



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## **ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Της Δέσποινας Κουβούση  
Α.Μ. Φοιτήτριας : 1412016025

**«Διαχείριση βιοαποβλήτων σε μικρές κοινότητες  
με την μέθοδο της οικιακής κομποστοποίησης:  
Η περίπτωση του Κέντρου Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ),  
Καρά Τεπέ στην Λέσβο»**



Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτρης-Φραγκίσκος Λέκκας

Εξεταστική Επιτροπή: Βακάλης Στέργιος, Φουντουλάκης Μιχάλης

Μυτιλήνη 2021

## Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δημήτριο Λέκκα, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για τις χρήσιμες συμβουλές, τις υποδείξεις και την εν γένει καθοδήγηση που μου παρείχε.

Τον Υποψήφιο Διδάκτορα Γιάννη Δασκαλούδη για την βοήθεια, κατανόηση και την άμεση ανταπόκριση στα ερωτήματά μου.

Θα ήταν παράληψη μου να μην αναφερθώ στις τις καθηγήτριες Νίκη Γεωργή και Εριφύλη Ζαφειρίου για την καθοδήγηση και βοήθεια τους στις εργαστηριακές αναλύσεις χωρίς τις οποίες δεν θα ήταν εφικτή η πραγματοποίηση της διπλωματικής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Ευαγγελία Κικαρέα για τις βοηθητικές εικονογραφήσεις που δημιούργησε.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, τον σύντροφο μου, τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου για την υποστήριξη και την κατανόηση σε αυτήν την περίοδο της ζωής μου.

## Περίληψη

Η διαχείριση των βιοαποβλήτων με αειφόρο τρόπο είναι πλέον επιτακτική ανάγκη της σύγχρονης κοινωνίας. Οι εκπομπές μεθανίου, που επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τα στραγγίσματα γεμάτα με οργανικό και ανόργανο φορτίο, είναι μερικά από τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει η ανεξέλεγκτη απόρριψη βιοαποδομήσιμων αποβλήτων στο περιβάλλον. Όπως τονίζεται στους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων διαχείρισης και επεξεργασίας των αποβλήτων είναι αναπόφευκτη. Η κομποστοποίηση είναι μία εναλλακτική φυσική μέθοδος η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων. Το κομπόστ ως το τελικό προϊόν από την διαδικασία της κομποστοποίησης, είναι εύκολο να δημιουργηθεί. Ακόμη, ένα υψηλής ποιότητας κομπόστ παρέχει οικονομικά οφέλη, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Η παρούσα εργασία εστίασε στην διαχείριση βιοαποβλήτων μέσα στο Κέντρο Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ) του Καρά Τεπέ στην Λέσβο, με την μέθοδο της οικιακής κομποστοποίησης. Ειδικότερα, σχεδιάστηκε ένα σύστημα δειγματοληψίας το οποίο βοήθησε στην λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος της παραγωγή στερεών αποβλήτων, στο σύνολο του πληθυσμού. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές κομποστοποίησης με ενεργητικό σύστημα αερισμού (active aeration system) που περιείχαν κυρίως απόβλητα τροφίμων (από το ΚΥΤ του Καρά Τεπέ) και ελαιουργικά παραπροϊόντα. Στις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν δύο οικιακοί κομποστοποιητές που ονομάστηκαν Κ1 και Κ2. Ο Κ1 περιείχε: τροφικά υπολείμματα και φύλλα ελιάς, ενώ ο Κ2 περιείχε: τροφικά υπολείμματα, φύλλα ελιάς και διφασικό πυρήνα. Κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης γινόντουσαν μετρήσεις των παραμέτρων: θερμοκρασία, υγρασία, οξυγόνο, pH, θρεπτικά. Ενώ, στο τέλος της διαδικασίας υπολογίστηκαν οι παράμετροι: ηλεκτρική αγωγιμότητα, φυτοτοξικότητα και μικροβιακή αναπνοή. Συμπερασματικά, από τις συνολικές μετρήσεις προέκυψε ότι τα επίπεδα υγρασίας είχαν μεγάλες αυξομειώσεις και επηρέασαν την πορεία της θερμοκρασίας. Στην συνέχεια, το pH επηρεάστηκε από την εκτεταμένη θερμόφιλη φάση φτάνοντας σε υψηλά επίπεδα και στους δύο σωρούς. Παράλληλα, στους σωρούς το οξυγόνο διατηρήθηκε σε ιδανικά επίπεδα όπως και τα θρεπτικά. Από τις τελικές μετρήσεις, το κομπόστ Κ1 κρίθηκε, φυτοτοξικό, σταθερό και προβληματικό για τα περισσότερα φυτά στην χρήση του ως εδαφοβελτιωτικού. Ωστόσο, το κομπόστ Κ2 κρίθηκε μη φυτοτοξικό, σταθερό και πιθανόν προβληματικό για τα πολύ ευαίσθητα φυτά στην χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό. Συνεπώς, το κομπόστ Κ2 χαρακτηρίστηκε πιο αποδοτικό σε σχέση με το κομπόστ Κ1. Συνολικά, η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι εφικτή να αξιοποιηθεί σε αντίστοιχες υποδομές – για την επιτόπου αξιοποίηση των υπολειμμάτων τροφίμων - και τα τελικά κόστη του νερού και του ρεύματος αυτού του πειράματος κρίθηκαν αρκετά προσιτά.

## Περιεχόμενα

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Εισαγωγή .....   | 7  |
| 2.    | Στερεά Απόβλητα .....  | 9  |
| 2.1   | Κατηγορίες στερεών αποβλήτων .....                             | 9  |
| 2.2   | Πηγές στερεών αποβλήτων.....                                   | 9  |
| 2.3   | Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα (BAA) και Βιοαπόβλητα (BA).....        | 10 |
| 2.4   | Πηγές βιοαποβλήτων.....  | 10 |
| 2.4.1 | Υπολείμματα βιομηχανιών τροφίμων.....                          | 10 |
| 2.4.2 | Κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά απόβλητα.....                    | 11 |
| 2.4.3 | Γεωργικά υπολείμματα καλλιεργειών .....                        | 11 |
| 2.4.4 | Δασοκομικά υπολείμματα και απόβλητα δασοκομικών προϊόντων..... | 11 |
| 2.4.5 | Ιλύς μονάδων και επεξεργασίας αστικών λυμάτων .....            | 11 |
| 2.4.6 | Οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων .....            | 12 |
| 2.4.7 | Απόβλητα ελαιοτριβείων .....                                   | 13 |
| 2.5   | Θεσμικό πλαίσιο ορθής διαχείριση βιοαποβλήτων .....            | 14 |
| 2.5.1 | Ευρωπαϊκή πολιτική.....  | 14 |
| 2.5.2 | Ελληνική Νομοθεσία.....  | 17 |
| 2.6   | Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαποβλήτων.....                         | 21 |
| 2.6.1 | Αερόβια διεργασία.....   | 21 |
| 2.6.2 | Αναερόβια διεργασία.....                                       | 21 |
| 2.6.3 | Αποτέφρωση.....  | 23 |
| 2.6.4 | Κομποστοποίηση .....   | 24 |
| 3.    | Κομποστοποίηση και κομπόστ .....                               | 25 |
| 3.1   | Η προσφορά της κομποστοποίησης στις σύγχρονες κοινωνίες.....   | 25 |
| 3.2   | Τύποι κομποστοποίησης.....                                     | 26 |
| 3.2.1 | Σύστημα σειραδίων.....   | 26 |
| 3.2.2 | Αναδευόμενα σειράδια.....                                      | 26 |
| 3.2.3 | Στατικά αεριζόμενα σειράδια.....                               | 27 |
| 3.2.4 | Κλειστά συστήματα.....   | 27 |
| 3.3   | Στάδια κομποστοποίησης .....                                   | 27 |
| 3.4   | Κύριοι παράγοντες κομποστοποίησης .....                        | 29 |
| 3.4.1 | Οξυγόνο .....  | 29 |
| 3.4.2 | Υγρασία.....   | 30 |
| 3.4.3 | Θερμοκρασία .....  | 30 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.4.4 | ρΗ .....   | 31 |
| 3.4.5 | Θρεπτικά και λόγος C/N .....                                 | 31 |
| 3.4.6 | Παθογόνοι μικροοργανισμοί.....                               | 31 |
| 3.4.7 | Οσμές .....  | 32 |
| 3.5   | Τελικό προϊόν .....  | 33 |
| 3.5.1 | Σταθεροποίηση και ωρίμανση του κομπόστ.....                  | 33 |
| 3.5.2 | Ποιότητα τελικού προϊόντος .....                             | 33 |
| 3.5.3 | Χαρακτηριστικά προϊόντος.....                                | 35 |
| 4.    | Μονάδα φιλοξενίας Καρά Τεπέ και διαχείριση βιοαποβλήτων..... | 36 |
| 4.1   | Αριθμητικά στοιχεία του Κέντρου και παραγωγή ΑΣΑ.....        | 36 |
| 4.2   | Ισχύον σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων εντός του ΚΥΤ .....  | 37 |
| 5.    | Πειραματικό Σκέλος .....                                     | 39 |
| 5.1   | Εκτίμηση ποσότητας αποβλήτων και βιοαποβλήτων στο ΚΥΤ .....  | 39 |
| 5.1.1 | Περίοδος δειγματοληψίας .....                                | 39 |
| 5.1.2 | Περιγραφή πειράματος.....                                    | 39 |
| 5.1.3 | Συλλογή δεδομένων.....                                       | 41 |
| 5.2   | Διαχείριση των βιοαποβλήτων.....                             | 44 |
| 5.2.1 | Περίοδος και οργάνωση του πειράματος .....                   | 44 |
| 5.2.2 | Μέτρηση Οξυγόνου .....                                       | 45 |
| 5.2.3 | Μέτρηση Υγρασίας.....  | 45 |
| 5.2.4 | Μέτρηση Θερμοκρασίας .....                                   | 46 |
| 5.2.5 | Μέτρηση ρΗ.....  | 47 |
| 5.2.6 | Μέτρηση θρεπτικών (C, N) .....                               | 48 |
| 5.2.7 | Μέτρηση φυτοτοξικότητας.....                                 | 49 |
| 5.2.8 | Μέτρηση μικροβιακής αναπνευστικής δραστηριότητας .....       | 50 |
| 5.2.9 | Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).....                    | 51 |
| 6.    | Αποτελέσματα.....  | 53 |
| 6.1   | Ποσότητες απορριμμάτων και βιοαποβλήτων στο ΚΥΤ .....        | 53 |
| 6.2   | Ποσότητες απορριμμάτων ανά κάτοικο ανά σπίτι.....            | 55 |
| 6.3   | Αρχικά υλικά κομπόστ .....                                   | 57 |
| 6.4   | Θερμοκρασία.....   | 59 |
| 6.5   | Οξυγόνο.....   | 62 |
| 6.6   | Υγρασία .....  | 63 |
| 6.7   | ρΗ.....  | 64 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.8    | Θρεπτικά .....                              | 65 |
| 6.9    | Φυτοτοξικότητα.....                         | 66 |
| 6.10   | Μικροβιακή αναπνευστική δραστηριότητα ..... | 68 |
| 6.11   | Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....                  | 69 |
| 6.12   | Ισοζύγιο μάζας – ενέργειας – νερού.....     | 70 |
| 6.12.1 | Ισοζύγιο ξηρής μάζας και νερού .....        | 70 |
| 6.12.2 | Ισοζύγιο ενέργειας .....                    | 73 |
| 6.13   | Κόστη.....                                  | 73 |
| 6.13.1 | Νερό .....                                  | 73 |
| 6.13.2 | Ηλεκτρισμός.....                            | 74 |
| 7.     | Συμπεράσματα και συζήτηση .....             | 75 |
| 8.     | Βιβλιογραφία .....                          | 78 |

## 1. Εισαγωγή

Ένα ζήτημα που έχει ενταθεί τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη, είναι αυξημένες προσφυγικές ροές. Στην προσφυγική κρίση που ξέσπασε το 2015 πολλοί αναζήτησαν άσυλο στα νησιά του Αιγαίου, όπου ένα από αυτά ήταν και η Λέσβος. Στην Λέσβο για να εξυπηρετηθούν οι ζητούντες ασύλου δημιουργήθηκαν δύο κέντρα ασύλου. Στην Μόρια και στον Καρά Τεπέ. Αυτά τα Κέντρα Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ) ήταν τοποθετημένα περίπου 7 χλμ. από την πόλη και είχαν στόχο την σίτιση και την στέγαση των προσφύγων μέχρις ότου να τους διατεθούν τα χαρτιά τους. Ωστόσο, το περιβαλλοντικό πρόβλημα που δημιουργεί μία ξαφνική μεταβολή του πληθυσμού εμφανίζεται κυρίως στην αύξηση της ποσότητας των αποβλήτων. Η συγκεκριμένη προπτυχιακή εργασία θα ερευνήσει τους τρόπους διαχείρισης στερεών αποβλήτων σε ΚΥΤ και πιο συγκεκριμένα την διαχείριση των βιοαποβλήτων στο κέντρο του Καρά Τεπέ.

Η εργασία οργανώθηκε πάνω στο ερώτημα πως μπορούμε να κάνουμε τη διαχείριση των βιοαποβλήτων πιο αποδοτική σε ένα ΚΥΤ. Αυτό σημαίνει, να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος μεταφοράς των αποβλήτων και να μειώσουμε τους όγκους που χρειάζονται τελική επεξεργασία. Για αυτό, αρχικά έπρεπε να μετρηθούν οι παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων, να διαχωριστούν τα βιοαπόβλητα από τα υπόλοιπα στερεά και να επεξεργαστούν με αποδοτικό τρόπο. Η αποτελεσματική μείωση του κόστους μεταφοράς και διαχείρισης των βιοαποβλήτων είναι εφικτή, εάν η διαχείριση γίνει μέσα στο προσφυγικό κέντρο (in-house) και κάνοντας χρήση φυσικών μεθόδων διαχείρισης όπως κομποστοποίηση. Επίσης, για να διατηρηθεί μακροπρόθεσμα μία τέτοια δράση χρειάζεται η συμβολή όσων διαμένουν στο ΚΥΤ. Συνεπώς, η εκπαίδευση των επισκεπτών σε θέματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων κρίθηκε απαραίτητη. Μία ολοκληρωμένη εικόνα αυτής της έρευνας είναι η Διαλογή των αποβλήτων στην Πηγή (ΔσΠ) και η διαχείριση τους μέσα στο ΚΥΤ. Επιπρόσθετα, η επιλεγμένη μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων ευθυγραμμίζεται με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως μακροπρόθεσμους στόχους την μείωση των παραγόμενων αποβλήτων παράλληλα με την διαχείριση των ήδη παραγόμενων με μεθόδους οι οποίες προωθούν την επαναχρησιμοποίηση (Στατιστικές αποβλήτων, Eurostat). Σύμφωνα με αυτούς τους βιώσιμους στόχους στα αστικά στερεά απόβλητα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις μεθόδους της ανακύκλωσης για τα υλικά όπως LDPE, PP, PET κ.α. και της κομποστοποίησης για τα βιοαποικοδομήσιμα υλικά όπως φλούδες από φρούτα και λαχανικά, κλαδιά, χρησιμοποιημένες χαρτοπετσέτες κ.α.

Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών διαχείρισης είναι πιο εύκολο να εφαρμοστούν σε μικρότερης κλίμακας κοινότητες όπως σε νησιά, έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη παρακολούθηση των στοιχείων. Όπως τονίζεται στην έρευνα των T. M. Skjølsvold et al. (2020) τα νησιά επειδή αποτελούνται από μία μίξη χαρακτηριστικών όπως μικρό μέγεθος, απομακρυσμένες και πυκνοκατοικημένες κοινότητες με μοναδικά κοινωνικά χαρακτηριστικά, είναι οι κατάλληλοι τόποι για την εφαρμογή τεχνολογικών καινοτομιών.

Η ακαταλόγιστη απόρριψη οργανικών αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον καθώς μέσα από φυσικές αναερόβιες διεργασίες παράγεται και εκπέμπεται το μεθάνιο όπου επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου παράλληλα δημιουργούνται στραγγίσματα τα οποία εμπεριέχουν υψηλό φορτίο οργανικών και ανόργανων υλικών.

Με βάση τα παραπάνω οι κύριοι στόχοι αυτής τη έρευνας είναι:

- i. να προσδιοριστεί το κατάλληλο δείγμα πληθυσμού για την αντιπροσωπευτική ανάλυση σύστασης των ΑΣΑ που παράγονται εντός του ΚΥΤ,
- ii. να εξεταστούν τα υλικά που είναι πιο κατάλληλα για την δημιουργία κομπόστ,
- iii. να εξεταστεί η τελική χρήση του κομπόστ καθώς και η εφαρμοσιμότητα αυτού του πειράματος σε πραγματικές συνθήκες. Δηλαδή, από τους ίδιους τους κάτοικους και για το σύνολο του πληθυσμού,
- iv. να γίνει η διαστασιολόγηση της απαραίτητης υποδομής (αριθμός κομποστοποιητών) που χρειάζεται για την επιτόπου διαχείριση των βιοαποβλήτων που παράγονται από το σύνολο του πληθυσμού,
- v. η εφαρμογή του σε μικρές κοινότητες με παρόμοιο πληθυσμό.

Παρακάτω, στο Κεφάλαιο 2 γίνεται η παρουσίαση στοιχείων και χαρακτηριστικών σχετικά με την παραγωγή των στερεών αποβλήτων και των βιοαποβλήτων μέσα από βιβλιογραφία. Παρατίθενται επίσης οι νόμοι που πλαισιώνουν τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Στην συνέχεια στο Κεφάλαιο 3, αναλύεται η διαχείριση των βιοαποβλήτων με τη διεργασία της κομποστοποίησης. Ειδικότερα αναλύονται: οι τύποι, οι κύριοι παράγοντες, τα στάδια και το τελικό προϊόν. Έπειτα στο Κεφάλαιο 4 γίνεται η περιγραφή της κατάστασης του Κέντρου Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ) στον Καρά Τεπέ.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα πληθυσμιακά στοιχεία και οι προϋπάρχοντες τρόποι διαχείρισης αποβλήτων στο ΚΥΤ στο Καρά Τεπέ. Ακόμη, περιγράφεται η μεθοδολογία του πειράματος που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση των ποσοτήτων των απορριμμάτων στο συγκεκριμένο Κέντρο αλλά και της διαδικασίας της κομποστοποίησης.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας ενώ στο Κεφάλαιο 7 γίνεται η σύνοψη και η συζήτηση τους στα συμπεράσματα.



## 2. Στερεά Απόβλητα

Στερεά απόβλητα ορίζουμε κάθε στερεό ή ημιστερεό υλικό το οποίο ο άνθρωπος θέλει ή πρέπει να απαλλαγεί από αυτό. Η προέλευση των υλικών είναι ποικίλη και ο διαχωρισμός επιβάλλεται γιατί εξυπηρετεί την καλύτερη οργάνωση και την καλύτερη διαχείριση τους. Η ευρωπαϊκή ένωση μόνο, δαπανά περίπου το 40% των χρημάτων για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων της.

### 2.1 Κατηγορίες στερεών αποβλήτων

- Αστικά απορρίμματα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού κ.λπ.)
- Στερεά ή υδαρή (με αξιολογικό ποσοστό αιωρούμενων ουσιών) απόβλητα που δεν μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά (ορισμένα βιομηχανικά, τοξικά ή αδρανή και απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας).
- Πετρελαιοειδή απόβλητα (προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ναυπηγεία, κ.λπ.).
- Απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.
- Απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων.
- Απόβλητα εκσκαφών (από ξηρά και θάλασσα).
- Απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων.
- Ιλύς από την επεξεργασία αστικών λυμάτων και τη βιομηχανία.
- Ιατρικά απόβλητα.
- Ελαστικά.
- Σκραπ (π.χ. αποσυρθέντα αυτοκίνητα, παλαιοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές).

Ακόμη, οι πηγές αυτών των αποβλήτων παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαχείριση τους. Όταν γνωρίζουμε την πηγή μπορούμε να τα διαχειριστούμε καλύτερα.

### 2.2 Πηγές στερεών αποβλήτων

Πίνακας 1: Πηγές στερεών αποβλήτων (πηγή: Κέντρο Εκπαιδευτική Έρευνας, 2020. Διαχείριση αποβλήτων απορριμμάτων)

| Πηγή  | Είδη   | Κατηγορία         |
|---|--|-------------------|
| Κατοικίες, Πολυκατοικίες  | Υπολείμματα τροφών, ζυμώσιμα, χαρτόνια, πλαστικά, υφάσματα, δέρματα, ξύλα, απόβλητα κήπων, γυαλιά, μέταλλα, ογκώδη αντικείμενα, επικίνδυνα οικιακά, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές | Οικιακά Απόβλητα  |
| Καταστήματα, εστιατόρια, γραφεία, ξενοδοχεία, μικρές βιοτεχνίες, τυπογραφεία, συνεργεία | Χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά, ξύλα, υπολείμματα τροφών, γυαλιά, μέταλλα, ειδικά απόβλητα (π.χ. επικίνδυνα, ηλεκτρικές/ ηλεκτρονικές συσκευές)  | Εμπορικά Απόβλητα |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Σχολεία, νοσοκομεία                               | Χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά, ξύλα, υπολείμματα τροφών, γυαλιά, μέταλλα, ειδικά απόβλητα (π.χ. επικίνδυνα, ηλεκτρικές/ ηλεκτρονικές συσκευές) | Απόβλητα ιδρυμάτων                     |
| Κατασκευές κτηρίων, δρόμων                        | Ξύλα, σκυρόδεμα, τούβλα, καλώδια, μέταλλα, χώμα, πέτρες   | Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων   |
| Καθαρισμός οδών, πάρκων, παραλιών, χώρων αναψυχής | Σκουπίδια, ξύλα, κλαδιά   | Απόβλητα καθαρισμού κοινόχρηστων χώρων |

## 2.3 Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα (BAA) και Βιοαπόβλητα (BA)

Βιοαποδομήσιμο απόβλητο (BAA) «οποιοδήποτε απόβλητο που μπορεί να υποστεί αναερόβια ή αερόβια αποσύνθεση». Τέτοια απόβλητα είναι τα διατροφικά απόβλητα, τα απόβλητα κηπουρικής, το χαρτί-χαρτόνι και το ξύλο (Saveyn & Eder, 2014; European Commission, 2014).

Βιοαπόβλητα (BA) ορίζονται από την Οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα (WFD) ως «τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρειών από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από τις εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων». Τέτοια απόβλητα είναι τα δασικά ή γεωργικά κατάλοιπα, η κοπριά, η ύλη επεξεργασίας λυμάτων ή άλλα βιοαποδομήσιμα απόβλητα όπως φυσικές ίνες, χαρτί ή κατεργασμένο ξύλο (Saveyn & Eder, 2014; European Commission, 2014).

## 2.4 Πηγές βιοαποβλήτων

Τα βιοαπόβλητα χωρίζονται σε έξι κατηγορίες που αντανakλούν την πηγή και την δραστηριότητα από την οποία έχουν προκύψει, όπως αναφέρεται στην Οδηγία 1999/32/ΕΚ.

1. Υπολείμματα βιομηχανιών τροφίμων
2. Κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά παραπροϊόντα
3. Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών
4. Υπολείμματα δασοκομίας και απόβλητα δασοκομικών προϊόντων
5. Την ιλύ
6. Οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων
7. Απόβλητα ελαιοτριβείων

### 2.4.1 Υπολείμματα βιομηχανιών τροφίμων

Τα απόβλητα αυτά προέρχονται από τις βιομηχανίες επεξεργασίας ή μεταποίησης πρώτων υλών σε συσκευασμένα και τυποποιημένα τρόφιμα. Οι πρώτες ύλες είναι γεωργικά και ζωικά προϊόντα και οι όγκοι και το ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων εξαρτάται από την παραγωγική διαδικασία και την ποσότητα πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν (Γεωργακάκης, 2008). Το βιοαποδομήσιμο υπόλειμμα των αποβλήτων περιέχει συνήθως εξαντλημένα αγροτικά/ζωικά προϊόντα ή υλικά αγροτικών προϊόντων. Έτσι οι βιομηχανίες που παράγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βιοαποβλήτων είναι οι γαλακτοβιομηχανίες, οι βιομηχανίες επεξεργασίας και

μεταποίησης ζωικών/φυτικών πρώτων υλών και τέλος οι βιομηχανίες επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών.

