epelde, L., et al., Characterization of composted organic amendments for agricultural use. *Front. Sustain. Food Syst.* 2018, 2, 44.

Epstein E. (1997). *The Science of Composting*, CRC Press LLC, Florida, U.S.A. European commission.

Epstein, E. et al., A forced aeration system for composting wastewater sludge. *J. Water Pollut. Control Fed.* 1976, 48, 688–694.

Evans, T.D. (2001). An Update on Developments in Regulations Affecting Biosolids in the European Union. Proceedings of the WEF/AWWA/CWEA Joint



Residuals and Biosolids Management Conference, San Diego, California.

Fernández, J., M. Pérez and L.I. Romero (2008). Effect of the substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Bioresour. Technol.*, 99: 6075–6080.

Fowles, T.M.; Nansen, C. Insect-Based Bioconversion: Value from Food Waste. In *Food Waste Management*; Springer, Palgrave Macmillan: Cham, Switzerland, 2020; pp. 321–346.

Gabhane, J., S.P. et al., Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. *Bioresour. Technol.*, 2012, 114: 382-388.

Galitskaya, P. et al., Fungal and bacterial successions in the process of co-composting of organic wastes as revealed by 454 pyrosequencing. *PLoS ONE* 2017, 12, e0186051.

Gangwar, C., et al., Assessment of air pollution caused by illegal e-waste burning to evaluate the human health risk. *Environ. Int.* 2019, 125, 191–199.

Getahun, T., et al., Municipal solid waste generation in growing urban areas in Africa: Current practices and relation to socioeconomic factors in Jimma, Ethiopia. *Environ. Monit. Assess.* 2012, 184, 6337–6345.

Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. Biodegradable polymers. In Biodegradation-Life of Science; InTech: Rijeka, Croatia, 2013; pp. 141–185.

Gill, S.S., Jana, A.M. Shrivastav, A. (2014). Aerobic bacterial degradation of kitchen waste: A review. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.*, 3(6): 477.

Golueke, C.G. (1982). When is Compost Safe, *BioCycle*, 23: 28-38.

Gonawala, S.S., Jardosh, H. Organic Waste in Composting: *A brief review. Int. J. Curr. Eng. Technol.* 2018, 8, 36–38.

Hafeez, M., Gupta, P., Gupta, Y.P. Rapid Composting of Different Wastes with Yash Activator Plus. *Int. J. Life Sci. Sci. Res.* 2018, 4, 1670–1674.

Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers.

Herrero, M. et al., Human exposure to trace elements and PCDD/Fs around a hazardous waste landfill in Catalonia (Spain). *Sci. Total Environ.* 2020, 710, 136313.

Hoitink, H.A., Fahy, P.C. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annu. Rev. Phytopathol.* 1986, 24, 93–114.

Hoitink, H.A.J, Fahy, P.C (1986). Basis for the Control of Soilborne Plant Pathogens With Composts. *Annu. Rev. Phytopathol*, 24: 93-114.

Holanda, R., Johnson, D.B. Removal of zinc from circum-neutral pH mine-impacted waters using a novel “hybrid” low pH sulfidogenic bioreactor. *Front. Environ. Sci.* 2020, 8, 22.

Hou, N., et al., Role of psychrotrophic bacteria in organic domestic waste composting in cold regions of China. *Bioresour. Technol.* 2017, 236, 20–28.

Hu, T.J., et al., Use of potassium dihydrogen phosphate and sawdust as adsorbents of ammoniacal nitrogen in aerobic composting process. 2007, *J. Hazard Mater*, 141(3): 736-744.

Huang, J., et al., Chemical structures and characteristics of animal manures and composts during composting and assessment of maturity indices. *PLoS ONE* 2017, 12, e0178110.

Iewkittayakorn, J., Chungsiriporn, J., Rakmak, N. Utilization of waste from concentrated rubber latex industry for composting with addition of natural activators. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 2018, 40, 113–120.

Imam, A. et al., Solid waste management in Abuja, *Nigeria. Waste Manag.* 2008, 28, 468–472.

Ishii, K., Takii, S. Comparison of microbial communities in four different composting processes as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *J. Appl. Microbiol.* 2003, 95, 109–119.

Jafari, M.J. et al., Experimental optimization of a spray tower for ammonia removal. *J. Atmos. Pollut. Res.* 2018, 9, 783–790.

Jalal, S.Y., Hanna, N.S., Shekha, Y.A. The effects of Insects on the Physicochemical Characteristics During Composting. *Iraqi J. Sci.* 2019, 2426–2432.

Jeong, Y.K., Kim, J.S. (2001). Anew method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes. *Bioresour. Technol.*, 79(2): 129-133.

Jeswani, H.; Azapagic, A. Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK. *Waste Manag.* 2016, 50, 346–363.

Ji, L. et al., Municipal solid waste incineration in China and the issue of acidification: A review. *Waste Manag. Res.* 2016, 34, 280–297.

Jiang, T. et al., Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. 2011, *J. Environ. Sci.*, 23(10): 1754-1760.

Jiang, T., G. et al., (2015). Effects of aeration method and aeration rate on greenhouse gas emissions during composting of pig feces in pilot scale. *J. Environ. Sci.*, 31: 124-132.

Jiang, Y., et al., Air bag bioreactor to improve biowaste composting and application. *J. Clean. Prod.* 2019, 237, 117797.

JICA / Dar Es Salaam City Commission (1997). Study on Solid waste Management for Dar es Salaam City. Final report, Volume 1, Executive Summary. Dar es Salaam, Tanzania.

Jindo, K., et al., Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresour. Technol.* 2012, 110, 396–404.

Kammoun, M., et al., The positive effect of phosphogypsum-supplemented composts on potato plant growth in the field and tuber yield. *J. Environ. Manag.* 2017, 200, 475–483.

Katoh, M., Kitahara, W., Sato, T. Sorption of lead in animal manure compost: Contributions of inorganic and organic fractions. *Water Air Soil Pollut.* 2014, 225, 1828.

Kiango, S., Amend, J. (2001). Linking (peri-) urban agriculture and organic waste management in Dar es Salaam. In: *Waste Composting for Urban and Peri-Urban Agriculture: Closing the Rural-Urban Nutrient Cycle in Sub-Saharan Africa*. ed: Drechsel, P., Kunze, D. International Water Management Institute & Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cabi Publishing, Wallingford, UK.

Khan, M., Chniti, S., Owaid, M. An overview on properties and internal characteristics of anaerobic bioreactors of food waste. *J. Nutr. Health Food Eng.* 2018, 8, 319–322.

Khan, S.A., Suleman, M., Asad, M. Assessment of pollution load in marble waste water in Khairabad, District Nowshera, Khyber Pukhtunkhwa, Pakistan. *Int. J. Econ. Environ. Geol.* 2019, 8, 35–39.

Khater, E. Some physical and chemical properties of compost. *Int. J. Waste Resour.* 2015, 5, 1–5.

Košnár, Z. et al., Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) present in biomass fly ash by co-composting and co-vermicomposting. *J. Hazard. Mater.* 2019, 369, 79–86.

Langdon, K.A., et al., Preliminary ecological and human health risk assessment for organic contaminants in composted municipal solid waste generated in New South Wales, *Australia. Waste Manag.* 2019, 100, 199–207.

Larney, F.J., Blackshaw, R.E. (2003). Weed seed viability in composted beef cattle feedlot manure. *J. Environ Qual.*, 32: 1105–1113.

Lasaridi, K.E. et al., The Evaluation of Hazards to Man and the Environment during the Composting of Sewage Sludge. *Sustainability*, 2018, 10, 2618.

Lawal, T.E., Babalola, O.O. Assessing the associated challenges in the use of animal manure in plant growth. *J. Hum. Ecol.* 2014, 48, 285–297.

Lewis, S.E., Brown, A.V. Comparative leaf decomposition rates including a non-native species in an urban Ozark stream. *J. Arkansas Acad. Sci.* 2010, 64, 92–96.

Liang, C., Das, K.C., McClendon, R. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresour. Technol.*, 86(2), 131-137.

Limaye, L., et al., Application of Potent Actinomycete Strains for Bio-Degradation of Domestic Agro- Waste by Composting and Treatment of Pulp-

Paper Mill Effluent. *Adv. Microbiol.* 2017, 7, 94–108.

Lin, Y., et al., Potential biocontrol *Bacillus* sp. strains isolated by an improved method from vinegar waste compost exhibit antibiosis against fungal pathogens and promote growth of cucumbers. *Biol. Control* 2014, 71, 7–15.

Loks, N., et al., The effects of fertilizer residues in soils and crop performance in northern Nigeria: A review. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.* 2014, 4, 180–184.

Luo, G., et al., Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 2018, 124, 105–115.

Luo, X., et al., Use of biochar-compost to improve properties and productivity of the degraded coastal soil in the Yellow River Delta, China. *J. Soils Sediments* 2017, 17, 780–789.