#### **2.4.2 Κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά απόβλητα**

Η παραγωγή αυτών των αποβλήτων προκύπτει από την εκτροφή αγροτικών ζώων και πτηνών. Η σύσταση τους διαφέρει κάθε φορά ανάλογα και την μορφή, τον όγκο, τις συνθήκες εκτροφής, το είδος των τροφών, την εποχικότητα, την ηλικία και το είδος των εκτρεφόμενων ζώων. Τα υλικά και οι ουσίες που συναντάμε στην σύσταση τους είναι κοπριά, ούρα και υπολείμματα τροφών και έχουν στερεή, ημιστερεή, υγρή ή υδαρή μορφή.

#### **2.4.3 Γεωργικά υπολείμματα καλλιεργειών**

Η παραγωγή των υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες προκύπτει από την κοπή του καρπού και την αφαίρεση του μη βρώσιμου μέρους του φυτού. Οι ποσότητες των υπολειμμάτων είναι αποτέλεσμα του είδους των καλλιεργειών, το μέγεθος της παραγωγής, κ.α. Ο υπολογισμός για την εκτίμηση των παραγόμενων αποβλήτων προκύπτει από τον λόγο του υπολείμματος προς το παραγόμενο προϊόν. Οι χημικές ουσίες που περιέχονται σε τέτοιου είδους απόβλητα είναι κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη και σε μικρότερα ποσοστά πηκτίνη, άμυλο και άλλους πολυσακχαρίτες (Thomsen, 2005). Η βιομηχανία που συμβάλει περισσότερο στην παραγωγή αυτών των αποβλήτων είναι των δημητριακών, καθώς εκτιμάται ότι παράγονται σε αυτήν τα 3/4 της συνολικής ποσότητας των αποβλήτων (Lal, 2008).

#### **2.4.4 Δασοκομικά υπολείμματα και απόβλητα δασοκομικών προϊόντων**

Αυτή η κατηγορία αποβλήτων προκύπτει από δραστηριότητες που προέρχονται από δραστηριότητες συγκομιδής δασών και υλοτομίας αλλά και από την πρωτογενή και δευτερογενή επεξεργασία και μεταποίηση του ξύλου. Άλλες πηγές μπορούν να είναι η εμπορία δασοκομικών προϊόντων, δραστηριότητες κατασκευών/κατεδαφίσεων και κομμάτι από τα αστικά στερεά απόβλητα (Davies, P., Border, D. and Urquhart, 2007)

Η παραγωγή των βιοαποβλήτων από αυτές τις δραστηριότητες εξαρτάται από το είδος του ξύλου. Το ξύλο είναι ένα μίγμα χημικών ενώσεων από κυτταρίνη, λιγνίνη και ημικυτταρίνη μαζί με μικρότερα ποσοστά από πολυσακχαρίτες και ανόργανες ενώσεις (Haeussler & Kneeshaw, 2003). Στη βιομηχανία αυτή, λιγότερα από τα δύο τρίτα διατίθεται προς μεταποίηση ενώ μόλις το 28% του αρχικού δέντρου χρησιμοποιείται ως τελικό προϊόν, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO, 1990).

#### **2.4.5 Ιλύς μονάδων και επεξεργασίας αστικών λυμάτων**

Η ιλύς είναι ένα παραπροϊόν που προέρχεται από την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων υγρών αποβλήτων των Μονάδων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΜΕΛ). Τα χαρακτηριστικά της είναι άμεσα εξαρτώμενα από την πηγή προέλευσης, τον χρόνο ωρίμανσης αλλά και το είδος της επεξεργασίας. Για την ευνοϊκότερη μεταχείριση των ιλύων πραγματοποιείται η πύκνωση και η αφυδάτωση τους, που μειώνουν την περιεχόμενη υγρασία και τον όγκο τους (Metcalf & Eddy.,

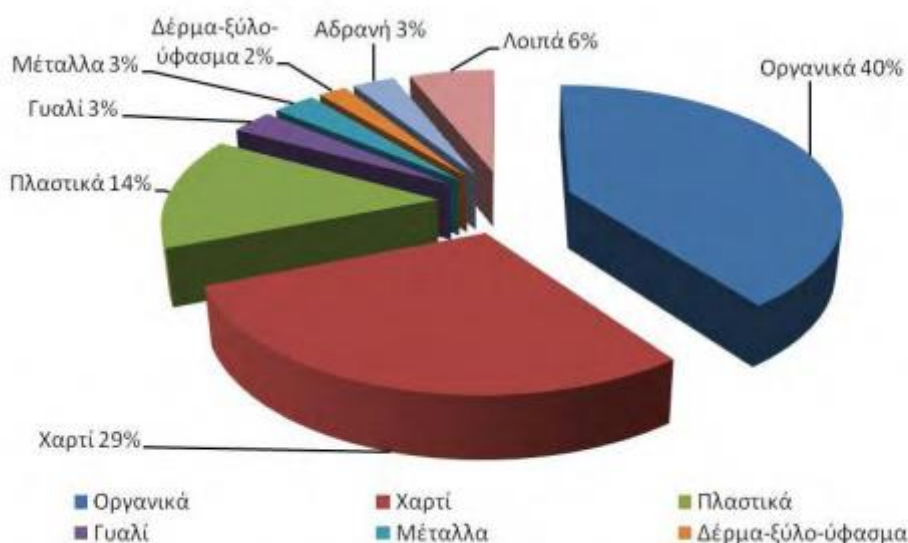
2006). Η σταθεροποίηση και η υγειοποίηση της γίνεται με μεθόδους όπως η ξήρανση, η αναερόβια και αερόβια βιολογική επεξεργασία με ασβέστη αλλά και με άλλες μεθόδους όπως η καύση. Στην Ελλάδα η ιλύς επεξεργάζεται με διεργασίες πάχυνσης και αφύγρανσης αντίθετα η αερόβια επεξεργασία εφαρμόζεται συνήθως σε μεγάλες συμβατικές μονάδες ενεργού ιλύος (Κουλούμπης και Τσαντήλιας, 2007). Η Ε.Ε. προωθεί την κομποστοποίηση ως διαδικασία επεξεργασίας (<http://ec.europa.eu>).

Στην ιλύς περιέχονται μεγάλες ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που είναι μεγάλης θρεπτικής αξίας για τα φυτά. Επίσης περιέχονται μικρές ποσότητες καλίου και ενδέχεται να περιέχονται βαρέα μέταλλα και παθογόνοι μικροοργανισμοί.

#### **2.4.6 Οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων**

Τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) είναι μία κατηγορία που περιλαμβάνει οικιακά απόβλητα, απόβλητα τα οποία είναι παρόμοια με τα οικιακά και προέρχονται από εμπορικές δραστηριότητες, γραφεία και ιδρύματα και απόβλητα πάρκων και κήπων (Οδηγία 1999/31/ΕΚ). Ο δήμος είναι υπεύθυνος για την συλλογή τους. Στα ΑΣΑ περιέχονται διάφορα υλικά, όπως το χαρτί, τα ζυμώσιμα, το ξύλο, τα πλαστικά, τα υφάσματα, τα μέταλλα, το γυαλί κ.α. Η σύνθεση τους εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως οι συνθήκες ζωής του πληθυσμού, το βιοτικό επίπεδο, οι καταναλωτικές συνήθειες και το επίπεδο της τεχνολογικής προόδου της κάθε χώρας (Cheremisinoff, 2003).

Στα ΑΣΑ περιέχεται ένα σημαντικό κομμάτι βιοαποδομήσιμων υλικών όπως ξύλο, πράσινα κηπευτικά απορρίμματα και διάφορα άλλα απόβλητα (ΕΕΑ, 2002), που κυμαίνεται στο 40% από την συνολική ποσότητα (ΥΠΕΚΑ, 2011). Ο διαχωρισμός είναι αναγκαίος για να ξεχωρίσουμε αυτά τα απόβλητα και εφαρμόζεται με δύο διαφορετικές μεθόδους οι οποίες μπορούν και να συνδυάζονται. Στην πρώτη γίνεται διαχωρισμός στην πηγή (ΔσΠ) και στην δεύτερη γίνεται διαχωρισμός από τα σύμμικτα αστικά απόβλητα. Η διαφορά τους είναι ότι όποια προκύπτουν με διαχωρισμό από τα σύμμικτα ΑΑ, έχουν αυξημένα επίπεδα σε προσμίξεις αδρανών (πλαστικά, πέτρες, μέταλλα) και αυξημένες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα και οργανικούς ρυπαντές (Archer, Baddeley, Klein, Scwager, & Whiting, 2005).



Εικόνα 1: Τυπική σύνθεση ΑΣΑ (ΥΠΕΚΑ, 2011)

#### 2.4.7 Απόβλητα ελαιοτριβείων

Η αντιμετώπιση των αποβλήτων ελαιοτριβείου είναι ένα διεθνές περιβαλλοντικό πρόβλημα εξαιτίας της μεγάλης τοξικότητας που παρουσιάζουν. Η μορφή αυτών των απόβλητων είναι στερεή, υγρή και αέρια. Το ζητούμενο προς την διαχείριση τους είναι η εφαρμογή είναι τόσο μία ορθολογική προσέγγιση όσο και η μετατροπή των τεχνολογιών των ελαιοτριβείων σε φιλικότερων προς το περιβάλλον.

Στα ελαιοτριβεία τριών φάσεων τα απόβλητα αποτελούνται συνολικά κατά 80% από τον καρπό της ελιάς που επεξεργάζονται. Σε αυτό το ποσοστό περιέχονται 30% στερεό υλικό που (τριφασικός πυρήνας) και αποτελείται από σάρκα και πυρήνα ελιάς και 50% υγρό υλικό που ονομάζεται κασίγαρος και αποτελείται από το νερό στον καρπό της ελιάς και μαλακούς ιστούς. Στα ελαιοτριβεία δύο φάσεων συναντάμε ένα ημίρρευστο απόβλητο που ονομάζεται διφασικός πυρήνας.

Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων έχουν σκούρο καφέ χρώμα ή/και μαύρο, μυρίζουν έντονα ελαιόλαδο, περιέχουν στερεές ουσίες και έχουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Επίσης είναι βιοτοξικά και φυτοτοξικά διότι, παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε πολυφαινολικές ενώσεις (0,5 - 24 g/l) και οργανικό φορτίο και χαμηλό pH (4,5 - 5). Αυτές οι ιδιότητες προκαλούν μεγάλα επίπεδα ρύπανσης όταν τα απόβλητα αυτά διατίθενται ανεξέλεγκτα σε φυσικούς αποδέκτες. Ένας από τους λόγους που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα εδάφους αυτού του είδους τα απόβλητα παρόλο που θα ήταν ένα χρήσιμο υλικό, είναι λόγω της περιεκτικότητάς τους σε φαινόλες που καθιστούν το υλικό φυτοτοξικό (Νιαουνάκης & Χαλβαδάκης, 2004).

Τα καλλιεργητικά εδάφη της Ελλάδας αποτελούνται περίπου κατά 60% από ελαιώνες με περισσότερα από 132 εκατομμύρια ελαιόδεντρα. Από αυτά παράγονται περίπου 350.000 τόνοι

ελαιόλαδου ετησίως, καθιστώντας την Ελλάδα ως τρίτη στην παραγωγή ελαιόλαδου ανάμεσα σε 2.590 ελαιοτριβεία δύο και τριών φάσεων. Τα περισσότερα ελληνικά ελαιοτριβεία κατά 90%, είναι τριών φάσεων.

Λόγω του τεράστιου ποσοστού των τριφασικών ελαιοτριβείων στην χώρα χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση την επεξεργασία των αποβλήτων τους και την διάθεση τους. Η προσπάθεια αξιοποίησης μέσα από την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση στοχεύει στην μείωση του ρυπαντικού φορτίου και το οικονομικό κέρδος. Οι μέθοδοι αξιοποίησης είναι αρκετές και κατατάσσονται σε φυσικές, βιολογικές, φυσικοχημικές, συνδυασμός αυτών, ανακύκλωση και ανάκτηση πολύτιμων συστατικών και τροποποίηση των συστημάτων παραγωγής (Νιαουνάκης & Χαλβαδάκης, 2004).

## 2.5 Θεσμικό πλαίσιο ορθής διαχείριση βιοαποβλήτων

Η ορθή διαχείριση των αποβλήτων είναι ο κύριος στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για να καταφέρει να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις από την διαχείριση βιοαποβλήτων. Για αυτόν τον λόγο έχουν θεσπιστεί κάποιοι νόμοι για την διασφάλιση της ποιότητας των περιβαλλοντικών πόρων.

Οι Ευρωπαϊκοί στόχοι προϋποθέτουν την αποδοτικότερη χρήση των φυσικών πόρων. Δηλαδή την πολύπλευρη αξιοποίηση των φυσικών πόρων, με την σκοπό την ελάχιστη περιβαλλοντική καταστροφή και το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι η Ε.Ε. έχει δημιουργήσει προγράμματα που τα ονομάζει «Προγράμματα δράσεις για το Περιβάλλον (ΠΔΠ)» όπου μέσα από αυτά εξελίσσει την πολιτική της προς την διαχείριση των αποβλήτων μέσω:

- Οδηγιών (Directions),
- Κανονισμών (Regulations) και
- Αποφάσεων (Decisions).

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η Οδηγία για την διαχείριση των αποβλήτων **2008/98/ΕΚ** (ΕΥ. 2008) και η Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων **1999/31/ΕΚ** (ΕΥ, 1999).

### 2.5.1 Ευρωπαϊκή πολιτική

Στην κύρια Οδηγία για τη διαχείριση των Αποβλήτων 2008/98/ΕΚ περιλαμβάνονται βασικές αρχές, όπως:

#### 1. Προστασία της ανθρώπινη υγείας και του περιβάλλοντος

Η διαχείριση των αποβλήτων από τα κράτη μέλη πρέπει να διενεργείται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε μην βλάπτεται η ανθρώπινη υγεία και η περιβαλλοντική ποιότητα, δηλαδή:

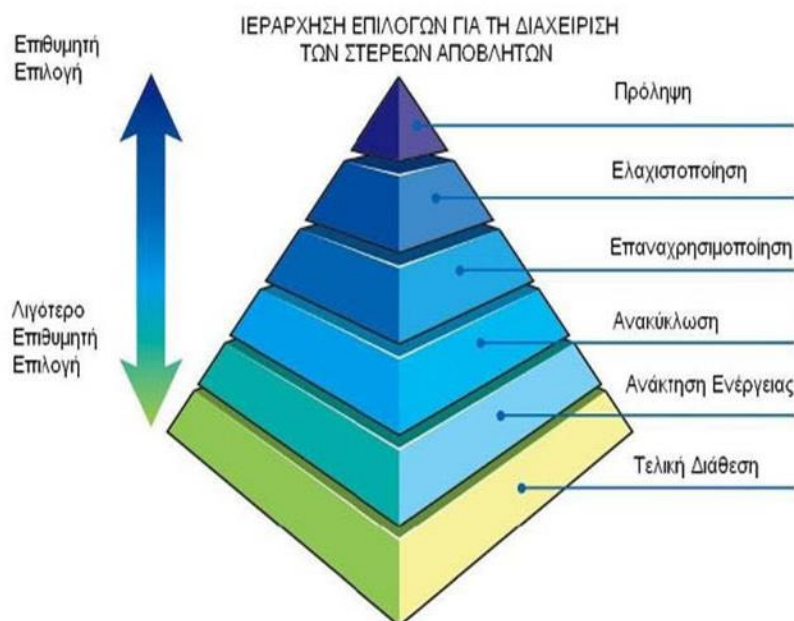
- Διασφάλιση της ποιότητας του νερού, του αέρα, του εδάφους, των φυτών, των ζώων,
- Αποφυγή της δημιουργίας θορύβων ή οσμών και
- Διατήρηση του τοπίου και των τοπίων ιδιαίτερου ενδιαφέροντος

#### 2. Η Αρχή «ο Ρυπαίνων Πληρώνει» και η Αρχή της Διευρυμένης Ευθύνης του Παραγωγού

Όπως περιγράφεται στην Eur-Lex, η αρχή του ο ρυπαίνων πληρώνει δηλώνει πως «ο ρυπαίνων βαρύνεται με τα έξοδα για την υλοποίηση των μέτρων που αποφασίζουν οι δημόσιες αρχές, για να διασφαλισθεί η διατήρηση του περιβάλλοντος σε αποδεκτή κατάσταση, καθώς και στην εφαρμογή των αρχών της προφύλαξης, της προληπτικής δράσης και της αντιμετώπισης της ρύπανσης στην πηγή». Συμπληρωματικά τα κράτη μέλη δύναται να λαμβάνουν νομοθετικά και μη νομοθετικά μέτρα για να διασφαλίσουν ότι τα φυσικά ή νομικά πρόσωπα τα οποία κατ'επάγγελμα αναπτύσσουν οποιαδήποτε σχέση με ένα προϊόν (κατασκευαστές, μεταποιητές, πωλητές κ.α.) φέρουν διευρυμένη ευθύνη παραγωγού. Κατά αυτόν τον τρόπο προάγεται η ενίσχυση της πρόληψης, επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και άλλες μορφές ανάκτησης αποβλήτων.

### 3. Ο Αρχές τις αυτάρκειας και της Εγγύτητας

- Τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο δίκτυο διάθεσης αποβλήτων με βάσει τις καλύτερες και οικονομικότερες διαθέσιμες τεχνολογίες. Για την επίτευξη αυτού του στόχου όπου κρίνεται αναγκαίο θα λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα και θα υπάρχουν συνεργασίες ανάμεσα στα κράτη. Όμως, σημαντικό για την Ένωση, είναι κάθε μέλος να είναι μπορεί να στηρίζει μόνο του ένα τέτοιο δίκτυο.
- Η διάθεση των αποβλήτων είναι αναγκαίο να πραγματοποιείται στην κοντινότερη κατάλληλη εγκατάσταση, με την χρήση των πιο αποδοτικότερων μεθόδων και τεχνολογιών με σκοπό την διασφάλιση της δημόσιας υγείας και της περιβαλλοντικής ποιότητας.



Εικόνα 2: Πυραμίδα ιεράρχησης των αποβλήτων βάσει της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ (ISWM-TINOS, 2012)

Ακόμη είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψιν η ιεράρχηση των επιλογών διαχείρισης των αποβλήτων, ανάλογα με τις επιπτώσεις τους προς το περιβάλλον. Σε αυτή την κατηγοριοποίηση η Ε.Ε. περιλαμβάνει και τις ροές των βιοαποβλήτων.

Όπως εμφανίζεται στην παραπάνω πυραμίδα η πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων είναι η πιο επιθυμητή λύση. Στην συνέχεια η ελαχιστοποίηση, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η

ανάκτηση ενέργειας και η τελική διάθεση των αποβλήτων παρουσιάζουν τις λιγότερες θεμιτές επιλογές με σειρά εμφάνισης.

Οι επιλογές διαχείρισης έχουν αυτή την σειρά γιατί λειτουργούν χρονικά και μετά κατά περίπτωση. Η «πρόληψη» θεωρείται ως η διαδικασία λήψης μέτρων πριν μία ουσία, υλικό ή προϊόν καταστούν απόβλητα και καταφέρνουν να ελαττώσουν:

- a. Τον όγκο των αποβλήτων, μέσω της επαναχρησιμοποίησης ή παράτασης ζωής των προϊόντων
- b. Τις δυσμενείς επιπτώσεις των ήδη υπάρχων αποβλήτων στο περιβάλλον και την δημόσια υγεία, ή
- c. Την περιεκτικότητα επικίνδυνων ουσιών στα υλικά και προϊόντα.

Η «επαναχρησιμοποίηση» ορίζεται οποιαδήποτε εργασία ανάκτησης που απαιτεί έλεγχο, καθαρισμό ή επισκευή. Τα προϊόντα ή συστατικά στοιχεία προϊόντων που αποτελούν πλέον απόβλητα πηγαίνουν προς επαναχρησιμοποίηση χωρίς άλλη προ-επεξεργασία.

Η «ανακύκλωση» θεωρείται ως οποιαδήποτε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα μετασηματίζονται σε καινούργια υλικά, ουσίες ή γενικά προϊόντα με σκοπό να έχουν την ίδια χρήση με την αρχική ή διαφορετική. Η διαδικασία περιέχει την επαναεπεξεργασία οργανικών υλικών χωρίς όμως την ανάκτηση ενέργειας και την επαναεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή σε εργασίες επίχωσης.

Η «ανάκτηση» θεωρείται ως οποιαδήποτε εργασία, η οποία έχει τελικό αποτέλεσμα τα απόβλητα να αντικαταστήσουν άλλα υλικά τα οποία υπό άλλες προϋποθέσεις θα χρησιμοποιούνταν για τον συγκεκριμένο σκοπό ή ότι τα απόβλητα προετοιμάζονται για μία λειτουργία στην εγκατάσταση ή στα γενικότερα πλαίσια της οικονομίας.

Η «διάθεση» θεωρείται ως οποιαδήποτε εργασία, η οποία δεν αποτελείται από ανάκτηση, ακόμα και αν η εργασία έχει ως δευτερογενή συνεπεία την ανάκτηση ουσιών ή ενέργειας.

Καταληκτικά, ορίζονται δύο επιπλέον στόχοι οι οποίοι πρέπει να έχουν εκπληρωθεί έως το 2020 με την συμμετοχή όλων των κρατών-μέλη.

Οι στόχοι αυτοί είναι οι εξής:

α) έως το 2020 η προετοιμασία για την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των υλικών αποβλήτων, όπως τουλάχιστον το χαρτί, το μέταλλο, το πλαστικό και το γυαλί από τα νοικοκυριά και ενδεχομένως άλλης προέλευσης στο βαθμό που τα απόβλητα αυτά είναι παρόμοια με τα απόβλητα των νοικοκυριών, πρέπει να αυξηθεί κατ' ελάχιστον στο 50 % ως προς το συνολικό βάρος,

β) έως το 2020 η προετοιμασία για την επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ανάκτηση άλλων υλικών συμπεριλαμβανομένων των εργασιών υγειονομικής ταφής όπου γίνεται χρήση αποβλήτων για την υποκατάσταση άλλων υλικών, μη επικίνδυνων αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων εξαιρουμένων των υλικών που απαντούν στη φύση και τα οποία ορίζονται στην κατηγορία 17 05 04 του καταλόγου αποβλήτων

Στην Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων 1999/31/ΕΚ (Οδηγία 1999/31/ΕΚ) η Ευρωπαϊκή Ένωση τονίζει πως η υγειονομική ταφή είναι η χειρίστη μέθοδος διαχείρισης των αποβλήτων.



Στόχος αυτής της οδηγίας αποτελεί η μείωση του κινδύνου της ανθρώπινης υγείας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που είναι αποτέλεσμα της ταφής των αποβλήτων. Μερικά αρνητικά αποτελέσματα από την υγειονομική ταφή των αποβλήτων είναι: η μόλυνση του εδάφους, των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, του αέρα και η επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η συγκεκριμένη Οδηγία έχει θέσει αυστηρούς στόχους, έτσι ώστε όλα τα κράτη-μέλη να μειώσουν σταδιακά τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής, με βάση τα ποσοστά παραγόμενων αποβλήτων του 1995. Οι στόχοι ήταν:

- Μέχρι το 2006, μείωση στο 75%
- Μέχρι το 2009, μείωση στο 50%
- Μέχρι το 2016, μείωση στο 35%

Δόθηκε επιπλέον παράταση, σε χώρες που διαθέταν περισσότερο από το 80% των αστικών στερεών απόβλητων τους σε χώρους υγειονομικής ταφής, μόνο κατά το έτος 1995 ως περίοδος αφετηρίας.

## 2.5.2 Ελληνική Νομοθεσία

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία προς την διαχείριση των αποβλήτων είναι εδώ και αρκετά χρόνια μέρος και της ελληνικής νομοθεσίας. Το πιο πρόσφατο παράδειγμα την Οδηγία για τη διαχείριση των αποβλήτων 2008/98/ΕΚ που αναλογεί στον ελληνικό νόμο 4042/2012 του 2012 (ΥΠΕΚΑ, 2012)

**Νόμος 4042/2012** «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» (ΦΕΚ 24/Α/13.2.2012)

Ο νόμος 4042/2012 συμβαδίζει με το εθνικό δίκαιο προς τις διατάξεις της ευρωπαϊκής οδηγίας 2008/98/ΕΚ και θέσπισε αποτρεπτικές, αποτελεσματικές και αναλογικές κυρώσεις μέσω του ποινικού δικαίου, για τις περιπτώσεις που έχει ή ενδέχεται να προκληθεί ρύπανση ή υποβάθμιση του περιβάλλοντος, για την αποτελεσματικότερη ποινική προστασία του.