Majbar, Z., et al., Co-composting of Olive Mill Waste and Wine-Processing Waste: An Application of Compost as Soil Amendment. *J. Chem.* 2018, 2018, 7918583.

Mani, D., Kumar, C. Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: An overview with special reference to phytoremediation. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2014, 11, 843–872.



Masowa, M.M., et al., Physico-chemical properties and phyto-toxicity assessment of cocomposted winery solid wastes with and without effective microorganism inoculation. *Res. Crops* 2018, 19, 549–559.

Maulini-Duran, C. et al., (2013). A systematic study of the gaseous emissions from biosolids composting: Raw sludge versus anaerobically digested sludge. *Bioresour. Technol*, 147: 43-51.

Mehta, C.M., et al., Microbial Diversity and Bioactive Substances in Disease Suppressive Composts from India. 2016, *Comp. Sci. Uti.*, 24(21): 105-116.

Mehta, C.M., et al., Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste Manage*, 2016, 34(3): 607-622.

Mehta, C.M., et al., Role of microbiologically rich compost in reducing biotic and abiotic stresses. In: T. Satyanarayana, B.N. Johri and A. Prakash (Ed.) *Microorganisms in environmental management*. 2012, Springer, New York pp. 113-134.

Mertenat, A., Diener, S., Zurbrügg, C. Black Soldier Fly biowaste treatment—Assessment of global warming potential. *Waste Manag.* 2019, 84, 173–181.

Miller, F.C., Finstein, M.S. Materials balance in the composting of wastewater sludge as affected by process control strategy. *J. Water Pollut. Control Fed.* 1985, 57, 122–127.

Misra, R., Roy, R., Hiraoka, H. *On-Farm Composting Methods*, UN-FAO: Rome, Italy, 2003; pp. 7–26.

Mohammed, A., Elias, E. Domestic solid waste management and its environmental impacts in Addis Ababa city. *J. Environ. Waste Manag.* 2017, 4, 194–203.

Mohammed, A., et al., Driving factors of CO<sub>2</sub> emissions and nexus with economic growth, development and human health in the Top Ten emitting countries. *Resour. Conserv. Recycl.* 2019, 148, 157–169.

Morales, G.E., Wolff, M. Insects associated with the composting process of solid urban waste separated at the source. *Rev. Bras. Entomol.* 2010, 54, 645–653.

Morales-Polo, C., Cledera-Castro, M.D.M., Moratilla Soria, B.Y. Reviewing the anaerobic digestion of food waste: From waste generation and anaerobic process to its perspectives. *Appl. Sci.* 2018, 8, 1804.

Ogbonna, A. et al., Optimization of Cellulase Production and Biodegradation of *Artemisia annua* L. wastes by *Aspergillus niger* and *Trichoderma viride*. *J. Acad.*

*Ind. Res.* 2015, 3, 598.

Olanrewaju, O.S., Glick, B.R., Babalola, O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2017, 33, 197.

Onwosi, C. O. et al., Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Management*, 190, 140–157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>.

Ozdemir, S., et al., Composting of sewage sludge with mole cricket: Stability, maturity and sanitation aspects. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2019, 16, 5827–5834.

Pampuro, N. et al., Fertilizer value and greenhouse gas emissions from solid fraction pig slurry compost pellets. *J. Agric. Sci.* 2017, 155, 1646–1658.

Pane, C., et al., Effects of compost tea treatments on productivity of lettuce and kohlrabi systems under organic cropping management. *Ital. J. Agron.* 2014, 9, 153–156.

Pane, C., et al., Disease suppressiveness of agricultural greenwaste composts as related to chemical and bio-based properties shaped by different on-farm composting methods. *Biol. Control* 2019, 137, 104026.

Parkinson, R., et al., (2004). Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.*, 91(2): 171-178.

Piñero, J.C. et al., Insect-based compost and vermicompost production, quality and performance. *Renew. Agric. Food Syst.* 2020, 35, 102–108.

Pose-Juan, E., et al., Influence of herbicide triasulfuron on soil microbial community in an unamended soil and a soil amended with organic residues. *Front. Microbiol.* 2017, 8, 378.

Purkayastha, D., et al., Isolation and morphological study of ecologically-important insect “*Hermetia illucens*” collected from Roorkee compost plant. *Pollution*, 2017, 3, 453–459.

Ogwueleka, T.C. Municipal solid waste characteristics and management in Nigeria. *Iran. J. Environ. Health Sci. Eng.* 2009, 6, 173–180.

Qiu, X., et al., Microbial community responses to biochar addition when a green waste and manure mix are composted: A molecular ecological network analysis. *Bioresour. Technol.* 2019, 273, 666–671.

Razaq, M., Zhang, P., Shen, H.-L. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. PLoS ONE 2017, 12, e0171321.

Romano, R.T., Zhang, R. (2011). Anaerobic digestion of onion residuals using a mesophilic Anaerobic Phased Solids Digester. *Biomass Bioenerg*, 35(10): 4174–4179.

Rynk, R. (1992). On-Farm Composting Handbook. Monographs of the Society for Research in Child Development, 77, 132. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5834.2012.00684.x>

Sahay, S., et al., Waste water irrigation in the regulation of soil properties, growth determinants, and heavy metal accumulation in different Brassica species. *Environ. Monit. Assess.* 2019, 191, 107.

Samir, K.K., et al., (2010). Bioenergy and biofuel from biowastes and biomass. Reston: American Society of Civil Engineers: 44.

Sánchez-Monedero, M.A., et al., Agronomic Evaluation of Biochar, Compost and Biochar-Blended Compost across Different Cropping Systems: Perspective from the European Project FERTIPLUS. *Agronomy* 2019, 9, 225.

Sharholy, M., et al., Municipal solid waste management in Indian cities—A review. *Waste Manag.* 2008, 28, 459–467.

Sharma, A., et al., Efficient microorganism compost benefits plant growth and improves soil health in Calendula and Marigold. *Hortic. Plant J.* 2017, 3, 67–72.

Shen, Y., L. et al., (2011). Influence of aeration on CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture. *Waste Manage*, 31(1): 33-38.

Sigmund, G. et al., Influence of compost and biochar on microbial communities and the sorption/degradation of PAHs and NSO-substituted PAHs in contaminated soils. *J. Hazard. Mater.* 2018, 345, 107–113.

Singh, S., Nain, L. Microorganisms in the Conversion of Agricultural Wastes to Compost. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.* 2014, 80, 473–481.

Soares, M.A., et al., Evaluation of eggshell-rich compost as biosorbent for removal of Pb (II) from aqueous solutions. *Water Air Soil Pollut.* 2016, 227, 150.

Steiner, B.M., McClements, D.J., Davidov-Pardo, G. Encapsulation systems for lutein: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 2018, 82, 71–81.

Stentiford, E., Sánchez-Monedero, M.A. Past, Present and Future of Composting Research; International Society for Horticultural Science (ISHS): Leuven,

Belgium, 2016, 1–10.

Sundberg, C., Navia, R. Is there still a role for composting? *Waste Manag. Res.* 2014, 32, 459–460.

Tan, X.B. et al., Semi-continuous cultivation of *Chlorella vulgaris* using chicken compost as nutrients source: Growth optimization study and fatty acid composition analysis. *Energy Convers. Manag.* 2018, 164, 363–373.

Tian, W., et al., (2012). Assessment of the maturity and biological parameters of compost produced from dairy manure and rice chaff by excitation–emission matrix fluorescence spectroscopy. *Bioresour. Technol.*, 110: 330-337.

Toledo, M., et al., Monitoring of the composting process of different agroindustrial waste: Influence of the operational variables on the odorous impact. *Waste Manag.* 2018, 76, 266–274.

Tsang, D.C. et al., Arsenic and copper stabilization in a contaminated soil by coal fly ash and green waste compost. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2014, 21, 10194–10204.

Uyizeye, O.C., Thiet, R.K., Knorr, M.A. Effects of community-accessible biochar and compost on diesel-contaminated soil. *Bioremediat. J.* 2019, 23, 107–117.

Van Epps, A., Blaney, L. Antibiotic residues in animal waste: occurrence and degradation in conventional agricultural waste management practices. *Curr. Pollut. Rep.* 2016, 2, 135–155.

Varjani, S.J., Gnansounou, E., Pandey, A. Comprehensive review on toxicity of persistent organic pollutants from petroleum refinery waste and their degradation by microorganisms. *Chemosphere* 2017, 188, 280–291.

Vavilin, V.A., et al., Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: an overview. *Waste Manage.* 2008, 28(6): 939- 951.

Ventorino, V., et al., Soil tillage and compost amendment promote bioremediation and biofertility of polluted area. *J. Clean. Prod.* 2019, 239, 118087.

Wackernagel, M., et al., Ecological Footprint Accounting: Comparing Resource Availability with an Economy's Resource Demand. 2004, *Aging Americans*, 85.