Όσο στην Οδηγία 2008/98/ΕΚ τόσο και σε αυτό τον νόμο έχουν ενσωματωθεί κάποιες βασικές αρχές διαχείρισης αποβλήτων με βάση την παραπάνω κατηγοριοποίηση σε σχήμα πυραμίδας για την διασφάλιση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα στην διαχείριση των βιοαποβλήτων ο νόμος 4042/2012 θέτει δύο χρονικούς και ποσοτικούς στόχους:

- Έως το 2015, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, τουλάχιστον στο 5% του συνολικού βάρους,

- Έως το 2020, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, τουλάχιστον στο 10% του συνολικού βάρους.

Ακόμη με τον νόμο 4042/2012 επιβάλλεται ειδικό τέλος ταφής σε όσους οργανισμούς και επιχειρήσεις διαθέτουν τα απόβλητα τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Για το έτος 2014, το ειδικό τέλος ταφής ανερχόταν στο ποσό των 35 ευρώ ανά τόνο διατιθέμενων αποβλήτων και αυξάνεται ετησίως κατά 5 ευρώ ανά τόνο έως του ποσού των 60 ευρώ ανά τόνο. Η εφαρμογή του τέλους αυτού έχει ανασταλεί μέχρι τις 31/12/2018 μέσω τροπολογίας που κατατέθηκε στην βουλή λόγω μη ύπαρξης των απαραίτητων υποδομών προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση - ανακύκλωση των αποβλήτων.

Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 29407/3508/2002 «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων» (ΦΕΚ 1572/Β/16.12.2002)

Στην ΚΥΑ 29407/3508 έχουμε την ενσωμάτωση στο εθνικό νομοθετικό πλαίσιο η ευρωπαϊκή οδηγία περί υγειονομικής ταφής 1999/31/ΕΚ. Με την ΚΥΑ 29407/3508 αποδίδονται μέτρα και διαδικασίες, με σκοπό τον περιορισμό των επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Στο κομμάτι που αφορά τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα έχουν τεθεί στόχοι για την σταδιακή εκτροπή τους από χώρους υγειονομικής ταφής. Δηλαδή, μέχρι το 2010, πρέπει να μειωθούν 75% τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής. Αυτό ισχύει από την συνολική ποσότητα παραγμένων αποβλήτων του έτους 1995 και χρειάζεται να έχουν μειωθεί:

- μέχρι το 2013 στο 50% και
- μέχρι το 2020 στο 35%

Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων - Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης» (ΦΕΚ 1909/Β/22.12.2003)

Ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) θέτει τους παρακάτω στόχους με την ΚΥΑ 50910/2727/2003:

1. Την πρόληψη ή την ελάττωση της παραγωγής και των αρνητικών επιπτώσεων των αποβλήτων με:
  - Την ανάπτυξη πιο φιλικών και οικονομικών τεχνολογιών,

- Την παραγωγή και την διάδοση στην αγορά από προϊόντα που έχουν σχεδιαστεί για να αποτρέψουν ή να ελαττώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις των αποβλήτων.
  - Την ανάπτυξη τεχνικών που θα επιτρέπουν την αξιοποίηση αποβλήτων χωρίς τις επικίνδυνες ουσίες τους.
2. Την διασφάλιση τη ποιότητας του περιβάλλοντος κατά την διαχείριση των αποβλήτων.
  3. Την αξιοποίηση των αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας
  4. Την φιλικότερη και ασφαλέστερη προς το περιβάλλον διάθεση των αποβλήτων.
  5. Την ενθάρρυνση προς την ολοκληρωμένη οργάνωση και διαχείριση των αποβλήτων.
  6. Την δημιουργία εθνικού δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων.

Ο ΕΣΔΑ εξειδικεύεται με τα περιφερειακά σχέδια διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) για κάθε μία από τις δεκατρείς περιφέρειες τη Ελλάδα. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει το νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. και της Ελλάδας, σύμφωνα με τις προτεραιότητες ιεράρχησης της διαχείρισης των ΒΑ.

Πίνακας 2: Νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. και της Ελλάδας αναφορικά με την ιεράρχηση της διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) , Βιοαποδομήσιμων (ΒΑ) & Μαλάμης, 2011)

| Ιεράρχηση διαχείρισης           | Νομοθεσία Ε.Ε.   | Ελληνική Νομοθεσία   |
|---------------------------------|--|--|
| Γενικό πλαίσιο διαχείρισης      | Οδηγία 2008/98/ΕΚ σχετικά με τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών   | Αναμένεται η ενσωμάτωση της οδηγίας στο εθνικό δίκαιο  |
|                                 | Προγενέστερη - Οδηγία 2006/12/ΕΚ   | ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ Β 1016/17.11.97) «Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων»<br>ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ Β 1909/22.12.2003) «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης  |
| Πρόληψη & Ελαχιστοποίηση        | Οδηγία 2008/1/ΕΚ σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC)  | Ν. 2965/2001 (ΦΕΚ 68/Α' /11.3.2005) «Βιώσιμη ανάπτυξη Αττικής και άλλες διατάξεις»<br>Ν. 3325/2005 (ΦΕΚ 270/Α' /23.11.2001) «Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών, βιοτεχνικών εγκαταστάσεων στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης και άλλες διατάξεις»<br>Σε μερική εναρμόνιση με την Οδηγία 96/61/ΕΟΚ προγενέστερη της Οδηγίας 2008/1/ΕΚ  |
| Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση | Οδηγία 86/278/ΕΟΚ σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία  | ΚΥΑ 80568/4225/1991 (ΦΕΚ Β 641/7.8.91) «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων»  |
|                                 | Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ σχετικά με τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο  | ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211/Α' /5.10.2006) «Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3ης Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο».   |
|                                 | Αποφάσεις 2006/799/ΕΚ και 2007/64/ΕΚ περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους και σε καλλιεργητικά μέσα αντίστοιχα |  |
| Ανάκτηση Ενέργειας              | Οδηγία 2000/76/ΕΚ σχετικά με την αποτέφρωση των αποβλήτων  | ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ Β 759/06.06.2005) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων»   |
|                                 | Οδηγία 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ  | Αναμένεται η ενσωμάτωση της οδηγίας στο εθνικό δίκαιο  |
| Τελική Διάθεση                  | Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων  | ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ Β 1572/16.12.02) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων»<br>ΚΥΑ 4641/232/2006 (ΦΕΚ Β 168/13-02-06) «Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών μικρών χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων σε νησιά και απομονωμένους οικισμούς, κατ' εφαρμογή του άρθρου 3 (παρ.4) σε συνδυασμό με το άρθρο 20 (παράρτημα Ι) της υπ' αριθμ. 29407/3508/2002 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για υγειονομική ταφή των αποβλήτων» (Β' 1572)» |

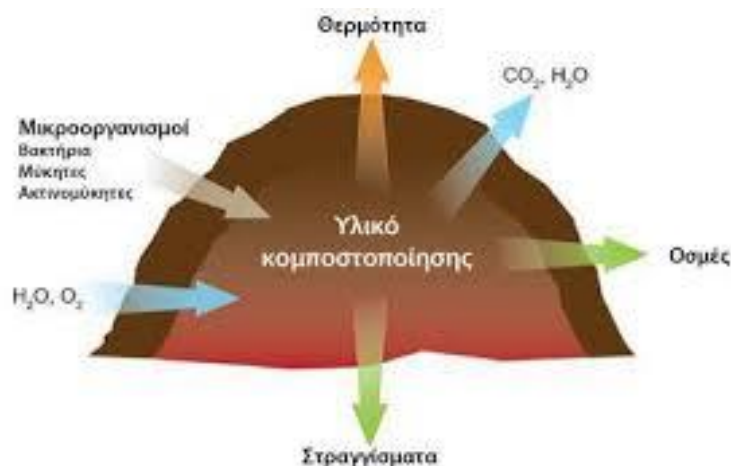
## 2.6 Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαποβλήτων

Τα βιοαπόβλητα θα είναι πάντα μέρος της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου γι'αυτό μία ολιστική προσέγγιση στην διαχείριση τους είναι πολύ σημαντική για την βιώσιμη ανάπτυξη. Ο μεγαλύτερος στόχος παραμένει να είναι να σταματήσει η παραγωγή τους. Μέθοδοι όπως η αερόβια, αναερόβια διαδικασία και η αποτέφρωση είναι οι πιο διαδεδομένες στην διαχείριση των βιοαποβλήτων (Lee et al., 2017, Luis and Palacios, 2009). Ο στόχος τους είναι να υπάρχει μία κυκλική ροή που από τα απόβλητα θα παράγονται προϊόντα όπως εδαφοβελτιωτικό ή και ενέργεια.

### 2.6.1 Αερόβια διεργασία

Χρησιμοποιείται για απόβλητα με χαμηλή συγκέντρωση οργανικής ουσίας. Αερόβια και βιοοξειδωτική διαδικασία είναι η κομποστοποίηση, στην οποία ένα ετερογενές οργανικό υπόστρωμα οδηγείται μέσα από ένα θερμοφίλο στάδιο στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, νερού, μεταλλικών αλάτων και ένα σταθεροποιημένο υλικό που περιέχει κάτι σαν τον χούμο που ονομάζεται κομπόστ (Niaounakis and Halvadakis, 2006).

Το κόμποστ είναι ένα βιώσιμο υλικό το οποίο αυξάνει τα οικονομικά κέρδη, μειώνει τα κόστη της κλασικής διαχείρισης των αποβλήτων και αποσυμπιέζει την ζήτηση από τους φυσικούς πόρους. Οι χρήσεις του προορίζονται κυρίως για αγροτικές δραστηριότητες, όπου βελτιώνουν την φυσική κατάσταση του εδάφους. Δηλαδή αυξάνεται η διαπερατότητα, η κατακράτηση νερού και θρεπτικών ουσιών και αυξάνονται οι συγκεντρώσεις βασικών θρεπτικών συστατικών (Scoton et al. 2016, European Commission 2006).



Εικόνα 3: Διεργασία αερόβιας κομποστοποίησης (Π. Βαλιούδη, 2015)

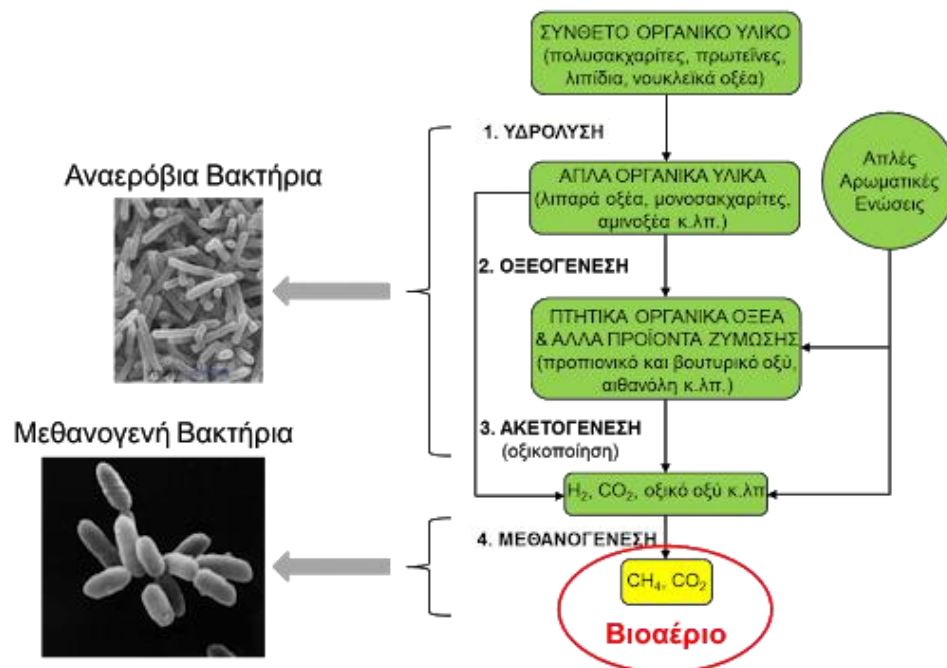
### 2.6.2 Αναερόβια διεργασία

Η χρήση αναερόβιων διαδικασιών γίνεται για την επεξεργασία των υψηλών συγκεντρώσεων οργανικής ουσίας. Το περιβάλλον για τέτοιες διαδικασίες χρειάζεται να είναι απουσία οξυγόνου γι'αυτό λαμβάνει χώρα σε κλειστούς αντιδραστήρες όπου η μικροβιολογική δραστηριότητα μετατρέπει τις οργανικές ενώσεις σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης σε μία αερόβια

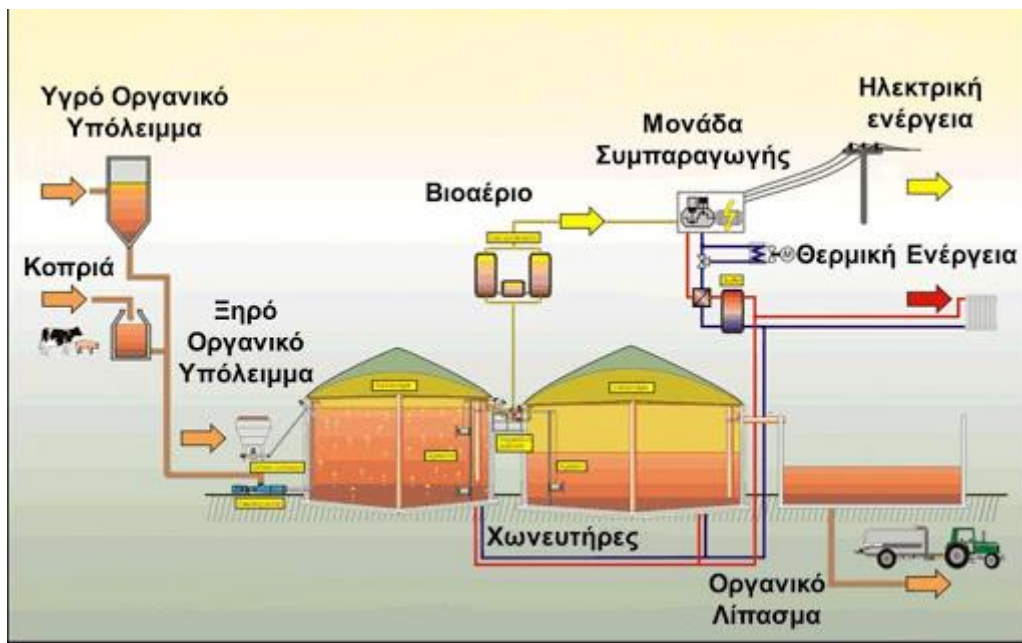
διαδικασία, όπως η κομποστοποίηση επικρατούν διάφορα είδη μικροοργανισμών ενώ σε μία αναερόβια διαδικασία επικρατούν κυρίως βακτήρια. Στην αναερόβια διαδικασία έχουν παρατηρηθεί κυρίως τρεις φάσεις: υδρόλυση, οξεογένεση και μεθανογένεση. Στην πρώτη φάση της υδρόλυσης, τα βακτήρια διασπούν σύνθετα οργανικά μόρια σε μονομερή. Έπειτα στην οξεογένεση λαμβάνει χώρα ζυμώσεις και αναερόβια ζύμωση και παράγονται προϊόντα όπως: οξικό άλας, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Στο τελευταίο στάδιο της μεθανογένεσης, τα μεθανογενή βακτήρια μετατρέπουν τα προϊόντα της οξεογένεσης δηλαδή: το οξικό άλας, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο (Niaounakis and Halvadakis, 2006 , European Commission 2006).

Το μεθάνιο ή βιοαέριο είναι το υπόλειμμα της ιλύς και το τελικό αποτέλεσμα της αναερόβιας χώνευσης όπου έχει μία ημιστέρεη μορφή. Το μεγάλο πλεονέκτημα που έχει το βιοαέριο είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Οι χρήσεις του είναι διαδεδομένες για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ατμού για βιομηχανική χρήση, την θέρμανση νερού και ως εναλλακτικό καύσιμο για οχήματα. Η ιλύς που απομένει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αερόβια διαδικασία ή σε κάποιες περιπτώσεις όπως στην Σουηδία κι στην Δανία να γίνει εφαρμογή απευθείας σε γεωργικές εκτάσεις (European Commission, 2006).

### Βιοχημεία Αναερόβιας Χώνευσης



Εικόνα 4: Διαδικασία αναερόβιας χώνευσης (<http://www.agroenergy.gr>)



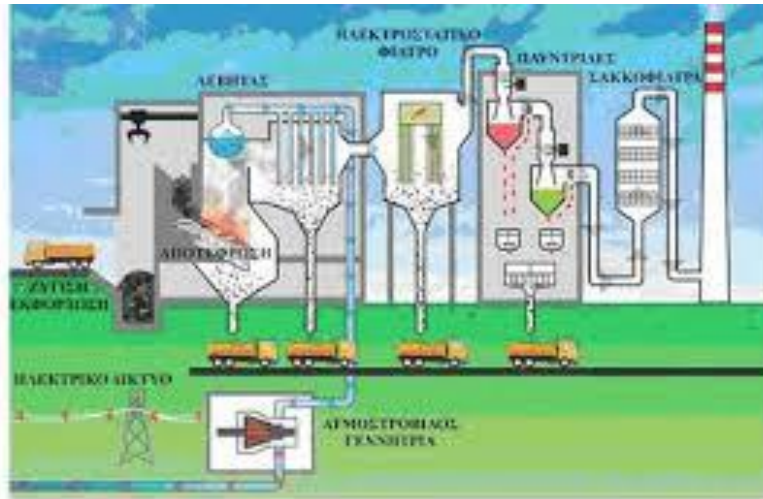
Εικόνα 5: Εγκαταστάσεις παραγωγής και χρήσεις βιοαερίου (<http://www.agroenergy.gr>)

### 2.6.3 Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση στην έλλειψη χώρου και την αντιμετώπιση των προβλημάτων από την δημιουργία νέων χώρων υγειονομικής ταφής. Τα προβλήματα αυτών των χώρων είναι η υποβάθμιση της γης, η παραγωγή μεθανίου και η παραγωγή στραγγισμάτων (DEFRA, 2013).

Ο στόχος της αποτέφρωσης είναι αποτελεσματικός καθώς η μείωση του όγκου των αποβλήτων μέσω θερμικής επεξεργασίας με την χρήση της περιεχόμενης ενέργειας (waste-to-energy), φτάνει μέχρι και 90%. Η ενέργεια που ανακτάται χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ατμού. Η αποτέφρωση είναι πιο διαδεδομένη σε χώρες όπως η Δανία, η Ιαπωνία, Γερμανία, Σουηδία, Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο (Lim, Lee, & Wu, 2016, DEFRA, 2013).

Στην διαδικασία της αποτέφρωσης λαμβάνει χώρα η καύση των στερεών αποβλήτων. Στην καύση, καίγονται τα χημικά στοιχεία των αποβλήτων (άνθρακας, υδρογόνο, θείο) σε περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο και με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 850°C. Τα προϊόντα της καύσης είναι κυρίως CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, στάχτη και θερμότητα, όπου το ανόργανο κομμάτι των αποβλήτων θα μετατραπεί σε στάχτη.



Εικόνα 6: Διαδικασία αποτέφρωσης ([www.eedsa.gr](http://www.eedsa.gr))

## 2.6.4 Κομποστοποίηση

Είναι η μέθοδος κατά την οποία βιοαποδομείται ένα μείγμα στερεών υλικών, με την παρουσία οξυγόνου και πολλά είδη μικροοργανισμών. Αυτή η διεργασία χαρακτηρίζεται εξώθερμη και για αυτό παρουσιάζονται υψηλές θερμοκρασίες στο μείγμα. Η φάση που οι θερμοκρασία είναι πιο υψηλή, ονομάζεται θερμόφιλη και βρίσκεται ανάμεσα από δύο μεσοφιλικές φάσεις. Η τελική μορφή του μείγματος, αφού έχει περάσει όλα τις φάσεις, διαμορφώνει ένα σταθερό και απολυμασμένο προϊόν. Το κομπόστ χρησιμοποιείται ως άριστο βελτιωτικό εδάφους για τα φυτά (Rynk, 1992).

Το βελτιωτικό εδάφους που παράγεται από την κομποστοποίηση είναι αποτελεσματικό διότι τα στάδια που περνάει το βοηθούν να το σταθεροποιήσουν, να απομακρύνουν τις φυτοτοξικές ουσίες και τους παθογόνους μικροοργανισμούς (Arvanitoyannis & Tserkezu, 2008).



### 3. Κομποστοποίηση και κομπόστ

#### 3.1 Η προσφορά της κομποστοποίησης στις σύγχρονες κοινωνίες

Οι στόχοι που θέτουν οι αναπτυγμένες χώρες για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων περιστρέφονται κυρίως από εναλλακτικούς τρόπους διαχείρισης παράλληλα φιλικούς προς το περιβάλλον. Ειδικότερα, την εκτροπή του 75% του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ που προορίζεται για τους ΧΥΤΑ μέχρι το 2020, προβλέπει η ΚΥΑ 29407/3508/2002. Ακόμη, αναφέρει ότι δεν επιτρέπεται η διάθεση αποβλήτων στους ΧΥΤΑ χωρίς πρώτα να έχουν υποστεί επεξεργασία. Το πρόβλημα που συναντάμε στα μεγάλα αστικά κέντρα λόγω των μεγάλων ποσοτήτων από αστικά απόβλητα πέρα από πιο διαχειρίσιμο μπορεί να γίνει πιο αξιόπιστο και πιο αποδοτικό με την εφαρμογή της μεθόδου της κομποστοποίησης (Onwosi et al., 2017).

Πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης:

- Η πλειοψηφία των ανθρώπινων αποβλήτων όπως τα υπολείμματα φαγητού, τα βιομηχανικά βιοστερεά, τα κλαδέματα κ.α. μπορούν να κομποστοποιηθούν.
- Μία μονάδα κομποστοποίησης μπορεί να μειώσει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο αυτών των αποβλήτων.
- Βοηθάει στην μείωση του όγκου των αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής καθώς τα περισσότερα οργανικά υλικά έχουν την δυνατότητα να αποσυντεθούν ή αποδομηθούν κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης.
- Το τελικό προϊόν είναι πολύ χρήσιμο. Το κομποστ συμπληρώνει το χούμους του εδάφους που τα ανόργανα λιπάσματα δεν διαθέτουν. Έτσι ένα φυσικό βελτιωτικό εδάφους χαρίζει δύναμη, υγεία και ελέγχει η μικροβιακή δραστηριότητα στα φυτά (Onwosi et al., 2017).

Μειονεκτήματα κομποστοποίησης:

- Δημιουργία οσμών και αιωρούμενων σωματιδίων. Τα οποία είναι ελεγχόμενα αν υπάρχει μία καλά σχεδιασμένη μονάδα.
- Ο όγκος μίας μονάδας κομποστοποίησης είναι μεγαλύτερος από συμβατικές μονάδες διαχείρισης αποβλήτων
- Το τελικό προϊόν χρειάζεται να γίνει προώθηση του στην αγορά (Epstein, 1997)

Η μέθοδος της κομποστοποίησης συμβάλει θετικά σε μία κοινωνία καθώς εξοικονομούνται οικονομικοί πόροι. Αρχικά αποτρέπει την σύντομη χρονικά κατασκευή νέων ΧΥΤΑ ή αποτεφρωτηρών. Έπειτα αυξάνει το προσδόκιμο ζωής των ήδη υπάρχον ΧΥΤΑ. Εξομαλύνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα που υπάρχουν στους χώρους υγειονομικής ταφής, όπως τα υγρά στραγγίσματα από τα απόβλητα και την παραγωγή μεθανίου που ως αέριο του θερμοκηπίου, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. Αποτρέπει κάποια έξοδα επειδή το τελικό προϊόν έχει αρκετές χρήσεις όπως: βελτιωτικό εδάφους, οργανικό λίπασμα, επικάλυψη χώρων υγειονομικής ταφής κ.α. Συμβάλει και έσοδα, γιατί ένα ποιοτικό κομπόστ είναι πηγή εσόδων. Τέλος μειώνει τους χρόνους εργασίας του προσωπικού καθαριότητας κατά την διάρκεια συλλογής σκουπιδιών προς τους ΧΥΤΑ (USEPA, n.d., Diaz, 2007).

## 3.2 Τύποι κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση μπορεί να λειτουργήσει με διάφορες τεχνολογίες, χώρους και όγκους. Κυρίως χωρίζουμε δύο κατηγορίες τα «σειράδια» και τα «κλειστά συστήματα». Τα σειράδια συγκεντρώνουν το αρχικό υλικό συνήθως σε επιμήκης σωρούς, με ύψος 1 έως 3 μέτρα (Rygh, 1992). Επίσης βρίσκονται σε εξωτερικό ή εσωτερικό χώρο (Haug, 1993). Από την άλλη μεριά τα κλειστά συστήματα η ολόκληρη ή μέρος της διαδικασίας της κομποστοποίησης πραγματοποιείται με την βοήθεια αντιδραστήρων.

### 3.2.1 Σύστημα σειραδίων

Με βάση την μέθοδο του αερισμού τα συστήματα των σειραδίων χωρίζονται σε αναδευόμενα και αεριζόμενα σειράδια (Haug, σελ 28)

### 3.2.2 Αναδευόμενα σειράδια

Ο αερισμός προκύπτει από την ανάδευση των υλικών. Ο σκοπός της ανάδευσης είναι να προωθήσει τον αερισμό και την ομοιογένεια της αποσύνθεσης με την εναλλαγή του υλικού από το εξωτερικό προς το εσωτερικό τμήμα που έχουμε πιο έντονη δραστηριότητα. Ακόμη η ανάδευση σε συνδυασμό με υψηλή υγρασία, βοηθάει στον κατακερματισμό των σωματιδίων, δηλαδή της μείωσης του όγκου του σωρού.

Ο σχηματισμός των σωρών συνηθίζεται να είναι τραπεζοειδής προς κωνικός. Ο καιρός παίζει σημαντικό ρόλο στο σχήμα που θα χτιστεί ο σωρός. Τα τριγωνικά σχήματα είναι κατάλληλα για να εκρέει και να μην αποθηκεύεται το νερό που μπορεί να προκύψει από βροχή ή από χιόνι στα υλικά της κομποστοποίησης. Το ύψος κυμαίνεται από 1,5 – 3 μέτρα και το πλάτος από 2,5 – 4 μέτρα ανάλογα με τον μηχανικό εξοπλισμό που πραγματοποιεί την ανάδευση.



Εικόνα 7: Ειδικός αναδευτήρας σειραδίων

Είναι σημαντικό στην διαδικασία της ανάδευσης, το εσωτερικό και το εξωτερικό υλικό να αναμειγνύονται καλά. Όλα τα υλικά πρέπει να περάσουν από το κέντρο του σωρού καθώς είναι το σημείο με την μεγαλύτερη μικροβιακή δραστηριότητα, υψηλότερη θερμοκρασία και μεγαλύτερους ρυθμούς αποδόμησης (<http://compost.css.cornell.edu>, Arvanitoyannis & Tserkezou, 2008).

### 3.2.3 Στατικά αεριζόμενα σειράδια

Στα αεριζόμενα σειράδια χρησιμοποιούνται συστήματα εξαναγκασμένου αερισμού που κατευθύνουν τον αέρα από εξωτερικά του σωρού προς εσωτερικά και αντίστροφα. Το υλικό του σωρού όμως παραμένει σταθερό. Το σύστημα που χρησιμοποιείται λειτουργεί με περιόδους προσρόφησης αέρα εξωτερικά προς εσωτερικά και εκρόφησης αέρα από εσωτερικά προς τα εξωτερικά τμήματα. Ο προσροφημένος αέρας προωθείται από το εσωτερικό ενός σωρού ή ενός σταθεροποιημένου κομπόστ με στόχο την απομάκρυνση έντονων οσμών διότι το έτοιμο κομπόστ και τα οργανικά υλικά είναι πολύ καλά φίλτρα για τις οσμές.

Επιπλέον στην φάση κατασκευής των σειραδίων εγκαθίσταται στο δάπεδο ένα σύστημα από σωλήνες που καλύπτεται από διογκωτικά υλικά ή κομπόστ και συνεχίζει η κάλυψη από πάνω με το κομπόστ. Οι σωληνώσεις τοποθετούνται κατά μήκος των σωρών και παράλληλα με την κορυφογραμμή. Τα έτοιμα σειράδια έχουν κατά προσέγγιση 20 - 30 μέτρα μήκος, 3 - 6 μέτρα πλάτος και 1,5 - 2,5 μέτρα ύψος. Οι σωροί στο τέλος της κατασκευής τους επικαλύπτονται με ένα στρώμα έτοιμου κομπόστ ή με συνθετικό υλικό που έχει στόχο να παγιδεύσει τις οσμές και να αυξήσει την θερμοκρασία του εσωτερικού ([www.fao.org](http://www.fao.org)).

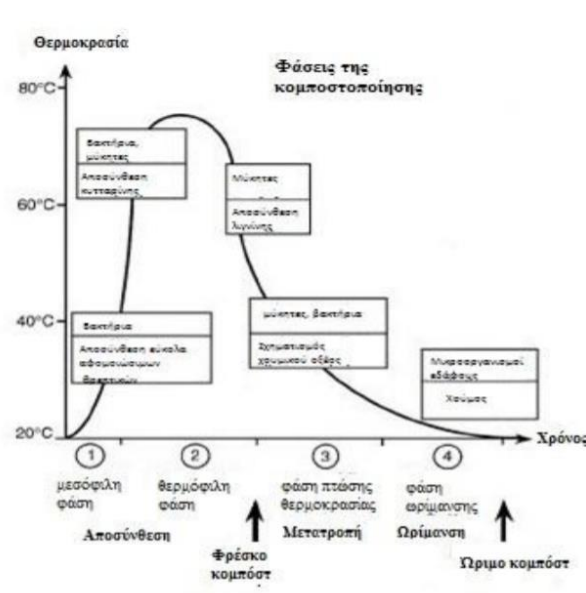
### 3.2.4 Κλειστά συστήματα

Ένα κλειστό σύστημα ή αλλιώς ένας αντιδραστήρας περιγράφει μια μονάδα που στο εσωτερικό της εκτελούνται οι πιο σημαντικές φάσεις της κομποστοποίησης. Από την στιγμή που η κομποστοποίηση είναι μία βιολογική διεργασία, οι μονάδες μπορούν να οριστούν και ως βιοαντιδραστήρες (Díaz, 2007). Τα κλειστά συστήματα κατηγοριοποιούνται με βάση την κατεύθυνση ροής του υλικού κομποστοποίησης που διακρίνονται στους αντιδραστήρες οριζόντιας ροής και τους αντιδραστήρες κάθετης ροής (Haug, 1993). Επιπρόσθετα υπάρχει και ο επικλινής αντιδραστήρας ή περιστρεφόμενο τύμπανο που έχει την ικανότητα να επιταχύνει την διαδικασία της κομποστοποίησης με την επίβλεψη των παραμέτρων της υγρασίας και του οξυγόνου. Το κοινό σε όλα τα παραπάνω συστήματα ότι έχουν μία είσοδο για το υλικό που πάει προς την κομποστοποίηση και μία έξοδο. Κατά την έξοδο το υλικό συνηθίζεται να τοποθετείται σε σωρούς ώστε να σταθεροποιηθεί και να ωριμάσει (<http://compost.css.cornell.edu>).

## 3.3 Στάδια κομποστοποίησης

Κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης η μικροβιακή κοινότητα που αποτελείται από βακτήρια και μύκητες, αποσυνθέτει την οργανική ύλη και παράγει διοξείδιο του άνθρακα, θερμότητα και το τελικό προϊόν που είναι ο χουμός. Για την βέλτιστη απόδοση στα συστήματα κομποστοποίησης παρέχονται οι βέλτιστες αερόβιες συνθήκες. Η μελέτη αυτών των συνθηκών μας έχει φέρει τρεις κύριες φάσεις που χρειάζονται για την παραγωγή ενός χρήσιμου τελικού προϊόντος. Η θερμοκρασία του σωρού είναι αυτή που κάνει τις τρεις φάσεις να διαφέρουν καθώς, οι υψηλές θερμοκρασίες είναι το αποτέλεσμα της έντονης μικροβιακής δραστηριότητας των δύο πρώτων φάσεων και είναι παράλληλα υπεύθυνες για την υγιεινοποίηση του τελικού προϊόντος αφού θανατώνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η πρώτη φάση που διαρκεί 5-

10 μέρες και φτάνει στους 20-40°C ονομάζεται μεσόφιλη φάση. Η επομένη διαρκεί μερικές μέρες έως αρκετούς μήνες και φτάνει στους 35-65°C ονομάζεται θερμοφιλή φάση. Η τελευταία, ονομάζεται φάση της ωρίμανσης (Cornel Waste Management Institute, 2015).



Εικόνα 8: Φάσεις κομποστοποίησης (Πηγή: Μάστακα, 2007, Στοιχεία: Balmer, 2004)

- Μεσοφιλικό:** Στο πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης μύκητες, ακτινοβακτήρια και βακτήρια αποδομούν τα πιο εύκολα και γεμάτα σε ενέργεια υλικά όπως πρωτεΐνες και σάκχαρα (Sánchez et al., 2017). Η συνεχόμενη μικροβιακή αποδόμηση των συστατικών προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας στους 40 με 45°C (Hellmann, Zelles, Palojarvi, & Bai, 1997). Τα όρια που θέτουν ανάμεσα σε μεσοφιλικό και θερμοφιλικό στάδιο είναι 45°C από τους Storino et al. (2016) & Manu et al (2017) και 15 – 35°C από τους Sanchez et al. (2017).
- Θερμόφιλο στάδιο:** Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, οι προσαρμοσμένοι μικροοργανισμοί σε αυτήν, πλεονεκτούν έναντι αυτών του μεσοφιλικού σταδίου και έτσι τους αντικαθιστούν. Σε αυτό το στάδιο συναντώνται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες (35 – 65°C) και πραγματοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της αποδόμησης (Lim et al., 2016). Επίσης αυτό το στάδιο είναι πολύ κρίσιμο για την υγειοποίηση του τελικού υλικού (Bazrafshan et al., 2016, Kazamias et al., 2017, Lim et al., 2016, Sánchez et al., 2017). Η ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών (55 - 60°C) σε συνδυασμό με τα ακτινοβακτήρια που παράγουν αντιβιοτικά, προκαλούν την θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών για τον άνθρωπο και τα φυτά και την καταστροφή των σπόρων αγριόχορτων και των νυμφών εντομών (Manu et al., 2017, Diaz., 2007). Η έντονη μικροβιακή δραστηριότητα μπορεί να φτάσει την θερμοκρασία του κομποστ έως τους 85°C (Sanchez et al., 2017).

- **Δεύτερο μεσοφιλικό:** Η δραστηριότητα των θεرمόφιλων οργανισμών σταματάει λόγω εξάντλησης της τροφής τους, έτσι η δραστηριότητα τους και η θερμοκρασία ελαττώνεται και επανεμφανίζονται οι μεσόφιλοι οργανισμοί (Sanchez et al., 2017). Σε αντίθεση με το πρώτο στάδιο που τα υλικά αποδομούνται εύκολα, σε αυτό το στάδιο πριν την ωρίμανση, είναι σειρά να αποδομηθούν οι πιο πολύπλοκες ενώσεις όπως άμυλα και κυτταρίνη (Gajalakshmi & Abbasi, 2008).
- **Ωρίμανση:** Στο τελευταίο στάδιο έχουμε το κομποστ που αποτελείται από λιγνοχουμικά σύμπλοκα που γίνεται να αποδομηθούν περισσότερο (Sanchez et al., 2017, Cooperband, PhD, 2000).

### 3.4 Κύριοι παράγοντες κομποστοποίησης

Καθώς η διεργασία της κομποστοποίησης είναι μία φυσική αερόβια διεργασία, οι παράγοντες που εμπλέκονται είναι αρκετοί. Η επιστημονική κοινότητα έχει ξεχωρίσει τους πιο σημαντικούς, για να μελετήσει την σύνθετη οικολογική διαδικασία της κομποστοποίησης.

Οι παράγοντες που ξεχωρίζουν είναι το οξυγόνο, η υγρασία, η θερμοκρασία (προϊόν της δραστηριότητας των μικροοργανισμών), το pH και τα θρεπτικά συστατικά (C/N). Οι παράγοντες αυτοί, έχουν την ικανότητα να αυτό-ελέγχονται και να αυτό-ρυθμίζονται έτσι ώστε να δημιουργήσουν το πιο φιλόξενο περιβάλλον για τους μικροοργανισμούς και την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων (Lim et al., 2016).

#### 3.4.1 Οξυγόνο

Σε ένα κομπόστ περιέχονται μικρόβια τα οποία χαρακτηρίζονται ως αερόβιοι μικροοργανισμοί, δηλαδή με επιτακτική ανάγκη του οξυγόνου για να επιβιώσουν. Εφόσον η κομποστοποίηση χαρακτηρίζεται ως μία αερόβια διεργασία, το οξυγόνο πρέπει να υπάρχει σε επαρκή ποσότητες έτσι ώστε να συνεχίζεται ομαλά η μικροβιακή δραστηριότητα (Erstein, 1997, Onwosi et al., 2017). Τα ποσοστά οξυγόνου είναι σημαντικό να κυμαίνονται μεταξύ 15 – 20%. Στην περίπτωση που έχουμε μικρότερο ποσοστό τότε θα παρατηρήσουμε την σταδιακή μείωση ή τον τερματισμό της αποσύνθεσης, αλλά και την δημιουργία οσμών. Αυτό συμβαίνει γιατί ο μεταβολισμός των μικροβίων ελαττώνεται και αρχίζουν να αναπτύσσονται οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί (USEPA, n.d.).

Το κομπόστ έχει ανάγκη για την συμπλήρωση οξυγόνου καθώς υπάρχουν συνεχώς νέοι κενοί χώροι ανάμεσα στους πόρους του μείγματος. Σε αυτούς μπορούμε να συμπληρώσουμε οξυγόνο με παθητικό ενεργητικό τρόπο. Παθητικά γίνεται με την βοήθεια μηχανικών μέσων για την ανάδευση των υλικών και την ανανέωση του οξυγόνου. Ενεργητικά με την χρήση συστημάτων αερισμού, όπου έχουμε συμπλήρωση του οξυγόνου μέσω φυσητήρων και αναρροφητήρων. Η ένταση της παροχής αέρα είναι επίσης σημαντική, διότι λιγότερη παροχή οξυγόνου προκαλεί αναερόβιες συνθήκες. Αντίθετα περισσότερη παροχή προκαλεί την μείωση της θερμοκρασίας

εμποδίζοντας την δημιουργία του θερμόφυλου σταδίου που χρειάζεται για απόδοση της αποδόμησης.

Η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζεται να διοχετεύσουμε είναι επίσης σημαντική. Στα πρώτα στάδια όπου οι μικροοργανισμοί έχουν περισσότερη τροφή χρειάζονται περισσότερο οξυγόνο για την αποδόμηση, ενώ το στάδιο της ωρίμανσης που έχει τελειώσει η τροφή τους, δεν χρειάζεται καθόλου (USEPA, n.d.).

Η μέτρηση οξυγόνου είναι μια επαναληπτική διαδικασία που χρειάζεται ειδικό εξοπλισμό που διαφέρει ανάλογα με τον τύπο κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση που υλοποιείται σε κλειστή δομή, χρησιμοποιείται ενεργητικός αερισμός και ο μηχανισμός που γίνεται η μέτρηση είναι με έναν αεραγωγό στο επάνω μέρος ο οποίος έχει έναν αισθητήρα που μετράει το οξυγόνο (Ekinici, Keener, & Akbolat, 2006). Η κομποστοποίηση που υλοποιείται σε σωρούς (ανοιχτό σύστημα) χρησιμοποιείται φορητή συσκευή μέτρησης η οποία διαπερνά το σωρό σε πολλαπλά σημεία σε διαφορετικές τοποθετήσεις για να έχουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα (Román, Martínez, & Pantoja, 2015).

### **3.4.2 Υγρασία**

Οι κατάλληλες ποσότητες υγρασίας είναι σημαντικός παράγοντας για την μικροβιακή δραστηριότητα του σωρού (Gajalakshmi & Abbasi, 2008) καθώς το νερό λειτουργεί σαν κομιστής συστατικών και διευκολύνει την πρόσβαση των θρεπτικών στους μικροοργανισμούς (USEPA, n.d.). Ακόμη, οι μικροοργανισμοί παράγουν οι ίδιοι υγρασία κατά την αποδόμηση (Agnew) αλλά δεν είναι αρκετή για τις απαιτήσεις που έχουν για να ολοκληρώσουν τις αναπαραγωγικές τους δραστηριότητες καθώς χάνονται μεγάλες ποσότητες από την ανάδευση ή τον αερισμό (USEPA, n.d.).

Οπότε όταν η υγρασία όταν είναι σε χαμηλά επίπεδα δηλαδή κάτω από 30%, οι διεργασίες των μικροοργανισμών δεν μπορούν να συνεχιστούν και η κομποστοποίηση τερματίζεται σιγά σιγά. Αντίθετα όταν η υγρασία βρεθεί σε υψηλά επίπεδα δηλαδή πάνω από 75% γεμίζει τους πόρους που υπήρχε το οξυγόνο και έτσι επηρεάζει τα επίπεδα οξυγόνου εμποδίζοντας την μεταφορά του (Agnew & Leonard, 2003). Η ικανοποιητική ποσότητα υγρασίας βρίσκεται κοντά στο 50% και επηρεάζεται άμεσα από την φύση της πρώτης ύλης και το πορώδες του σωρού (Gajalakshmi & Abbasi, 2008). Τα μητρικά υλικά έχουν διαφορετικά ποσοστά ιδανικής υγρασίας γιατί έχουν διαφορετική διαθεσιμότητα σε νερό. Οι μορφές του νερού όπως τριχοειδή μορφή, φιλμ γύρω από στερεά σωματίδια κ.α. έχει και διαφορετική διαθεσιμότητα

### **3.4.3 Θερμοκρασία**

Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το 40-50% της ενέργειας που παράγεται από την αποδόμηση της οργανικής ύλης που λαμβάνει χώρα στο κομποστ. Η βίο-αποδόμηση είναι μία βίο-οξειδωτική εξώθερμη διεργασία με παράγωγα μεγάλα ποσά ενέργειας. Η ενέργεια που δεν χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί είναι αυτή που χάνεται ως θερμότητα μέσα στον σωρό. Η θερμοκρασία του σωρού λαμβάνει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαδικασία του κομποστ, καθώς ορίζει τον ρυθμό της αποσύνθεσης (USEPA, n.d., Epstein, 1997, Manu, Kumar, & Garg, 2017, Rynk, 1992). Σε χαμηλές θερμοκρασίες όπως κάτω από 20C οι μικροοργανισμοί δεν

μπορούν να επιβιώσουν και η διαδικασία επιβραδύνεται (Mosher & Anderson, 1977). Οι πιο αποδοτικές θερμοκρασίες είναι ανάμεσα 45-59C (USEPA, n.d.).

#### **3.4.4 pH**

Το pH ορίζει αν μία ουσία είναι αλκαλική, όξινη ή ουδέτερη. Στο έδαφος είναι ένας πολύ σημαντικός χημικός παράγοντας για την ποιοτική θρέψη των φυτών καθώς επηρεάζει την βιολογική δραστηριότητα του εδάφους και την αφομοίωση των διάφορων θρεπτικών στοιχείων (Γ. Δα: Αλιφραγκής και Παπαμίχος, 2006). Στην κλίμακα της κομποστοποίησης το pH συμβάλει στον ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών, αλλά και το είδος των μικροοργανισμών που παίρνουν μέρος στην διαδικασία (Onwosi et al., 2017, Epstein, 1997).

Η τιμή του pH είναι αυτή που δημιουργεί το έφορο έδαφος για τις μικροβιακές κοινότητες του κομποστ. Οι ουσίες με τιμή 7 ορίζονται ως ουδέτερες, μικρότερη του 7 όξινες και μεγαλύτερη το 7 αλκαλικές. Οι τιμές ενδιαφέροντος του pH για κομποστοποίηση κυμαίνονται από 3 έως 11. Το πιο κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη μυκήτων βρίσκεται 5,5 – 8 και βακτηρίων 6 – 7,5 (Zorpas, Agaroglou, & Panagiotis, 2003). Όμως χρειάζεται προσοχή διότι το Ph που πλησιάζει σε τιμές, το 9 μετατρέπει το άζωτο σε αμμωνία και γίνεται μη προσλήψιμο από τους μικροοργανισμούς και κάτω του 6 επιβραδύνεται η διαδικασία διότι τα περισσότερα βακτήρια πεθαίνουν (USEPA, n.d.).

#### **3.4.5 Θρεπτικά και λόγος C/N**

Οι μικροοργανισμοί έχουν μεγάλες ανάγκες από μακροθρεπτικά (άνθρακας, άζωτο, φώσφορος και κάλιο) τα οποία πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Όπως να είναι επαρκής σε ποσότητα, να βρίσκονται σε προσλήψιμη μορφή και σε κατάλληλη αναλογία. Ο άνθρακας δίνει ενέργεια και συνδυαστικά με το άζωτο συνθέτουν πρωτεΐνες, αναπλάθουν κύτταρα και βοηθούν στην αναπαραγωγή των μικροοργανισμών (Γ Δα. Environment Agency, 2001). Ακόμη σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις χρειάζονται μικροθρεπτικά όπως ασβέστιο, χλώριο, κοβάλτιο, χαλκό, σίδηρο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, μολυβδαίνιο, σελήνιο, νάτριο και ψευδάργυρο που βοηθούν στην καλύτερη αφομοίωση όλων των θρεπτικών. Αν αυξηθεί η συγκέντρωση των μικροθρεπτικών τότε αυτό μπορεί να γίνει τοξικό για τους μικροοργανισμούς (USEPA, n.d.).

Τα στοιχεία του άνθρακα και αζώτου είναι πολύ σημαντικός και περιοριστικός παράγοντας. Ο λόγος αυτών των δύο στοιχείων όμως είναι κρίσιμος γιατί επηρεάζει την ανάπτυξη των οργανισμών καθώς είναι η πηγή άνθρακα και αζώτου κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης.

#### **3.4.6 Παθογόνοι μικροοργανισμοί**

Παθογόνος θεωρείται οποιοσδήποτε μικροοργανισμός, ιός ή ουσία που μπορεί να προσβάλει τον άνθρωπο και να του προκαλέσει κάποια ασθένεια (Stedman's Medical Dictionary, 1976). Παθογόνους μικροοργανισμούς μπορούμε να βρούμε στα αστικά απορρίμματα, στις ιλύς των βιολογικών καθώς και σε άλλες κατηγορίες βιολογικών αποβλήτων. Οι οργανισμοί που προσβάλλονται είναι άνθρωποι, ζώα και φυτά. Οι οργανισμοί που προσβάλλουν είναι βακτήρια, μύκητες, ιοί και παράσιτα. Πολλές μελέτες αποδεικνύουν ότι στα αστικά απορρίμματα

περιέχονται κυρίως δύο πηγές παθογόνων που είναι τα απόβλητα των κατοικίδιων ζώων και οι απορριπτόμενες πάνες επειδή περιέχουν περιττώματα κι ούρα. Άλλες πηγές μπορεί να είναι επιμολυσμένο ιατρικό υλικό από σπίτια, προϊόντα γυναικείας υγιεινής, χαρτί υγείας, σύριγγες κ.α. (Erstein, 1997).

Στην περίπτωση που το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης δεν έχει απολυμανθεί επειδή δεν έχουν τηρηθεί όλες οι προϋποθέσεις, τότε ενδέχεται να υπάρξουν παθογόνοι μικροοργανισμοί είτε κατά τα αρχικά στάδια είτε από το κομπόστ. Σύμφωνα με τους Jones και Martin (2003) οποιοδήποτε είδος οργανικού αποβλήτου ανεξαρτήτου προέλευσης και φύσης μπορεί να είναι εν δυνάμει κίνδυνος για την υγεία κατά την συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση, επεξεργασία και χρήση.