Wang, D. et al., The EU Landfill Directive Drove the Transition of Sustainable Municipal Solid Waste Management in Nottingham City, UK. In *Proceedings of the 7th Symposium on Energy from Biomass Waste*, Venice, Italy, 15–18 October 2018; Available online: <https://www.researchgate.net/publication/328305204> [15/02/2022].



Wang, D., et al., Future improvements on performance of an EU landfill directive driven municipal solid waste management for a city in England. *Waste Manag.* 2020, 102, 452–463.

Wang, H., et al., Decomposition and humification of dissolved organic matter in swine manure during housefly larvae composting. *Waste Manag. Res.* 2016, 34, 465–473.

Wang, Y.-S., Shelomi, M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods* 2017, 6, 91.

Wei, Y. et al., Environmental challenges impeding the composting of biodegradable municipal solid waste: A critical review. *Resour. Conserv. Recycl.* 2017, 122, 51–65.

Wiese, A.F., et al., High temperature composting of cattle feedlot manure kills weed seed. *Appl. Eng. Agric.*, 1998, 14: 377–380.

Willson, G.B., et al., Manual for Composting Sewage Sludge by the Beltsville Aerated-Pile Method. USDA, EPA 600/8-80 002; Cincinnati, Ohio, USA. 1980, pp. 9–73. Available online: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.391.3832&rep=rep1&type=pdf>

Wilson, G. Combining raw materials for composting. *J. BioCycle* 1989, 29, 82–

85.

Wu, H., Liu, B., Pan, S. *Thermoactinomyces guangxiensis* sp. nov. a thermophilic actinomycete isolated from mushroom compost. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2015, 65, 2859–2864.

Xie, Y., Qiu, N., Wang, G. Toward a better guard of coastal water safety—Microbial distribution in coastal water and their facile detection. *Mar. Pollut. Bull.* 2017, 118, 5–16.

Yamamoto, N., Nakai, Y. Microbial Community Dynamics During the Composting Process of Animal Manure as Analyzed by Molecular Biological Methods. In *Understanding Terrestrial Microbial Communities*; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 151–172.

Yan, Z. et al., The effects of initial substrate concentration, C/N ratio, and temperature on solid-state anaerobic digestion from composting rice straw. *Bioresour. Technol.* 2015, 177, 266–273.

Yazdani, R. et al., (2012). Performance evaluation of an anaerobic/aerobic landfill-based digester using yard waste for energy and compost production. *Waste Manage*, 32(5): 912-919.

Yu, H. et al., (2015). Bioelectrochemically-assisted anaerobic composting process

enhancing compost maturity of dewatered sludge with synchronous electricity generation. *Bioresour. Technol*, 193: 1-7.

Yu, H. et al., The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresour. Technol.* 2019, 271, 228–235.

Yu, Y., et al., Health implication of heavy metals exposure via multiple pathways for residents living near a former e-waste recycling area in China: A comparative study. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2019, 169, 178–184.

Zahir, F. et al., Low dose mercury toxicity and human health. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2005, 20, 351–360.

Zeng, J., Price, G.W., Arnold, P. (2012). Evaluation of an aerobic composting process for the management of Specified Risk Materials (SRM). *J. Hazard Mater.*, 219: 260-266.

Zhang, X., et al., Research, P. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2013, 20, 8472–8483.

Zhao, G.H., et al., Effects of drying pretreatment and particle size adjustment on the composting process of discarded flue-cured tobacco leaves. *Waste Manag.*

*Res.* 2017, 35, 534–540.

Zhu, N. (2007). Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresour. Technol*, 98(1): 9-13.

## **Ελληνική**

Ζορμπάς Α. (1999), *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Κομποστοποίηση της Ιλύος με Χρήση Ζεόλιθων*, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κατσίρη Α.. (2003). *Λιπασματοποίηση απορριμμάτων*. Σημειώσεις για το μάθημα «Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και Ιλύος», Ε.Μ.Π..

Λαζαρίδη Κ. 2000. *Βιολογικές Επεξεργασίες Στερεών Αποβλήτων*, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Λάλας Δ. κ.α.. Σχέδιο τελικής έκθεσης προς το ινστιτούτο τοπικής αυτοδιοίκησης για την μελέτη «Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων» , 2007. Αθήνα Απρίλιος.

Μανιός, Θ. (2009). *Κομποστοποίηση οργανικών υπολειμμάτων*, Εργαστήριο Διαχείρισης Στερεών Υπολειμμάτων & Υγρών Αποβλήτων, ΤΕΙ Κρήτης.

Φραγγελάκης Ε. (2006). *Κομποστοποίηση Οργανικού Κλάσματος Οικιακών Απορριμμάτων*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.

## Παράρτημα