Οι σχέσεις θερμοκρασίας - χρόνου είναι αυτές που καθορίζουν υγεινοποίηση του κομπόστ. Οι θερμοκρασίες πρέπει να διατηρούνται πάνω 50°C για ώρες ή για μέρες ανάλογα με τον παθογόνο οργανισμό (Jones & Martin, 2003). Όμως υπάρχει μία αντικρουόμενη άποψη των Storino et al. (2016) που υποστηρίζουν ότι είναι δύσκολο να συνδέσεις σχέση θερμοκρασίας και παθογόνων καθώς η απομάκρυνση τους εξαρτάται από ένα πολύπλευρο μείγμα συνδυαζόμενων παραγόντων πέρα της θερμοκρασίας.

Η ελληνική νομοθεσία (ΚΥΑ 56366/4351/2014) υποστηρίζει πως οι θερμοκρασίες που πρέπει να επιτευχθούν είναι:

- $\geq 55^{\circ}\text{C}$  για το διάστημα δύο εβδομάδων σε σειράδια ανοιχτού τύπου, με 5 αναμίξεις σε εκείνο το διάστημα ή
- $\geq 65^{\circ}\text{C}$  για το διάστημα μίας εβδομάδας, με δύο αναμίξεις και
- $\geq 60^{\circ}\text{C}$  για το διάστημα μίας εβδομάδας, για αντιδραστήρες κλειστού τύπου.

### 3.4.7 Οσμές

Η οσμή ορίζεται ως την ιδιότητα μιας ή πολλών χημικών ουσιών που ανάλογα με την συγκέντρωση εκλύει μια μυρωδιά που είναι ικανή να αντιληφθεί από την όσφρηση (Diaz, 2007). Οι δυσάρεστες οσμές είναι από τα βασικά προβλήματα της κομποστοποίησης (Sundberg et al., 2013). Επειδή οι δυσάρεστες οσμές προσλαμβάνονται από τις κοινότητες ως εστίες μόλυνσης, οι οσμές ως χαρακτηριστικό είναι ένα μεγάλο μειονέκτημα για τις κοινότητες που ζουν κοντά σε εγκαταστάσεις κομποστοποίησης (Cerde et al., 2017, Onwosi et al., 2017).

Λόγω της ιδιαίτερης φύσης των οσμών δεν υπάρχει κοινά αποδεκτός μηχανισμός μέτρησης τους. Υπάρχουν τρεις προσεγγιστικές τεχνικές μέτρησης, η αναλυτική, με τις αισθήσεις και με ένα εξοπλισμό που «αισθάνεται» τις μυρωδιές όπως είναι η «ηλεκτρονική μύτη» (electronic nose) για την ποσοτική αναγνώριση των οσμών (Giuliani, Zarra, Naddeo, & Belgiorno, 2013). Η πιο αναγνωρισμένη ευρωπαϊκά είναι η αντίληψη των οσμών μέσω των αισθήσεων (Dynamic Olfactometry) όπου θεωρείται η καλύτερη μέθοδος για την αξιολόγηση τους σε εγκαταστάσεις διαχείρισης και επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων (Sundberg et al., 2013).

Η πηγή των έντονων οσμών έρχεται κυρίως από πτητικές ενώσεις μαζί με αζωτούχα συστατικά που εκπέμπουν αυτές τις οσμές με την μορφή αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ). Επιπλέον η χαμηλή αναλογία του λόγου C/N βοηθάει σε αυτό, λόγω του πλεονάζοντος αζώτου σε μείγματα με πολύ πράσινο ή φαγητών. Η εκπομπή της αμμωνίας συνδέεται με την θερμοκρασία και το pH και ευνοείται από τα αλκαλικά περιβάλλοντα και τις υψηλές θερμοκρασίες. Ακόμη έχουν αναφερθεί σε πολλές μελέτες οι μυρωδιές από θείο που προέρχονται από τα αρχικά υλικά (Cerde et al., 2017).



Το είδος της κομποστοποίησης (ανοιχτό ή κλειστό), το αρχικό υλικό, οι συνθήκες της διεργασίας (υγρασία, pH, αερισμός) και το στάδιο της κομποστοποίησης είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα των δυσάρεστων οσμών. Η αποφυγή αυτών των οσμών μπορεί να επιτευχθεί παρέχοντας σωστό αερισμό, επαρκή ελεύθερο χώρο για την κίνηση του αέρα μέσα στο υλικό και διατήρηση του pH σε υψηλές τιμές (Cerdea et al., 2017, Onwosi et al., 2017, Sundberg et al., 2013). Επίσης στο στάδιο που παράγεται η πλειοψηφία των δυσάρεστων οσμών μπορεί να γίνει η χρήση κλειστού συστήματος στα οποία φιλτράρονται τα απαέρια της διαδικασίας και έτσι ελαχιστοποιούνται η εκπομπή τους (Sunberg et al., 2013).

### **3.5 Τελικό προϊόν**

#### **3.5.1 Σταθεροποίηση και ωρίμανση του κομπόστ**

Ο στόχος της κομποστοποίησης είναι το τελικό προϊόν που μοιάζει με χουμό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην βελτίωση των εδαφών και της ανάπτυξης των φυτών (Erstein, 1997, D. P. Komilis & Tziouvaras, 2009). Οι όροι «σταθερό» και «ώριμο» για ένα κομπόστ μπορεί να μερικές φορές να συγχέονται στην βιβλιογραφία, όμως παραμένουν δυο διαφορετικοί όροι. Η ωριμότητα περιγράφει την κλίμακα φυτοτοξικότητας ενός κομπόστ, δηλαδή που εμποδίζει την ανάπτυξη των φυτών, ενώ η σταθερότητα την κλίμακα αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας δηλαδή την κλίμακα της μικροβιακής δραστηριότητας (Erstein, 1997, D. P. Komilis & Tziouvaras, 2009). Όμως αυτοί οι όροι συμπορεύονται γιατί οι μικροοργανισμοί σε ασταθή κομπόστ παράγουν φυτοτοξικές ουσίες (Bernal, Paredes, Sanchez-Monedero, & Cegarra, 1998). Επιπλέον η φυτοτοξικότητα μπορεί να προέρχεται από αρκετά διαλυτά άλατα ή υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και σε αυτές τις περιπτώσεις δεν γνωρίζουμε με βεβαιότητα αν ένα κομπόστ είναι ώριμο, περιορίζοντας έτσι την αποτελεσματικότητα των τεστ φυτοτοξικότητας (Said-Pullicino, Erriquens, & Gigliotti, 2007).

#### **3.5.2 Ποιότητα τελικού προϊόντος**

Η κομποστοποίηση έχει στόχο μέσα από την επεξεργασία βιοαποδομήσιμων υλικών να παράξει ένα όσο είναι δυνατόν ποιοτικότερο κομπόστ. Οι παράγοντες που κάνουν αυτή την διαδικασία επιτυχής είναι η ποιότητα και η δυνατότητα διάθεσης του τελικού προϊόντος. Ο προσδιορισμός της ποιότητας του κομπόστ απορρέει από ευρωπαϊκές οδηγίες αλλά και του κάθε κράτους ξεχωριστά γιατί οι επιστήμονες εκφράζουν διαφορετικές γνώμες στις τιμές που δίνει ένα κομπόστ (Μαλάμης, 2011). Η ποιότητα ενός κομπόστ διακρίνεται μέσα από κάποια κριτήρια, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, των προβλημάτων υγείας και την καταλληλότητα του για την άμεση διάθεση του στο έδαφος, στα καλλιεργούμενα εδάφη κτλ. Σε αυτά τα κριτήρια ακολουθούν οι παρακάτω παράμετροι (Saveyn & Elder, 2014):

- Μικρές ποσότητες στοιχείων που βοηθούν στην βελτίωση του εδάφους ή που έχουν εδαφοβελτιωτικά χαρακτηριστικά όπως η οργανική ουσία ή θρεπτικά συστατικά (N, P, K, Mg)
- Ανώτερα επιτρεπτά όρια για στοιχεία με τοξικές συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου ή του περιβάλλοντος όπως οργανικοί ρύποι ή βαρέα μέταλλα.
- Ανώτερα όρια για μακροσκοπικά αδρανή υλικά (γυαλί, πλαστικό, μέταλλα)

- Μικρή ποσότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς
- Μικρή ποσότητα ζιζανίων
- Μειωμένη σταθερότητα

**Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος**

| Παράμετροι  | ΚΥΑ<br>56366/4351/<br>2014     | Eco Label* | Κομπόστ<br>για αγροτική<br>χρήση |
|---|--------------------------------|------------|----------------------------------|
| Pb (mg/kg)  | ≤ 300                          | ≤ 100      | < 120                            |
| Cd (mg/kg)  | ≤ 3                            | ≤ 1        | < 1,5                            |
| Cr (mg/kg)  | ≤ 250                          | ≤ 100      | < 100                            |
| Cu (mg/kg)  | ≤ 400                          | ≤ 100      | < 100                            |
| Ni (mg/kg)  | ≤ 100                          | ≤ 50       | < 50                             |
| Zn (mg/kg)  | ≤ 1200                         | ≤ 300      | < 400                            |
| Hg (mg/kg)  | ≤ 2.5                          | ≤ 1        | < 1                              |
| As (mg/kg)  | ≤ 10                           | ≤ 10       | -                                |
| pH  | -                              | -          | < 9                              |
| E-coli (cfu/g φρέσκου δείγματος)  | -                              | -          | < 1000                           |
| Περιεκτικότητα σε γυαλί (Ξ.Β.)  | -                              | -          | < 0,1%                           |
| Περιεκτικότητα σε πλαστικό (Ξ.Β.)   | -                              | -          | < 0,05%                          |
| Κοκκομετρία υλικού (90% κ.β.)   | -                              | -          | Απαιτήσεις πελάτη                |
| Υγρασία (w/w)   | ≤ 40%                          | -          | < 50%                            |
| Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια (PCBs)  | ≤ 0.4                          | -          |                                  |
| Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAH)<br>(mg/kg Ξ.Β.)                                   | ≤ 3                            | -          |                                  |
| Προσμίξεις > 2mm  | ≤ 3% Ξ.Β.                      | -          |                                  |
| Περιεκτικότητα σε σπόρους ζιζανίων και σε<br>βλαστικά αναπαραγωγικά μέρη επιθετικών<br>ζιζανίων | ≤ 3<br>μονάδες/L               | -          |                                  |
| Salmonella spp.   | Απουσία σε<br>50g<br>δείγματος | -          | Απουσία σε 50g<br>δείγματος      |

\*Προδιαγραφές απονομής κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους Απόφαση 2006/799/ΕΚ

\*\*Προδιαγραφές που προτείνονται από τους (Saveyn & Eder, 2014)(Saveyn & Eder, 2014)

Ο παραπάνω πίνακας παρουσιάζει τα όρια των παραμέτρων που έχουν οριστεί από την ελληνική νομοθεσία ή προτείνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

### 3.5.3 Χαρακτηριστικά προϊόντος

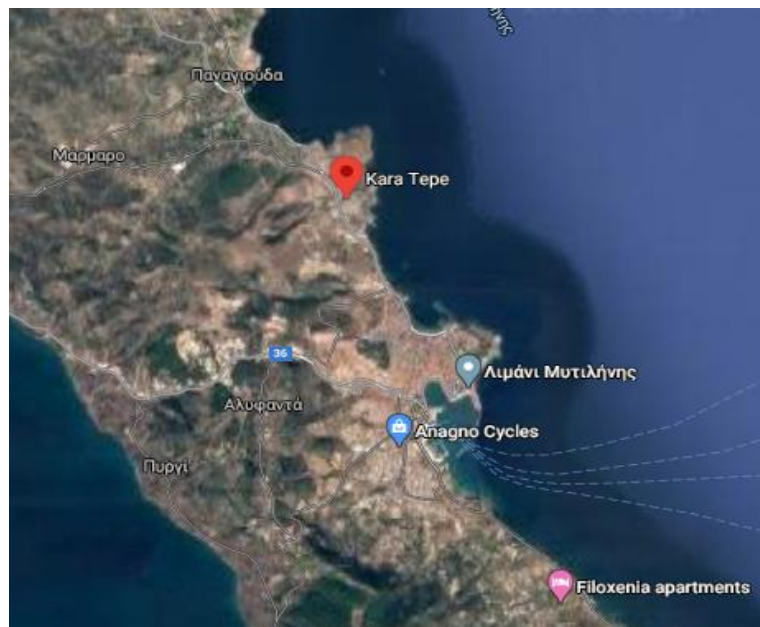
Τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος μας δίνουν μία επιπλέον εικόνα για την τελική μορφή των αποβλήτων και την διάκριση τους ως χρήσιμο υλικό. Τα κριτήρια που επιλέγονται οι πληροφορίες χρειάζεται να εξετάζουν πότε μία μέθοδος έχει την ικανότητα να παρέχει ένα ποιοτικό προϊόν για ανακύκλωση, να συμβαδίζουν με την προ υπάρχουσα νομοθεσία και να υπερασπίζουν την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Οι πληροφορίες που παρέχονται μπορούν να αναφέρουν τις πραγματικές τιμές παράλληλα με τις παραμέτρους που σχετίζονται με την χρησιμότητα του υλικού για παράδειγμα το περιεχόμενο CaO, pH, πυκνότητα, υγρασία ή μέγεθος κόκκων. Παρόλο αυτά, ο αριθμός αυτών των πληροφοριών πρέπει να είναι περιορισμένος έτσι ώστε να είναι πιο άμεση και ξεκάθαρη η χρήση του υλικού.

Παρακάτω αναφέρονται τα κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρακτηρίσουν ένα κομπόστ που είναι έτοιμο να διατεθεί στην αγορά (Saveyn & Eder, 2014):

- Χρήση ως εδαφοβελτιωτικό
  - Περιεκτικότητα σε οργανική ουσία
  - Περιεκτικότητα σε CaO
- Χρήση ως λίπασμα
  - Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (N, P, K, Mg)
  - Περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία
- Βιολογικές ιδιότητες
  - Περιεκτικότητα σε σπόρους ζιζανίων και σε βλαστικά αναπαραγωγικά μέρη επιθετικών ζιζανίων
- Γενικές ιδιότητες υλικού
  - Μέγεθος κόκκων
  - pH
  - Πυκνότητα
  - Ηλεκτρική αγωγιμότητα
  - Περιεχόμενη ξηρά ουσία

#### 4. Μονάδα φιλοξενίας Καρά Τεπέ και διαχείριση βιοαποβλήτων

Η δημοτική μονάδα φιλοξενίας, Καρά Τεπέ της Μυτιλήνης δημιουργήθηκε το 2015 λόγω της αυξημένης προσέλευσης προσφύγων στα παράλια της Λέσβου και ως εκ τούτου την ανάγκη στέγασης οικογενειών που έπρεπε να μείνουν στο νησί για αρκετό καιρό ως την έκδοση της άδειας παραμονής τους στην Ελλάδα ή την προώθησή τους σε άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην παρακάτω εικόνα από το Google.maps διακρίνουμε σε ποιο ακριβώς σημείο βρίσκεται η μονάδα.

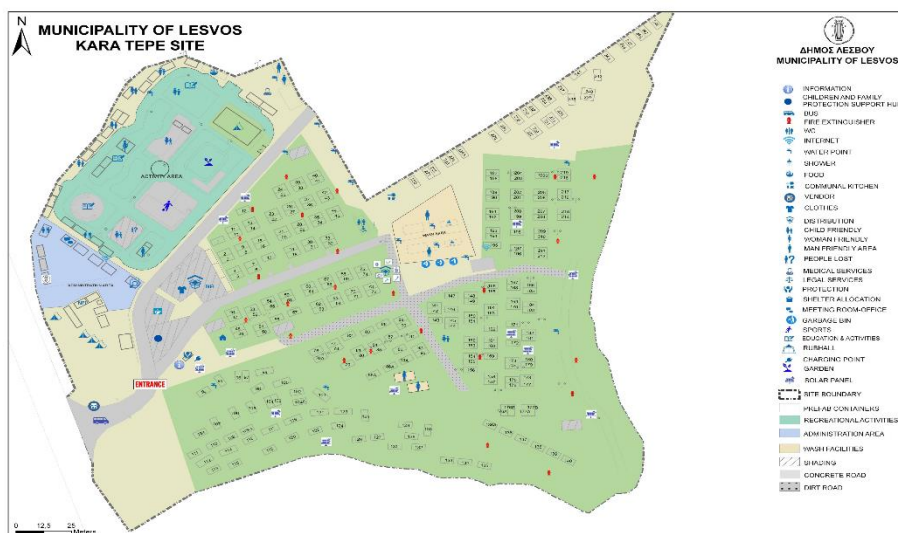


Εικόνα 9: Τοποθεσία Καρά Τεπέ στον χάρτη της Λέσβου

##### 4.1 Αριθμητικά στοιχεία του Κέντρου και παραγωγή ΑΣΑ

Το 2019 το ΚΥΤ φιλοξενούσε σε 258 καταλύματα 1342 κατοίκους κατά μέσο όρο. Ειδικότερα, για την περίοδο Μάιου 2019, 1355 κατοίκους και Νοέμβριου 2019, 1329 κατοίκους.

Ο υπεύθυνος για την διαχείριση των απορριμμάτων ήταν ο Δήμος Λέσβου. Πράσινοι κάδοι για την απόρριψη σύμμεικτων απορριμμάτων υπήρχαν στη μονάδα για όλους τους κατοίκους και αργότερα προστέθηκαν και οι μπλε για τα ανακυκλώσιμα. Με βάση την βιβλιογραφία, γνωρίζουμε ότι η παραγωγή αποβλήτων στο προσφυγικό κέντρο του Καρά Τεπέ, υπολογίζεται στα 54 ( $\pm 12$ ) L (υγρά απόβλητα) ανά πρόσφυγα και 0,88 ( $\pm 0,50$ ) kg αστικών στερεών αποβλήτων κατά κεφαλή και ημέρα (Stasinakis. A.S., Katsouli. A., 2019).



Εικόνα 10: Χάρτης του ΚΥΤ στον Καρά Τεπέ

## 4.2 Ισχύον σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων εντός του ΚΥΤ

Γενικά στη μονάδα υπάρχουν πράσινοι κάδοι για την απόρριψη σύμμεικτων απορριμμάτων από όλους τους κατοίκους. Στην μονάδα υπεύθυνος για την διαχείριση των απορριμμάτων, είναι ο δήμος Λέσβου και οι Μ.Κ.Ο. που είναι στην μονάδα για να βοηθήσουν. Στην μονάδα κάθε σπίτι έχει τον δικό του κάδο, έξω από το σπίτι, όπου εκεί, μέχρι πρόσφατα, πετιόντουσαν σύμμεικτα όλα τα απορρίμματα. Το Ιούλιο οι κάτοικοι της μονάδας ενημερώθηκαν για την δράση της Μ.Κ.Ο. Movement on the Ground, σε συνεργασία με το Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για την ανακύκλωση. Αυτή η Μ.Κ.Ο. “σύστησε” στους κατοίκους στην ανακύκλωση. Η δράση που έκαναν ήταν να βάλουν αυτοσχέδιους κάδους έξω από 77 σπίτια. Σε συνεργασία με τον δήμο εγκαταστάθηκαν τέσσερις μπλε κάδοι για την ανακύκλωση για την εναπόθεση ανακυκλώσιμων από όλους τους κατοίκους. Οι “κάδοι” που τοποθετήθηκαν έξω από τα 77 σπίτια, είναι στην ουσία χαρτόκουτα τα οποία προμηθεύτηκαν οι κάτοικοι από την Μ.Κ.Ο. και έτσι από τότε εκεί είναι που πετιούνται τα ανακυκλώσιμα υλικά (Εικόνα 11).



**Εικόνα 11: Αυτοσχέδιοι κάδοι για τη διαλογή στην Πηγή των υλικών συσκευασία**

## 5. Πειραματικό Σκέλος

### 5.1 Εκτίμηση ποσότητας αποβλήτων και βιοαποβλήτων στο ΚΥΤ

Απόβλητο θεωρείται οποιοδήποτε υλικό έχει απορριφθεί από έναν άνθρωπο, ένα σπίτι ή μία οργάνωση. Η ετερογένεια στην σύσταση των αποβλήτων, μπορεί να αποβεί επικίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου (Rushton, 2003). Επίσης, όλοι οι παράγοντες που ολοκληρώνουν την διαδικασία διαχείρισης των στερεών αποβλήτων είναι σημαντικοί. Όπως η μεταφορά και η διάθεση τους. Αυτό γιατί επηρεάζουν την δημόσια υγεία, την αισθητική και το περιβάλλον (Isaam A. Al-Khatib. et al., 2007, 2010). Αντίθετα, η ορθή διαχείριση τους επιφέρει τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά οφέλη.

Τα βιοαπόβλητα συναντώνται σε ποσοστά πάνω από 50% στο σύνολο των ΑΣΑ και μερικές φορές το ποσοστό μπορεί να φτάσει το 80%. (Zhou et al., 2014). Ακόμη, το μίγμα των βιοαποβλήτων περιέχει υλικά όπου δρουν αρνητικά στο περιβάλλον, καθώς παράγουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, οσμών, υγρών αποβλήτων και άλλων χημικών ουσιών. Επομένως, τα υψηλά ποσοστά και οι επιζήμιες επιπτώσεις στο περιβάλλον από την σύσταση τους, τα κάνει ένα πολύ κρίσιμο ζήτημα για στον τομέα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Μία βιώσιμη διαχείριση των αστικών βιοαποβλήτων μπορεί να εξομαλύνει την κατάσταση μειώνοντας την ρύπανση και αξιοποιώντας τους ήδη υπάρχοντες πόρους.

#### 5.1.1 Περίοδος δειγματοληψίας

Η έρευνα της εκτίμησης της ποσότητας των οικιακών αποβλήτων ξεκίνησε τον Μάιο του 2019 και έληξε τον Νοέμβρη του 2019. Για να υπάρχουν πλήρη δεδομένα για την ολοκλήρωση της έρευνας πρέπει να γίνουν τουλάχιστον τέσσερις (4) δειγματοληψίες. Στο πείραμα όμως, έγιναν δύο δειγματοληψίες λόγω των ειδικών καταστάσεων που βρέθηκε το νησί λόγω του COVID-19 δεν συνεχίστηκαν οι προγραμματισμένες δειγματοληψίες. Οι δειγματοληψίες κράτησαν μία βδομάδα η κάθε μία.

#### 5.1.2 Περιγραφή πειράματος

Η ανάλυση σύστασης των ΑΣΑ διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό στρατηγικών διαχείρισης αποβλήτων. Όπως επίσης η βελτιστοποίηση και η ενδυνάμωση των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων. Για την επίτευξη αυτών, χρειάζονται ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα. Ένα πείραμα διαχείρισης αποβλήτων έχει τρεις φάσεις. Ξεκινάει με την δειγματοληψία των αποβλήτων, στην συνέχεια με την κατηγοριοποίηση των αποβλήτων (πχ χαρτί, πλαστικό, οργανικά κ.α.) και τέλος με την κατανόηση των δεδομένων για τον κατάλληλο χειρισμό τους (Maklawe. E.E. et al., 2014). Αντίστοιχα, τα βιοαπόβλητα μπορούν να διαφοροποιηθούν σε υπό-κατηγορίες όπως απόβλητα κήπου, απόβλητα τροφών, για την αποδοτικότερη διαχείριση τους.

Στο πείραμα, που διεξήχθη ακολουθήθηκαν τα στάδια για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Πρώτα έγινε ο υπολογισμός των ποσοτήτων των απορριμμάτων που πετάει κάθε κάτοικος ανά σπίτι την ημέρα. Επειδή όμως, ο αριθμός των κατοίκων ήταν πολύ μεγάλος (1355), δεν ήταν δυνατό το δείγμα απορριμμάτων να είναι από όλα τα καταλύματα. Επιλέχθηκε ένας αριθμός καταλυμάτων ο οποίος θεωρήθηκε ότι είναι αντιπροσωπευτικός για το πείραμα. Κατά την

επιλογή του αριθμού και του τύπου των καταλυμάτων (άτομα ανά σπίτι) που επιλέχθηκαν για την ανάλυση, έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του συνόλου του πληθυσμού.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται η διαδικασία με την οποία έγινε η επιλογή για το πόσοι κάτοικοι και πόσα και ποια καταλύματα θα πάρουν μέρος στο δείγμα. Κατηγοριοποιήθηκαν, οι κατοικίες ανά αριθμό ατόμων που μένουν σε αυτές και βρέθηκε ο αριθμός των καταλυμάτων που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία καθώς και την αναλογία των κατοίκων σε κάθε κατηγορία καταλύματος. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε για όλες τις δειγματοληψίες όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 και Πίνακα 5.

**Πίνακας 4: Μέθοδος επιλογής αριθμού κατοίκων και καταλυμάτων για την λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος στερεών αποβλήτων από το ΚΥΤ του Καρά Τεπέ (Μάιος 2019)**

| Αριθμός κατοίκων | Αριθμός καταλυμάτων | Κάτοικοι ανά κατηγορία καταλυμάτων | Αναλογία κατοίκων ως προς το σύνολο |     | Αναλογία καταλυμάτων ως προς το σύνολο |     | Αριθμός καταλυμάτων που επιλέχθηκαν ανά κατηγορία |
|------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----|--|-----|---|
|                  |                     |                                    |                                     |     |  |     |   |
| <b>2</b>         | 9                   | 18                                 | 1%                                  | 0.2 | 3%                                     | 0.6 | <b>1</b>  |
| <b>3</b>         | 35                  | 105                                | 8%                                  | 1.4 | 13%                                    | 2.4 | <b>2</b>  |
| <b>4</b>         | 60                  | 240                                | 18%                                 | 3.2 | 23%                                    | 4.1 | <b>4</b>  |
| <b>5</b>         | 57                  | 285                                | 21%                                 | 3.8 | 22%                                    | 3.9 | <b>4</b>  |
| <b>6</b>         | 46                  | 276                                | 20%                                 | 3.7 | 17%                                    | 3.1 | <b>3</b>  |
| <b>7</b>         | 37                  | 259                                | 19%                                 | 3.4 | 14%                                    | 2.5 | <b>3</b>  |
| <b>8</b>         | 9                   | 72                                 | 5%                                  | 1.0 | 3%                                     | 0.6 | <b>1</b>  |
| <b>9</b>         | 6                   | 54                                 | 4%                                  | 0.7 | 2%                                     | 0.4 |   |
| <b>10</b>        | 2                   | 20                                 | 1%                                  | 0.3 | 1%                                     | 0.1 |   |
| <b>11</b>        | 1                   | 11                                 | 1%                                  | 0.1 | 0%                                     | 0.1 |   |
| <b>15</b>        | 1                   | 15                                 | 1%                                  | 0.2 | 0%                                     | 0.1 |   |
| <b>Σύνολο</b>    | 263                 | 1355                               |                                     |     |  |     | <b>18</b>   |



Πίνακας 5: Μέθοδος επιλογής αριθμού κατοίκων και καταλυμάτων για την λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος στερεών αποβλήτων από το ΚΥΤ του Καρά Τεπέ (Νοέμβριος 2019)

| Αριθμός κατοίκων | Αριθμός καταλυμάτων | Κάτοικοι ανά κατηγορία καταλυμάτων | Αναλογία κατοίκων ως προς το σύνολο |     | Αναλογία καταλυμάτων ως προς το σύνολο |     | Αριθμός καταλυμάτων που θα παρακολουθηθούν ανά κατηγορία |
|------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----|--|-----|--|
|                  |                     |                                    |                                     |     |  |     |  |
| 2                | 11                  | 22                                 | 2%                                  | 0.5 | 4%                                     | 1.3 | 1  |
| 3                | 44                  | 132                                | 10%                                 | 3.0 | 17%                                    | 5.1 | 5  |
| 4                | 52                  | 208                                | 16%                                 | 4.7 | 20%                                    | 6.0 | 6  |
| 5                | 50                  | 250                                | 19%                                 | 5.6 | 19%                                    | 5.8 | 6  |
| 6                | 45                  | 270                                | 20%                                 | 6.1 | 17%                                    | 5.2 | 5  |
| 7                | 21                  | 147                                | 11%                                 | 3.3 | 8%                                     | 2.4 | 3  |
| 8                | 20                  | 160                                | 12%                                 | 3.6 | 8%                                     | 2.3 | 2  |
| 9                | 12                  | 108                                | 8%                                  | 2.4 | 5%                                     | 1.4 | 2  |
| 10               | 2                   | 20                                 | 2%                                  | 0.5 | 1%                                     | 0.2 |  |
| 12               | 1                   | 12                                 | 1%                                  | 0.3 | 0%                                     | 0.1 |  |
| <b>Σύνολο</b>    | 258                 | 1329                               |                                     |     |  |     | <b>30</b>  |

Τελικά, τα στοιχεία που προέκυψαν για το δείγμα Μαΐου 2019, το οποίο μελετήσαμε είναι 18 από τις 263 κατοικίες και αναλογούν σε 91 (6,7%) από τους 1355 κατοίκους. Για το δείγμα Νοεμβρίου μελετήσαμε 30 από τις 258 κατοικίες που αναλογούν σε 156 (11.7%) από τους 1329 κατοίκους, όπως φαίνονται στον

Πίνακας 6.

| Πίνακας<br>στοιχεία<br>της | Τελικά Στοιχεία              | Μάιος | Νοέμβριος | 6: Τελικά<br>για<br>διεξαγωγή |
|----------------------------|------------------------------|-------|-----------|-------------------------------|
|                            |                              | 2019  | 2019      |                               |
|                            | Ποσοστό δείγματος            | 6,7%  | 11,7%     |                               |
|                            | Πλήθος καταλυμάτων δείγματος | 18    | 30        |                               |
|                            | Πληθυσμός δείγματος          | 91    | 156       |                               |
|                            | Συνολικός πληθυσμός          | 1355  | 1329      |                               |
|                            | Πλήθος κατοικιών δείγματος   | 263   | 258       |                               |
|                            | Συνολικός πληθυσμός          | 1355  | 1329      |                               |
|                            | Σύνολο καταλυμάτων           | 263   | 258       |                               |

δειγματοληψίας στερεών αποβλήτων από το ΚΥΤ του Καρά Τεπέ

### 5.1.3 Συλλογή δεδομένων

Η ερευνητική ομάδα απαρτιζόταν από δέκα φοιτητές και η δειγματοληψία διήρκησε 7 μέρες. Έγινε χρήση ειδικού εξοπλισμού όπως: ειδικές μάσκες, γάντια, καρτσάκια για την μεταφορά απορριμμάτων σε σακούλες, μουςαμάς για τον ευκολότερο και καθαρότερο χειρισμό των απορριμμάτων, δοχεία για την συλλογή των διαφορετικών ρευμάτων των υλικών καθώς και χρήση αναλυτικού ζυγού για την ακριβή μέτρηση του βάρους των αποβλήτων.

Την πρώτη μέρα επίσκεψης στο χώρο του πεδίου σε συνεννόηση με τον υπεύθυνο του χώρου η ομάδα των φοιτητών που πήρε μέρος στο πείραμα ενημερώθηκε με τις απαραίτητες πληροφορίες. Το πείραμα άρχισε αφού έγινε η κατάλληλη συνεννόηση με μεταφραστές και κατοίκους για την δράση και τον σκοπό της έρευνας.

Στην αρχή κάθε δειγματοληψίας οι σακούλες των απορριμμάτων που προϋπήρχαν στα σπιτάκια απομακρύνθηκαν, ώστε να ξεκινήσει από το μηδέν το πείραμά και να μην επηρεαστούν τα αποτελέσματά. Την πρώτη μέρα συλλέχθηκαν οι σακούλες του πειράματος και με τα ειδικά καρτσάκια μεταφέρθηκαν σε ένα χώρο όπου είχε στρωθεί προηγουμένως ο μουςαμάς. Μετρήθηκαν κυρίως τρία ρεύματα απορριμμάτων (ανακυκλώσιμα, οργανικά και υπόλειμμα) με ειδική ζυγαριά. Αυτές οι μετρήσεις εκτελούνταν κάθε μέρα για μια εβδομάδα με σκοπό την παρατήρηση των παραγόμενων ποσοτήτων των απορριμμάτων μέσα σε διάστημα μίας βδομάδας. Έπειτα θα γίνει η εκτίμηση της παραγόμενης ποσότητας για το σύνολο του ΚΥΤ.

Τα ρεύματα που μετρήθηκαν είναι κυρίως ανακυκλώσιμα, οργανικά και υπόλειμμα. Αναλυτικά οι κατηγορίες είναι:

Πίνακας 7: Αναλυτικές κατηγορίες των απορριμμάτων από τις δειγματοληψίες στο ΚΥΤ του Καρά Τεπέ

| <b>ΥΛΙΚΑ<br/>(Μάιος, Νοέμβριος 2019)</b> |                          |
|--|--------------------------|
| <b>ΧΑΡΤΙ</b>                             | Εφημερίδες               |
|  | Χαρτοκιβώτια             |
|  | Λοιπά χαρτιά συσκευασίας |
| <b>ΠΛΑΣΤΙΚΟ</b>                          | HDPE Συσκευασίας         |
|  | LDPE Συσκευασίας         |
|  | PET Συσκευασίας          |
|  | PP/PS Συσκευασίας        |
|  | Πλαστικά μη συσκευασίας  |
| <b>ΓΥΑΛΙ</b>                             | Συσκευασία               |

|                           |   |
|---------------------------|---|
|                           | Μη Συσκευασία   |
| <b>ΣΙΔΗΡΟΣ</b>            | Συσκευασία  |
|                           | Μη Συσκευασία   |
| <b>ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b>          | Συσκευασία  |
|                           | Μη Συσκευασία   |
| <b>ΞΥΛΟ</b>               | Συσκευασία  |
|                           | Μη Συσκευασία   |
| <b>ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ</b> | Απόβλητα τροφής   |
|                           | Απόβλητα κήπου  |
| <b>WEE</b>                | Ηλεκτρικές & Ηλεκτρονικές συσκευές                              |
| <b>ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ</b>          | Υφάσματα, πάνες, δέρματα, παπούτσια, σαπούνια, σύνθετα προϊόντα |
|                           | Λοιπά (ό,τι δεν εμπίπτει στις παραπάνω κατηγορίες)              |

## 5.2 Διαχείριση των βιοαποβλήτων

### 5.2.1 Περίοδος και οργάνωση του πειράματος

Στο δεύτερο κομμάτι του πειραματικού σκέλους, πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές κομποστοποίησης με ενεργητικό σύστημα αερισμού (active aeration system) που περιείχαν κυρίως απόβλητα τροφίμων (από το ΚΥΤ του Καρά Τεπέ) και ελαιουργικά παραπροϊόντα. Τα πειράματα σχεδιάστηκαν για 120 μέρες και τα δεδομένα που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση των δύο σωρών. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν οικιακοί κομποστοποιητές 0,3m<sup>3</sup> (που τους παρείχε ο δήμος της Λέσβου) και ένας φυσητήρας BULLE 650W.



Εικόνα 12: Οικιακοί κομποστοποιητές

Η διαδικασία προετοιμασίας του πειράματος άρχισε με την τοποθέτηση των σωλήνων στο δάπεδο που συνδέονται με τον φυσητήρα για την μεταφορά του οξυγόνου και την κατασκευή των οικιακών κομποστοποιητών στο σημείο που βρίσκονται οι σωλήνες. Έπειτα συγκεντρώθηκαν όλα τα υλικά, ζυγίστηκαν ξεχωριστά και μετρήθηκαν οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Τέλος αναμείχθηκαν ξεχωριστά για κάθε σωρό και τέλος τοποθετήθηκαν στους κομποστοποιητές.

Μετά την προσθήκη των μειγμάτων στους κομποστοποιητές, ενεργοποιήθηκε το σύστημα ενεργητικού αερισμού όπου λειτουργούσε κάθε μέρα. Επίσης κατά την διάρκεια του πειράματος πραγματοποιούνταν μετρήσεις θερμοκρασίας, οξυγόνου, υγρασίας, pH, αζώτου, άνθρακα. Μετά την λήξη του πειράματος έγινε η μέτρηση φυτοτοξικότητας, μικροβιακής αναπνοής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Εικόνα 13: Σύστημα ενεργητικού αερισμού με την χρήση φυσητήρα (BULLE 650W)

### 5.2.2 Μέτρηση Οξυγόνου

Οι μετρήσεις του οξυγόνου γίνονται μόνο κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης και χρησιμοποιείται ειδικά εργαλεία όπως αισθητήρες οξυγόνου (Rynk, 1992, Gea Barrena, Artola, Sanchez, 2004). Υπάρχουν δύο κατηγορίες που μετράμε διαφορετικά το οξυγόνο, στην πρώτη έχουμε κομποστοποίηση με κλειστούς αντιδραστήρες όπου γίνεται χρήση ενεργητικού αερισμού και συναντάμε συνήθως στο επάνω μέρος έναν αεραγωγό με έναν εγκατεστημένο αισθητήρα που μετράει το οξυγόνο (Ekinci, Keener, & Akbolat, 2006). Στη δεύτερη, η κομποστοποίηση γίνεται με σωρούς και χρησιμοποιείται φορητή συσκευή μέτρησης η οποία χρειάζεται να τοποθετείται σε διαφορετικά σημεία στον σωρό για την αποδοτικότερη καταγραφή του οξυγόνου (Román, Martínez, & Pantoja, 2015). Επίσης η καταγραφή του οξυγόνου χρειάζεται να γίνεται σε συνεχής ή καθημερινή βάση (USDA and CCREF, 2018).

Στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκε με φορητή συσκευή εφοδιασμένη με στέλεχος 50εκ (SW&WS, OA2, 1992). Η βαθμονόμηση του πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες που παραθέτονται από την συσκευή. Οι μετρήσεις γίνοντουσαν σε καθημερινή βάση από τρία διαφορετικά σημεία. Στο τέλος χρησιμοποιούσαμε μόνο την τιμή του μέσου όρου που έβγαινε από τις τιμές των τριών σημείων.

### 5.2.3 Μέτρηση Υγρασίας

Όπως περιγράφεται από τους Αλιφραγκάκης και Παπαμίχος (2006) «ως υγρασία του εδάφους θεωρούμε την εκατοστιαία κατά βάρος περιεκτικότητα του σε νερό» και μπορεί προσδιοριστεί με άμεσες ή έμμεσες μεθόδους. Η σταθμική μέθοδος είναι μία άμεση μέθοδος κατά την οποία, δείγματα εδάφους ξηραίνονται σε φούρνο θερμοκρασίας 105°C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους. Δεν μπορεί να οριστεί ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα καθώς ο χρόνος ξήρανσης εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως περιεχόμενη υγρασία, οργανική ουσία, μηχανική σύσταση κ.α. Ο τύπος που δίνεται από τους Αλιφραγκάκης και Παπαμίχος για τον υπολογισμό της υγρασίας είναι:

$$Y = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100$$

όπου:

Y% = ποσοστό υγρασίας επί του υγρού βάρους

B<sub>1</sub> = βάρος δείγματος πριν την ξήρανση

B<sub>2</sub> = βάρος δείγματος μετά την ξήρανση

Στην παρούσα εργασία η μέτρηση της υγρασίας έγινε με ξήρανση δειγμάτων σε φούρνο RAYPA digital drying oven με θερμοκρασία 70°C μέχρι σταθερού βάρους. Για το κάθε δείγμα υπήρχαν τρία δείγματα και το αποτέλεσμα ήταν ο μέσος όρος τους.



Εικόνα 14: RAYPA digital drying oven

#### 5.2.4 Μέτρηση Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία χρειάζεται να καταγράφεται καθημερινά έως ότου ο σωρός αποκτήσει μία σταθερή πορεία. Στις ημερήσιες μετρήσεις φαίνεται η τάση της θερμοκρασίας υποδεικνύοντας μας την ανάγκη του σωρού σε ανάδευση και αερισμό. Η παρατήρηση αποκλίσεων από την κανονική διακύμανση της θερμοκρασίας υποδεικνύει ότι έχουν γίνει λάθος χειρισμοί και χρειάζονται διορθώσεις (Ryngk, 1992).

Οι μετρήσεις γίνονται με θερμόμετρο με μακρύ στέλεχος (Adhikari, Barrington, Martinez, & King, 2009, Ryngk, 1992, Storino, Arizmendiarieta, Irigoyen, Muro, & Aparicio-Tejo, 2016). Σε διαφορετικά πειράματα όπως σε κομποστοποίηση που λάμβανε χώρα σε κάδους κομποστοποίησης το θερμόμετρο τοποθετήθηκε σε τέσσερα διαφορετικά βάθη και υπολογίστηκε ο μέσος των θερμοκρασιών ως τελικό αποτέλεσμα (Storino et al., 2016). Άλλη έρευνα μετρούσε την θερμοκρασία μόνο από το μέσο του υλικού της κομποστοποίησης

(Adhikari et al., 2009, Awasthi, Selvam, Lai, & Wong, 2017). Ακόμη σε άλλα πειράματα η θερμοκρασία μετρήθηκε από δύο σημεία που ήταν στο μέσο και στον πάτο του κλειστού συστήματος (Manu et al., 2017) και σε μελέτη κομποστοποίησης κλαδεμάτων από πάρκο χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος από μετρήσεις θερμοκρασίας σε τρία διαφορετικά σημεία πριν την ανάδευση (Kazamias., 2017).

Για τις μετρήσεις έγινε χρήση φορητού θερμόμετρου (Therma 1 Thermometer) (Εικόνα 15: ). Οι μετρήσεις διεξάγονταν σε δύο διαφορετικά σημεία, από το μέσο του υλικού και την άκρη . Στα σημεία γινότουσαν μετρήσεις σε τρία διαφορετικά βάθη, ένα κοντά στην επιφάνεια, ένα στον μέσο και τέλος κοντά στον πάτο του κάδου κομποστοποίησης. Από τα τρία διαφορετικά βάθη βγήκε ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του σωρού.



Εικόνα 15: Therma 1 Thermometer

### 5.2.5 Μέτρηση pH

Οι μετρήσεις του pH έγιναν με την μέθοδο του ηλεκτρομαγνητικού προσδιορισμού καθώς είναι η πιο διαδεδομένη για την ακρίβεια της. Το ειδικό όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση ονομάζεται πεχάμετρο και μας παρέχει απευθείας το pH. Το υλικό που θέλουμε να προσδιορίσουμε το pH του, μπορεί να είναι αιώρημα υλικού - νερού σε διαφορετικές αναλογίες όπως 1:1, 1:2, 1:5 (βάρος/όγκος), πάστα κορεσμού ή διάλυμα  $\text{CaCl}_2$  ή  $\text{KCl}$ . Είναι σημαντικό όμως να αναφέρεται η αναλογία αιωρήματος ή το διάλυμα που έχει χρησιμοποιηθεί, καθώς οι τιμές μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους (Αλιφραγκάκης & Παπαμίχος, 2006).

Η διαδικασία προσδιορισμού αιωρήματα νερού σε εδάφη σύμφωνα με τους Αλιφραγκάκη και Παπαμίχος (2006) ακολουθεί την παρακάτω σειρά:

1. Αιώρημα με γνωστή αναλογία αναδεύεται για 30 λεπτά
2. Αφήνεται να ηρεμήσει για άλλα 30 λεπτά
3. Πραγματοποιείται η μέτρηση με το πεχάμετρο

Στις αναλογίες από άλλες έρευνες παρατηρούμε αιώρημα 1:6 για αστικά απόβλητα , ανάδευση μισή ώρα και διήθηση πριν γίνουν οι μετρήσεις (Bazrafshan et al., 2016). Αιώρημα 1:10 χρησιμοποιήθηκε από τον Kazamias et al. (2017) και αιώρημα 1:5 από τους Storino et al. (2016) σε μετρήσεις που διεξήγαγαν. Μία μελέτη κομποστοποίησης υπολειμμάτων φαγητού παρατηρήθηκε διαφορετική μέθοδος όπου το δείγμα αφέθηκε 24 ώρες στο ψυγείο να πάρει υγρασία σε αφιονισμένο νερό χωρίς ανάδευση. Χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένη ποσότητα νερού ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί το ηλεκτρόδιο του πεχάμετρου, με τελική αναλογία 1:2 (Adhikari, Barrington, Martinez, & King, 2008). Σε άλλο πείραμα κομποστοποίησης με κλαδέματα και υπολείμματα φαγητού, οι Manu et al. (2017) παρασκευάσαν αιώρημα 1:20 με το κονιορτοποιημένο υλικό και πραγματοποίησαν την μέτρηση έπειτα από διήθηση.

Η παρούσα μέτρηση πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο Αλιφραγκή και Παπαμίχος (2006). Αναλυτικότερα, σε 20gr. εδάφους προστέθηκαν 60ml απιονισμένου νερού για την δημιουργία αιωρήματος 1:3. Οι μετρήσεις εντελλόντουσαν ανά τρεις φορές, ώστε να μειωθεί το ποσοστό του λάθους. Πριν από κάθε μέτρηση γινόταν η βαθμονόμηση του πεχαμέτρου (HACH, sensION™+ PH 3 Lab Meter) σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης (sensION™+ pH3 Lab Meter User Manual, [www.hach.com](http://www.hach.com)).



Εικόνα 16: Πεχάμετρο

### 5.2.6 Μέτρηση θρεπτικών (C, N)

Η μέτρηση του άνθρακα και του αζώτου υπολογίζονται μέσω ειδικών αναλυτών (D. P. Komilis & Tziouvaras, 2009, Manu et al., 2017, Storino et al., 2016). Εναλλακτικά ο άνθρακας μπορεί να υπολογιστεί με την μέθοδο Walkley-Black μέσω της οξείδωσης της οργανικής ουσίας, όπως έγινε στην παρούσα εργασία. Τα ξηρά δείγματα τοποθετούνται σε πυριαντήριο (Εικόνα 17) στους 550°C (Nabertherm, B170) για 2 ώρες (D. P. Komilis & Tziouvaras, 2009) ώστε να υπολογιστεί η οργανική ουσία σύμφωνα με τον τύπο (Kazamias et al., 2017):

$$\% \text{ organic matter} = 100 - \% \text{ ash}$$



όπου: %ash = ποσοστό του δείγματος που παρέμεινε ως στάχτη

Η διαίρεση του αποτελέσματος της εξίσωσης με το 1,83 υπολογίζει την τιμή του περιεχόμενου άνθρακα (Adhikari et al., 2009, Jolanun & Towprayoon, 2010, Rynk, 1992).

Ο προσδιορισμός του ολικού Kjeldahl αζώτου (TKN) γίνεται με την μέθοδο Kjeldahl. Στην Kjeldahl περίπου 0,5γρ. κονιορτοποιημένου υλικού παρουσία θερμότητας, πυκνού θειικού οξέος ( $H_2SO_4$ ) και καταλυτών το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακή μορφή. Στην συνέχεια γίνεται απόσταξη της αμμωνίας με πρόσθεση νερού και υδροξειδίου του νατρίου ( $NaOH$ ). Η αμμωνία δεσμεύεται σε ογκομετρική φιάλη 250ml που περιέχει βορικό οξύ (Αλιφραγκής και Παπαμίχος, 2006, Bazrafshan et al., 2016, Kazamias et al., 2017).



Εικόνα 17: Πυριαντήριο για την καύση της οργανικής ουσίας



Εικόνα 18: Εξοπλισμός Kjeldahl. Συσκευή απόσταξης (δεξιά) και συσκευή χώνευσης (αριστερά)

### 5.2.7 Μέτρηση φυτοτοξικότητας

Η φυτοτοξικότητα βοηθάει να κρίνουμε το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης, ως προς την βλαστικότητα, δηλαδή την ικανότητα ανάπτυξης ενός φυτού.

Ο προσδιορισμός της φυτοτοξικότητας πραγματοποιείται με την δημιουργία εκχυλισμάτων από το κομπόστ που τοποθετούνται με διαβροχή σε απορροφητικό χαρτί μέσα σε τριβλεία. Υπάρχουν επαναληπτικά τριβλεία από το κάθε κομπόστ και τριβλεία – μάρτυρες (τυφλά) που διαβρέχονται μόνο με απιονισμένο νερό, για να γίνει στο τέλος η σύγκριση. Αφού γίνει η τοποθέτηση συγκεκριμένης ποσότητας σπόρων, τότε τα τριβλεία καλύπτονται και αφήνονται σε σκοτεινό χώρο με σταθερή θερμοκρασία δωματίου για διάστημα τριών ημερών. Τέλος, υπολογίζεται το ποσοστό βλαστικότητας από τον δείκτη GI. Για τον υπολογισμό του GI λαμβάνεται υπόψιν η ποσότητα των σπόρων που βλάστησαν αλλά και το μήκος των ριζών τους, από όλα τριβλεία.

$$GI\% = \frac{RG \times RL}{100}$$

Όπου:

|    |  |
|----|--|
| RG | Μ.Ο. των ριζών από τους σπόρους που βλαστήσανε |
| RL | Μ.Ο. των σπόρων που φυτρώσανε                  |
| GI | Δείκτης βλαστικότητας                          |

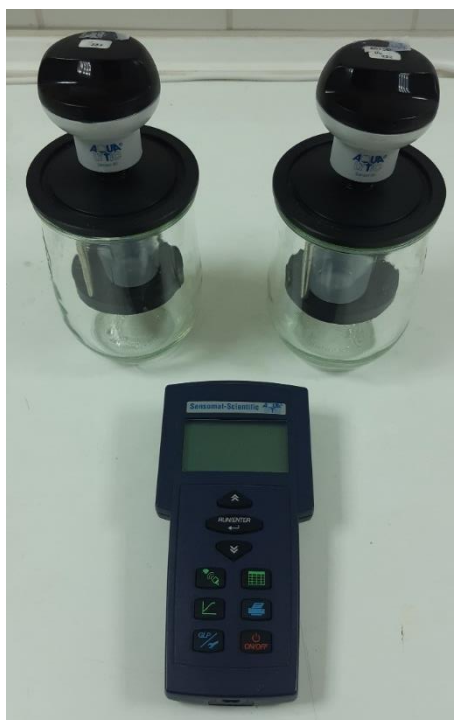
### 5.2.8 Μέτρηση μικροβιακής αναπνευστικής δραστηριότητας

Ο βιοαποδομήσιμος άνθρακας είναι σημαντικό στοιχείο ενός οργανικού αποβλήτου καθώς ορίζει την σταθερότητα του. Η μέτρηση αυτή έχει στόχο την μέτρηση της σταθερότητας του τελικού υλικού. Για την μέτρηση χρειάζεται να μετρήσουμε έμμεσα την κατανάλωση οξυγόνου και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κατά την αερόβια βιοαποδόμηση του οργανικού υποστρώματος από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν από πριν στον σωρό.

Η παρουσία μικροοργανισμών βοηθά τον βιοαποδήσιμο άνθρακα να βιοαποδομηθεί υπό αερόβιες συνθήκες σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό με την κατανάλωση οξυγόνου. Επομένως, η μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου και της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί έμμεση μέθοδος της ποσοτικοποίησης του βιοαποδομήσιμου άνθρακα και της σταθερότητας του υλικού. Ένα οργανικό απόβλητο έχει περισσότερη σταθερότητα όταν καταναλώνει λιγότερο οξυγόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Η αρχή του προσδιορισμού της κατανάλωσης οξυγόνου όπως ακριβώς περιγράφεται στο έγγραφο «Προσδιορισμός της μικροβιακής αναπνευστικής δραστηριότητας (microbial respiration activity) αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), Πανεπιστήμιο Αιγαίου» πραγματοποιείται με τη χρήση των μανομετρικών αναπνευσσιμέτρων (Εικόνα 19) και είναι βασισμένη στη μείωση της πίεσης. Η πίεση μειώνεται σε ένα αεροστεγές δοχείο λόγω της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη βιοαποδόμηση οργανικού άνθρακα από υπάρχοντες μικροοργανισμούς, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται παράλληλα, δεσμεύεται από ένα απορροφητικό μέσο (βάση). Συνεπώς, η αλλαγή (μείωση) στην πίεση αποδίδεται μόνο στην κατανάλωση οξυγόνου. Για την κατανάλωση οξυγόνου πρέπει να τηρηθούν οι ακόλουθες συνθήκες:

- Το (βιολογικά ενεργό) δείγμα πρέπει να περιληφθεί σε ένα δοχείο που να είναι αδιαπέραστο από τον εξωτερικό αέρα.
- Πρέπει να υπάρχει ένας ικανοποιητικά μεγάλος όγκος αέρα πάνω από το δείγμα ώστε να παρέχει επαρκές οξυγόνο για την απαραίτητη διαδικασία της βιολογικής αποδόμησης.
- Το δοχείο πρέπει να περιέχει ένα απορροφητικό μέσο (χωρίς να έρχεται σε επαφή με το δείγμα) που να απορροφά το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα.
- Μία κατάλληλη συσκευή μέτρησης της πίεσης πρέπει να προσαρμοστεί στο δοχείο.
- Το σύστημα πρέπει να εκτεθεί σε σταθερή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, διότι αλλαγές στη θερμοκρασία οδηγούν σε διακυμάνσεις της πίεσης που καθιστούν μια μέτρηση κατανάλωσης οξυγόνου αδύνατη.



Εικόνα 19: Μανομετρικό πιεσόμετρο

### 5.2.9 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (electrical conductivity – EC) καταγράφει την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα διάλυμα. Σε ένα κομποστοποιημένο υλικό η μέτρηση της αγωγιμότητας είναι χρήσιμη, καθώς υποδεικνύει τα διαλυτά άλατα (soluble salts) που περιέχονται σε αυτό. Επίσης η αγωγιμότητα λειτουργεί ως δείκτης της ποσότητας και του χρώματος που μπορεί να προστεθεί το κομπόστ.

Η μέτρηση της αγωγιμότητας που ακολουθήσαμε είναι παρόμοια με αυτή του pH. Σε ποτήρι ζέσεως των 50ml τοποθετούνται 20 ml λεπτής γης και 20 ml νερό. Το αιώρημα αναδεύεται περιοδικά, με γυάλινη ράβδο, για 30 λεπτά και χρειάζεται άλλα 30 λεπτά ηρεμίας ως ότου γίνει η μέτρηση (Προσδιορισμός pH – EC εδάφους, Εργαστήριο Εδαφολογίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου). Η μέτρηση έγινε με το αγωγιμόμετρο sensION5 (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Αγωγιμόμετρο sensION5

## 6. Αποτελέσματα

### 6.1 Ποσότητες απορριμμάτων και βιοαποβλήτων στο ΚΥΤ

Το Μάιο 2019 τα συνολικά απορρίμματα ζύγισαν 365,414 kg και τα βιοαπόβλητα 217,306 kg. Στα απόβλητα τροφής συγκεντρώθηκαν 212,007 kg ενώ στα απόβλητα κήπου 5,299 kg. Το Νοέμβριο 2019 τα συνολικά απορρίμματα ζύγισαν 457,984 kg και τα βιοαπόβλητα 282,420 kg. Στα απόβλητα τροφής συγκεντρώθηκαν 279,306 kg ενώ στα απόβλητα κήπου 3,114 kg

Πίνακας 8: Αποτελέσματα ανα κατηγορία απορριμμάτων από τις δειγματοληψίες στο ΚΥΤ του Καρά Τεπέ

| ΥΛΙΚΑ                         |   | Βάρος υλικού στο<br>σύνολο των σπιτιών<br>(gr)<br>Μάιος 2019 | Βάρος υλικού στο<br>σύνολο των<br>σπιτιών (gr)<br>Νοέμβριος 2019 |
|-------------------------------|---|--|--|
| <b>ΧΑΡΤΙ</b>                  | Εφημερίδες  | 9424   | 9877   |
|                               | Χαρτοκιβώτια  | 2538   | 6165   |
|                               | Λοιπά χαρτιά συσκευασίας  | 4652   | 1003   |
| <b>ΠΛΑΣΤΙΚΟ</b>               | HDPE Συσκευασίας  | 1228   | 1380   |
|                               | LDPE Συσκευασίας  | 9685   | 7913   |
|                               | PET Συσκευασίας   | 4356   | 3771   |
|                               | PP/PS Συσκευασίας   | 24236  | 39937  |
|                               | Πλαστικά μη συσκευασίας   | 1796   | 2253   |
| <b>ΓΥΑΛΙ</b>                  | Συσκευασία  | 4045   | 2195   |
|                               | Μη Συσκευασία   | 263  | 205  |
| <b>ΣΙΔΗΡΟΣ</b>                | Συσκευασία  | 2605   | 2949   |
|                               | Μη Συσκευασία   | 833  | 537  |
| <b>ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b>              | Συσκευασία  | 454  | 485  |
|                               | Μη Συσκευασία   | 452  | 14   |
| <b>ΞΥΛΟ</b>                   | Συσκευασία  | 0  | 0  |
|                               | Μη Συσκευασία   | 201  | 119  |
| <b>ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ<br/>ΑΠΟΒΛΗΤΑ</b> | Απόβλητα τροφής   | 212007   | 279306   |
|                               | Απόβλητα κήπου  | 5299   | 3114   |
| <b>WEE</b>                    | Ηλεκτρικές & Ηλεκτρονικές<br>συσκευές                                 | 180  | 2161   |
| <b>ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ</b>              | Υφάσματα, πάνες, δέρματα,<br>παπούτσια, σαπούνια,<br>σύνθετα προϊόντα | 51576  | 68310  |
|                               | Λοιπά (ό,τι δεν εμπίπτει στις<br>παραπάνω κατηγορίες)                 | 29584  | 26290  |

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις των απορριμμάτων του ΚΥΤ του Καρά Τεπέ ανά κατηγορία και ανά μήνα.

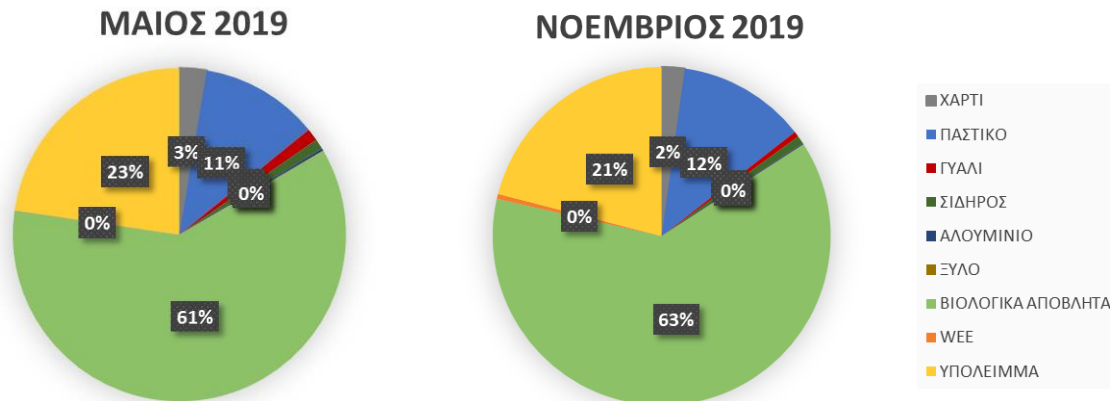


Figure 1: Αποτελέσματα (%) ανά κατηγορία απορριμμάτων από τις δειγματοληψίες στο ΚΥΤ του Καρά Τεπέ

Στην Εικόνα 21 φαίνονται οι πλαστικές συσκευασίες που δίνονται στους κατοίκους από εταιρία catering , οι οποίες περιέχουν το ημερήσιο φαγητό τους. Αυτό εξηγεί την μεγάλη ποσότητα των πλαστικών τύπου PP/PS στις δειγματοληψίες.



Εικόνα 21: Δείγμα από τις συσκευασίες που χρησιμοποιούνται από το catering

## 6.2 Ποσότητες απορριμμάτων ανά κάτοικο ανά σπίτι

Τα σπίτια που επιλέχθηκαν ήταν με βάση τον αριθμό των ατόμων. Δηλαδή 2, 3, 4, 5, 6, 7 και 8 άτομα έτσι ώστε να προκύψουν αντιπροσωπευτικά και αξιόπιστα αποτελέσματα. Η επιλογή των κατοικιών εντός της ίδιας κατηγορίας αριθμού ατόμων ήταν τυχαία.

Θέλοντας να βρούμε το ποσό των απορριμμάτων που παράγει ο κάθε κάτοικος αν ημέρα χρειάστηκε να γίνει μια αναγωγή στα αποτελέσματα που μετρήθηκαν. Έτσι πάρθηκε ο μέσος όρος των απορριμμάτων και διαιρέθηκε με τον πληθυσμό του κάθε σπιτιού. Έτσι έχουμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στους πίνακες παρακάτω. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι το σπίτι 8 με δυο κατοίκους είχε, στην πρώτη δειγματοληψία του Μαΐου, είχε 3,55 κιλά απορριμμάτων ανά κάτοικο ανά ημέρα το οποίο είναι περίεργο διότι για δυο άτομα είναι σχεδόν τριπλάσια παραγωγή των απορριμμάτων σε σχέση με τα άλλα σπίτια.

Πίνακας 9: Μέση παραγωγή απορριμμάτων και βιοαποβλήτων ανά κάτοικο δείγματος Μάιος 2019

| Αριθμός καταλύματος | Κάτοικοι                         | Μέση παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο δείγματος (Μάιος 2019) | Μέση παραγωγή βιοαποβλήτων ανά κάτοικο δείγματος (Μάιος 2019) |
|---------------------|----------------------------------|---|---|
| 2                   | 3                                | 0,80  | 0,37  |
| 3                   | 6                                | 0,63  | 0,36  |
| 4                   | 3                                | 1,04  | 0,79  |
| 7                   | 4                                | 0,53  | 0,33  |
| 8                   | 5                                | 0,72  | 0,44  |
| 10                  | 4                                | 0,77  | 0,53  |
| 11                  | 2                                | 0,65  | 0,50  |
| 12                  | 4                                | 0,40  | 0,28  |
| 13                  | 5                                | 0,55  | 0,39  |
| 21                  | 6                                | 0,43  | 0,32  |
| 22                  | 6                                | 0,18  | 0,08  |
| 24                  | 5                                | 0,60  | 0,33  |
| 25                  | 8                                | 0,50  | 0,30  |
| 38                  | 5                                | 0,75  | 0,15  |
| 74                  | 7                                | 1,12  | 0,49  |
| 84                  | 7                                | 0,27  | 0,21  |
| 101                 | 7                                | 0,61  | 0,41  |
|                     | <b>Εύρος</b>                     | <b>0,18 – 1,12</b>  | <b>0,08 – 0,79</b>  |
|                     | <b>Μέση παραγωγή ανά κάτοικο</b> | <b>0,60</b>   | <b>0,37</b>   |

Πίνακας 10: Μέση παραγωγή απορριμμάτων και βιοαποβλήτων ανά κάτοικο δείγματος Νοέμβριος 2019

| Όνομα καταλύματος | Κάτοικοι                  | Μέση παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο δείγματος | Μέση παραγωγή βιοαποβλήτων ανά κάτοικο δείγματος |
|-------------------|---------------------------|--|--|
| 1                 | 3                         | 0,52   | 0,41   |
| 2                 | 6                         | 0,30   | 0,22   |
| 3                 | 3                         | 1,16   | 0,45   |
| 5                 | 4                         | 0,47   | 0,29   |
| 6                 | 5                         | 0,72   | 0,42   |
| 7                 | 4                         | 0,85   | 0,62   |
| 9                 | 4                         | 0,54   | 0,31   |
| 14                | 5                         | 0,25   | 0,18   |
| 15                | 6                         | 0,29   | 0,18   |
| 16                | 6                         | 0,20   | 0,15   |
| 17                | 5                         | 0,44   | 0,34   |
| 18                | 8                         | 0,12   | 0,07   |
| 19                | 5                         | 0,28   | 0,11   |
| 20                | 7                         | 0,42   | 0,36   |
| 21                | 7                         | 0,18   | 0,08   |
| 23                | 7                         | 0,47   | 0,28   |
| 25                | 7                         | 0,10   | 0,06   |
| 26                | 7                         | 0,14   | 0,09   |
| 27                | 7                         | 0,16   | 0,1  |
| 29                | 7                         | 0,32   | 0,2  |
| 30                | 7                         | 0,23   | 0,17   |
| 34                | 7                         | 0,48   | 0,23   |
| 43                | 7                         | 0,16   | 0,11   |
| 45                | 7                         | 0,09   | 0,06   |
| 49                | 7                         | 0,42   | 0,25   |
| 59                | 7                         | 0,65   | 0,34   |
| 86                | 7                         | 0,71   | 0,44   |
|                   | Εύρος                     | 0,09 - 3,55                                      | 0,06 – 0,45                                      |
|                   | Μέση παραγωγή ανά κάτοικο | <b>0,51</b>                                      | <b>0,24</b>                                      |

Τον Μάιο 2019 ο πληθυσμός του ΚΥΤ είναι 1355, η μέση παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο δείγματος είναι 0,60 kg και η μέση παραγωγή βιοαποβλήτων ανά κάτοικο 0,37kg, άρα:

- $0,60 \times 1355 = 813 \text{ kg/day} = \mathbf{0,81 \text{ tn/day}}$  συνολικών απορριμμάτων



- $0,37 \times 1355 = 501.35 \text{ kg/day} = \mathbf{0,5 \text{ tn/day}}$  βιοαποβλήτων

Τον Νοέμβριο 2019 ο πληθυσμός του ΚΥΤ είναι 1329, η μέση παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο δείγματος είναι 0,51 kg και η μέση παραγωγή βιοαποβλήτων ανά κάτοικο 0,24 kg, άρα:

- $0,51 \times 1329 = 677.79 \text{ kg/cap/day} = \mathbf{0,67 \text{ tn/day}}$  συνολικών απορριμμάτων
- $0,24 \times 1329 = 318.96 \text{ kg/cap/day} = \mathbf{0,13 \text{ tn/day}}$  βιοαποβλήτων

Οι Stasinakis A. & Katsouli A. (2019) για το ΚΥΤ του Καρά Τεπέ υπολογίζουν ότι τα παραγόμενα απορρίμματα είναι 0,55kg ανά κάτοικο ενώ στο πείραμα μας έχουμε 0,60 kg και 0,51 kg για δυο διαφορετικούς μήνες με διαφορετικούς πληθυσμούς.

Πίνακας 11: Ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ στην Ελλάδα (Πηγή: ΕΣΔΑ 2018) σε σύγκριση με του Καρά Τεπέ

| Ρεύμα Αποβλήτων                | Μέση ποιοτική σύσταση ΑΣΑ Ποσοστό κ.β. (%) | Ποιοτική σύσταση Καρά Τεπέ Ποσοστό κ.β. (%) |
|--------------------------------|--|---|
| Τροφικά υπολείμματα (οργανικά) | <b>44,3</b>                                | <b>61</b>                                   |
| Χαρτί – Χαρτόνι                | 22,2                                       | 4   |
| Πλαστικά                       | 13,9                                       | 12  |
| Μέταλλα                        | 3,9  | 1   |
| Γυαλί                          | 4,3  | 1   |
| Υπόλοιπα                       | 11   | 22  |
| Σύνολο                         | 100  | 100   |

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 11 στη σύσταση των στερεών αποβλήτων, εμπεριέχονται σημαντικές ποσότητες τροφικών αποβλήτων και των υπόλοιπων αποβλήτων (ξύλο, δέρμα, ύφασμα κ.α.). Παρατηρούμε, ότι οι όγκοι των βιοαποβλήτων είναι μεγάλοι ανά μέρα σε σχέση με την μέση ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ. Για αυτό, χρειάζεται να βρεθεί μία άμεση και γρήγορη λύση. Η in-house κομποστοποίηση μπορεί να βοηθήσει στην μείωση των βιοαποβλήτων καθώς αποτελούν το μεγαλύτερο κομμάτι των ΑΣΑ. Η εφαρμογή της οικιακής κομποστοποίησης θα μειώσει την τα κόστη μεταφοράς των απορριμμάτων και θα διευκολύνει την διαχείριση τους στους ΧΥΤΑ εφόσον θα μειωθεί ο όγκος τους.

### 6.3 Αρχικά υλικά κομπόστ

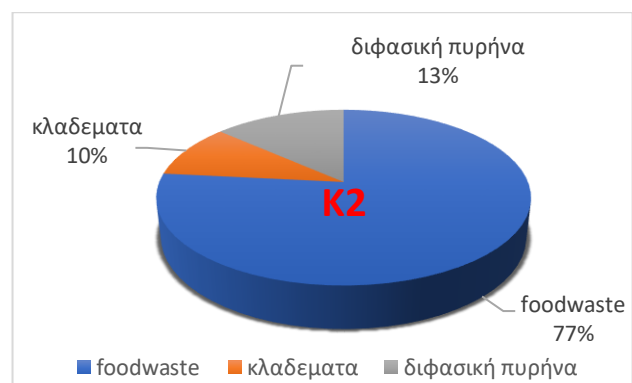
Για το πείραμα της οικιακής κομποστοποίησης στήθηκαν δύο σωροί που ονομάστηκαν Κ1 και Κ2. Τα υλικά που επιλέχθηκαν ήταν τροφικά υπολείμματα, απόβλητα κήπου και απόβλητα από ελαιοτριβείο. Τα τροφικά υπολείμματα είναι αυτά με τις μεγαλύτερες ποσότητες στα ΑΣΑ. Άρα διαχείριση τους για μία κοινότητα είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Τα απόβλητα κήπου είναι σημαντικό συστατικό για την διαδικασία της κομποστοποίησης, καθώς αυξάνουν τον όγκο του σωρού και δημιουργούν διόδους για την μεταφορά του οξυγόνου. Η διφασική πυρήνα είναι ο παράγοντας σύγκρισης ανάμεσα στους δύο σωρούς.

Στην δομή φιλοξενίας στον Καρά Τεπέ τα συστατικά από τις τροφές που εμφανίζονται περισσότερο στο εβδομαδιαίο πρόγραμμα διατροφής τους είναι υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και φυτικές ίνες. Με βάση αυτό, χρησιμοποιήσαμε από τα κύρια απόβλητα τροφών τους, τα υλικά των σωρών. Επίσης, η Λέσβος είναι από τα νησιά που παράγουν μεγάλες ποσότητες ελαιολάδου. Με στρέμματα από ελιές. Τα κλαδέματα ελιάς βρίσκονται σε πληθώρα στο νησί και προσφέρει παράλληλα την διογκωτική ιδιότητα που χρειαζόμαστε για ένα σωρό κομποστοποίησης. Παράλληλα, η μεγάλη παραγωγή ελαιόλαδου αποφέρει αυξημένους όγκους από απόβλητα ελαιοτριβείου. Έτσι η διαχείριση αυτών είναι καθίσταται αναπόφευκτη.

Οι δύο σωροί είχαν παρόμοια σύσταση. Συγκεκριμένα, ο κομποστοποιητής K1 περιείχε: φασολάκια, πατάτες, κοτόπουλο και κλαδέματα ελιάς και ο K2 περιείχε: φασολάκια, πατάτες, κοτόπουλο, κλαδέματα ελιάς και διφασική πυρήνα από ελιά. Τα κλαδέματα ελιάς είχαν προηγουμένου κοπεί από κλαδοτεμαχιστή (STIHL GH 460) που είχε το εργαστήριο διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Η διφασική πυρήνα χρησιμοποιήθηκε στον K2 γιατί πέρα ότι είναι ένα πολύ συχνό απόβλητο που συναντάμε στην Λέσβο και για να καταγράψουμε αν θα βοηθήσει το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης να βγει πιο ποιοτικό.

Ο K1 είχε αρχικό βάρος 217,1 gr με όγκο 0,3 m<sup>3</sup> και ο K2 είχε αρχικό βάρος 217,03 gr με όγκο 0,3 m<sup>3</sup>. Πιο αναλυτικά:

| ΥΛΙΚΑ (gr)      | K1           | K2            |
|-----------------|--------------|---------------|
| Φασολάκια       | 25,5         | 21,60         |
| Κοτόπουλο       | 16,7         | 14,10         |
| Πατάτες         | 154          | 130,50        |
| Κλαδέματα ελιάς | 21,5         | 21,50         |
| Διφασική Πυρήνα | -            | 29,33         |
| <b>Σύνολο</b>   | <b>217,7</b> | <b>217,03</b> |



Διάγραμμα 1: Σύσταση κομποστοποιητών K1 και K2



Εικόνα 24: Μείγμα του K2 με την διφασική πυρήνα

Την πρώτη μέρα του πειράματος έγιναν οι φυσικό-χημικές μετρήσεις των αρχικών υλικών αλλά και του μείγματος και προστέθηκαν τα μείγματα στους κομποστοποιητές. Η μέτρηση θερμοκρασίας γινόταν καθημερινά, για το pH μία φορά την εβδομάδα, για το αζώτου – άνθρακα μία φορά το μήνα και μετά από τον έναν μήνα έναρξης του πειράματος γίνονταν καθημερινά και οι μετρήσεις του οξυγόνου. Επίσης παρόλο που υπήρχε παθητικός αερισμός, χρειάστηκε ανάδευση στους σωρούς καθώς οι άκρες ξεραίνονταν γρήγορα και το κέντρο είχε υγρασία. Σε συνδυασμό με την ανάδευση μετά από έναν μήνα άρχισε η προσθήκη νερού στους σωρούς καθώς παρατηρήθηκε εμφανή μείωση στον όγκο των σωρών και χρειάστηκε να προσθέσουμε υγρασία.

Πίνακας 12: Φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά των αρχικών υλικών του σωρού K1 και K2

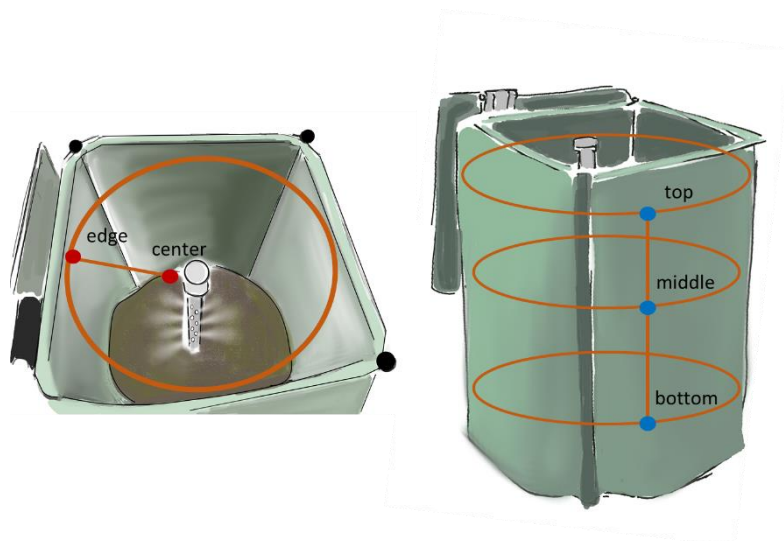
|                    | Φασολάκια | Πατάτες | Κοτόπουλο | Κλαδέματα<br>ελιάς | Διφασική<br>πυρήνα |
|--------------------|-----------|---------|-----------|--------------------|--------------------|
| <b>pH</b>          | 6,53      | 4,85    | 6,86      | 5,66               | 4,98               |
| <b>Υγρασία (%)</b> | 83,78     | 82,75   | 57,44     | 9,99               | 51,42              |
| <b>TOC (%)</b>     | 48,4      | 50,45   | 53        | 28,95              | 53,1               |
| <b>TN (%)</b>      | 5,07      | 1,42    | 8,02      | 1,03               | 0,83               |
| <b>C/N</b>         | 19,09     | 35,63   | 6,61      | 28,35              | 64,20              |

## 6.4 Θερμοκρασία

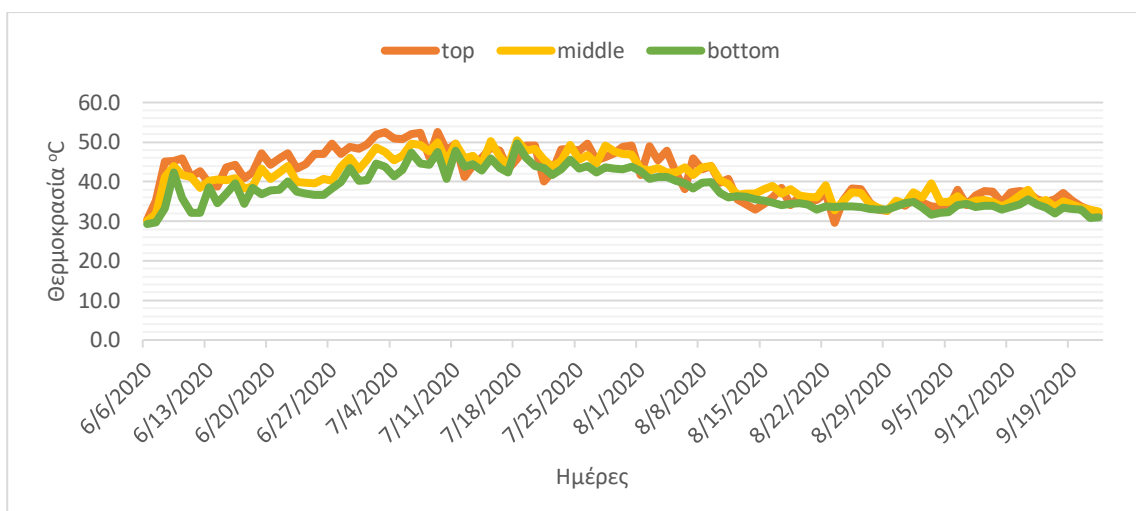
Γενικά η πορεία της θερμοκρασίας των σωρών του K1 και K2 κύλησε με βάση το τυπικό χρονοδιάγραμμα που αναμένεται από την διαδικασία της κομποστοποίησης όπως εμφανίζεται στην ενότητα 3.3 Στάδια κομποστοποίησης

Όπως παρουσιάστηκε στην υπό-ενότητα 5.2.4 (Μέτρηση της θερμοκρασίας) και φαίνεται στην Εικόνα 22 οι μετρήσεις έγιναν σε 2 σημεία για 3 διαφορετικά βάθη. Στα Διάγραμμα 1 και **Error!**

**Reference source not found.** παρουσιάζονται οι μέσες τιμές για τα 2 σημεία που θεωρούμε ότι είναι αντιπροσωπευτικά για κάθε βάθος.



Εικόνα 22: Σημεία (αριστερά) και βάθη (δεξιά) που γίνονται η καταγραφή θερμοκρασιών

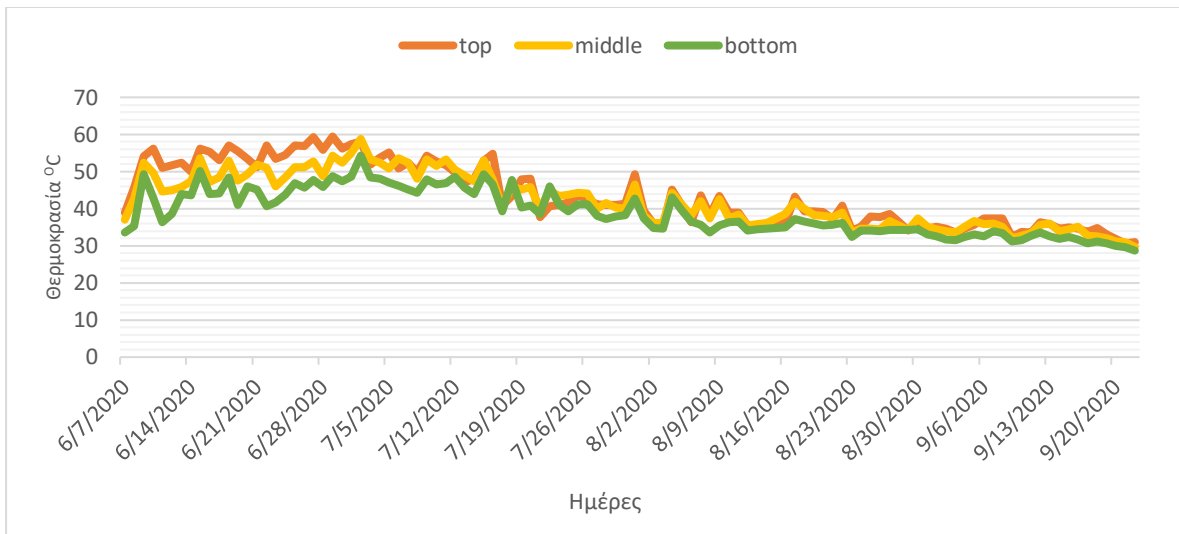


Διάγραμμα 1: Μ.Ο. Θερμοκρασιών/3 βάθη (Κ1)

Στο Μεσόφιλο στάδιο ο Κ1 είχε ομαλή άνοδο θερμοκρασίας σε σχέση με τον Κ2 που η θερμοκρασία ανέβηκε απότομα και αυτό μπορεί να οφείλεται στην διφασική πυρήνα. Δηλαδή ο Κ1 ξεκίνησε με θερμοκρασία 29°C και μετά από 7 μέρες με θερμοκρασία 37,8 °C πέρασε στο θερμόφυλλο στάδιο. Η υψηλότερη θερμοκρασία που έφτασε είναι 50 °C. Οι μικρές πτώσεις της θερμοκρασίας που εμφανίζονται στο Διάγραμμα του Κ1 οφείλονται στην απουσία ανάδευσης και υγρασίας. Όταν υπήρχε καταγραφή πτώσης της θερμοκρασίας τότε γινόταν προσθήκη η προσθήκη νερού και για αυτό την επόμενη μέρα η θερμοκρασία αυξάνονταν ξανά.

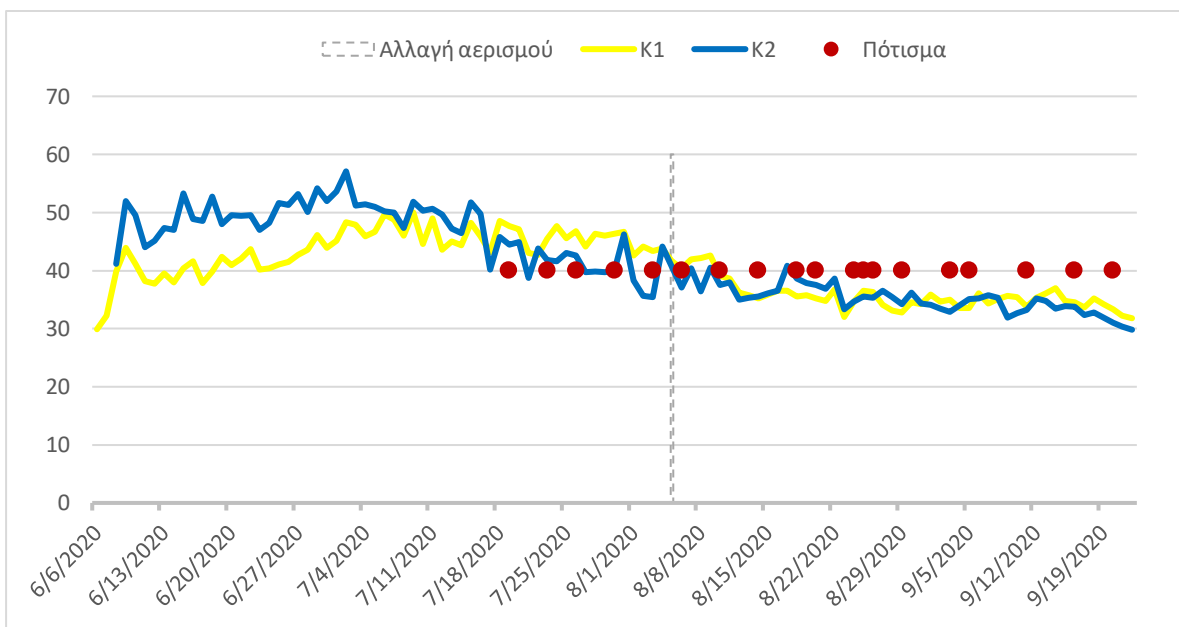
Ο Κ2 ξεκίνησε με θερμοκρασία 41,2 °C και μετά από 7 μέρες με θερμοκρασία 47 °C πέρασε στο θερμόφυλλο στάδιο. Η υψηλότερη θερμοκρασία που έφτασε είναι 57,1°C. Ο Κ2 λόγω της μεγαλύτερης υγρασίας που είχε εξαρχής από την προσθήκη της διφασικής πυρήνας είχε μικρότερες ανάγκες σε υγρασία και περισσότερες σε οξυγόνο. Επίσης πιο κοντά στη τυπική

πορεία της θερμοκρασίας έφτασε ο K2 καθώς έφτασε σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο θερμόφιλο στάδιο από τον K1. Αλλά προβλήματα εμφάνισαν και οι δύο καθώς έχαναν υγρασία και μειωνόταν έτσι η μικροβιακή δραστηριότητα.



Διάγραμμα 2: Μ.Ο. θερμοκρασιών/3 βάθη (K2)

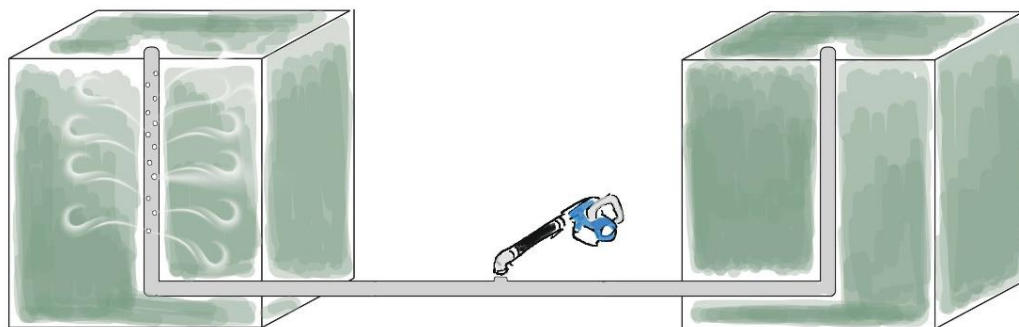
Σε σύγκριση των δύο σωρών ο K2 ξεκίνησε με υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά στην συνέχεια δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Το θερμόφιλο στάδιο με θερμοκρασίες 35 – 65 °C κράτησε και στους δύο σωρούς περίπου 1,5 μήνα. Η παράταση αυτού απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3: Μ.Ο. θερμοκρασιών K1 - K2

## 6.5 Οξυγόνο

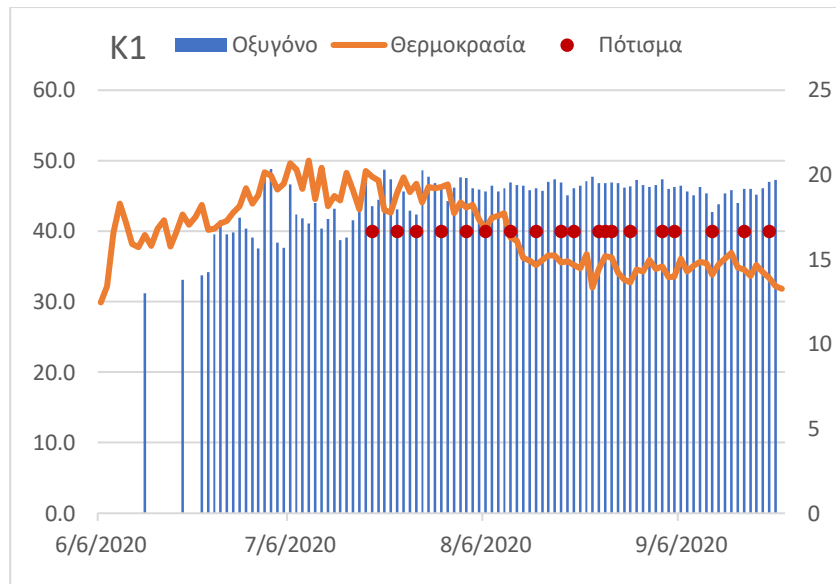
Η κύρια παροχή οξυγόνου προερχόταν από το σύστημα παθητικού αερισμού (Εικόνα 23). Η συμπληρωματική - δευτερεύον παροχή αερισμού ήταν μέσα από την διαδικασία της ανάδευσης. Η ανάδευση άρχισε έναν μήνα μετά την έναρξη της διαδικασίας και γινόταν μία φορά κάθε εβδομάδα. Ο φυσητήρας τους πρώτους δύο μήνες λειτουργούσε για 2 λεπτά ανά 12 ώρες και τους υπόλοιπους 4 λεπτά ανά 6 ώρες.



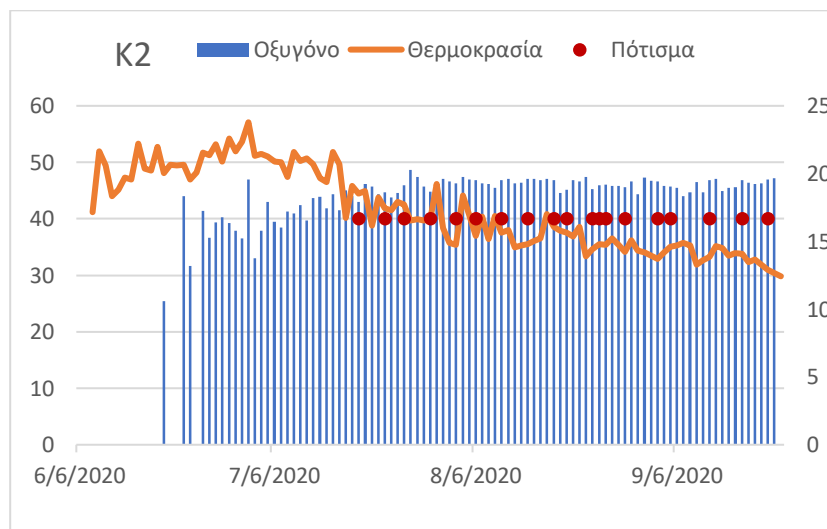
Εικόνα 23: Αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος παθητικού αερισμού

Στους σωρούς K1 και K2 οι αρχικές τιμές οξυγόνου που καταγράφηκαν ήταν χαμηλές και αυτό είναι λογικό διότι η δραστηριότητα των μικροοργανισμών στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης είναι μεγαλύτερη και καταναλώνουν περισσότερο οξυγόνο (Ekinçi et al., 2006, Onwosi et al., 2017). Επιπλέον τα υπολείμματα φαγητού διαθέτουν υψηλή υγρασία ως αποτέλεσμα οι κενοί χώροι να καταλαμβάνονται από νερό και το οξυγόνο που απομένει να εξαντλείται γρήγορα (Cendra et al. 2017). Ακόμα ένας παράγοντας της ταχείας μείωσης του οξυγόνου μπορεί να είναι η έλλειψη διογκωτικού υλικού το οποίο προσθέτει κενούς χώρους στην μάζα του υλικού που θα μπορούσαν να περιέχουν οξυγόνο (Chang & Chen, 2010). Σε σωρούς κομποστοποίησης, όπως την παρούσας εργασίας η προσθήκη επιπλέον διογκωτικού υλικού, είναι αναγκαία καθώς το υλικό έχει την τάση να συμπυκνώνεται και έτσι ελαχιστοποιούνται οι ελεύθεροι χώροι που θα περιείχαν οξυγόνο (Chang & Chen, 2010).

Τα επίπεδα οξυγόνου διατηρήθηκαν σχετικά σταθερά στην διάρκεια της κομποστοποίησης με το σύστημα παθητικού αερισμού και άλλαζαν μόνο στις περιπτώσεις που γινόταν ανάδευση του σωρού ή προσθήκη νερού. Με την προσθήκη νερού, αυξανόταν η θερμοκρασία και μειωνόταν το οξυγόνο κάτι που οφείλεται στην μικροβιακή δραστηριότητα όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4 και Διάγραμμα 5.



Διάγραμμα 4: Πορεία οξυγόνου για τον K1



Διάγραμμα 5: Πορεία οξυγόνου για τον K2

## 6.6 Υγρασία

Η υγρασία των υπολειμμάτων φαγητού και της διφασικής πυρήνας έχει υψηλά ποσοστά. Ωστόσο με την ανάδευση των σωρών και τις υψηλές θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος η υγρασία εξατμίστηκε (Adhikari et al. 2008).

Οι δύο σωροί ξεκίνησαν με πολύ υψηλά ποσοστά υγρασίας αλλά πιο γρήγορη μείωση είχε ο σωρός K2 και αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι είχε υψηλότερες θερμοκρασίες άρα και η αποδόμηση των μικροοργανισμών ήταν μεγαλύτερη και είχαν υψηλότερες απαιτήσεις σε υγρασία από ότι στον K1. Η υγρασία του K1 διατηρήθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα καθ' όλη την διαδικασία είχε όμως απότομες μεταβολές την 8 – 10 εβδομάδα, κάτι που μπορεί να επιβράδυνε την διαδικασία και έτσι να παράτεινε όλη την διαδικασία.

**Πίνακας 13: Μετρήσεις ποσοστού υγρασίας (% υγρού βάρους) κατά την διάρκεια του πειράματος**

| Εβδομάδα/Σωροί | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 14   | 15 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| <b>K1</b>      | 77,8 | 75,0 | 74,1 | 77.3 | 64.8 | 51.3 | 51.0 | 49.6 | 32.2 | 31   | 36   | 39   | 40   | 41 |
| <b>K2</b>      | 77,3 | 73,9 | 65,2 | 59,9 | 51,9 | 42,1 | 47,0 | 39,0 | 40,1 | 39.3 | 36.5 | 39.6 | 44.1 | 43 |

Οι συνολικές ποσότητες νερού που προστέθηκαν στους σωρούς για την διατήρηση της υγρασίας στην διάρκεια της κομποστοποίησης ήταν για τον K1 114L και στον K2 102L. Ωστόσο, η υγρασία στον K1 και στον K2 βρέθηκε ελάχιστες στιγμές στο βέλτιστο εύρος 50 – 60 % (Agnew & Leonard, 2003). Αυτή η συνθήκη μπορεί να είχε ως συνέπεια την επιβράδυνση της διαδικασίας. Η διαφορετική ποσότητα προσθήκης νερού στον κάθε κομποστοποιητή έχει να κάνει με την διαφορά στην σύσταση που είχαν. Καθώς παρατηρήθηκε πως ο K2 μόνο οπτικά συγκρατούσε περισσότερη υγρασία και αυτό μπορεί να οφείλεται στην διφασική πυρήνα.

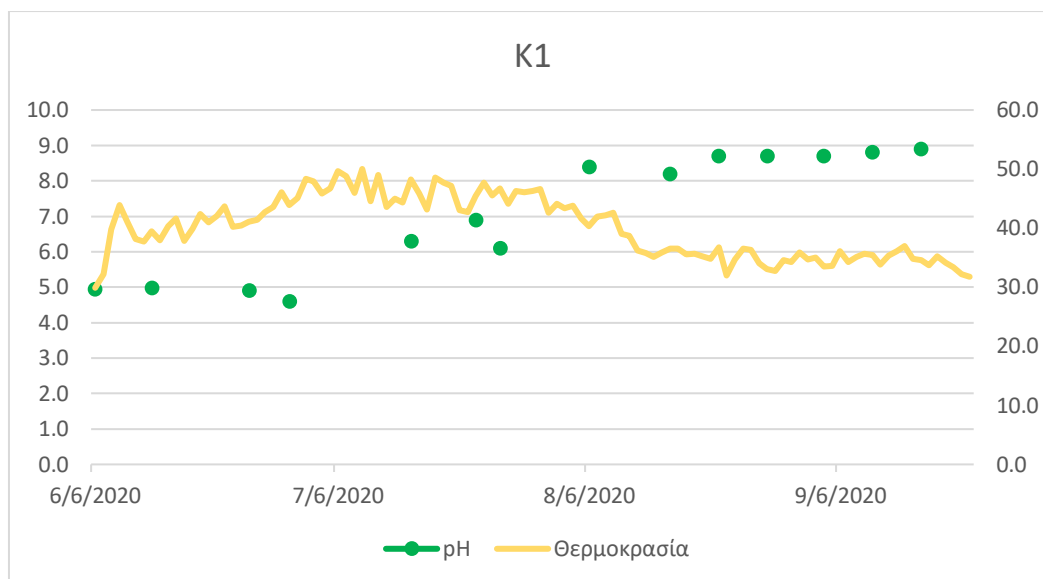
## 6.7 pH

Ο K1 και ο K2 ξεκίνησαν την 1<sup>η</sup> μέρα με pH 4,9. Μετά από 20 μέρες στο θερμόφιλο στάδιο πια, το pH στον K1 βρέθηκε το ίδιο ενώ στον K2 αυξήθηκε. Ωστόσο και οι δύο σωροί κυμάνθηκαν σε υψηλά pH με εύρος 8 – 9 και τελικές τιμές 9,4 για τον K1 και 9,5 για τον K2 (Διάγραμμα 6, Διάγραμμα 7). Σύμφωνα με τους Tognetti et al. (2007) αυτές οι τιμές μπορεί να οφείλονται στην εκτεταμένη θερμόφιλη φάση που ευνοεί την αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου.

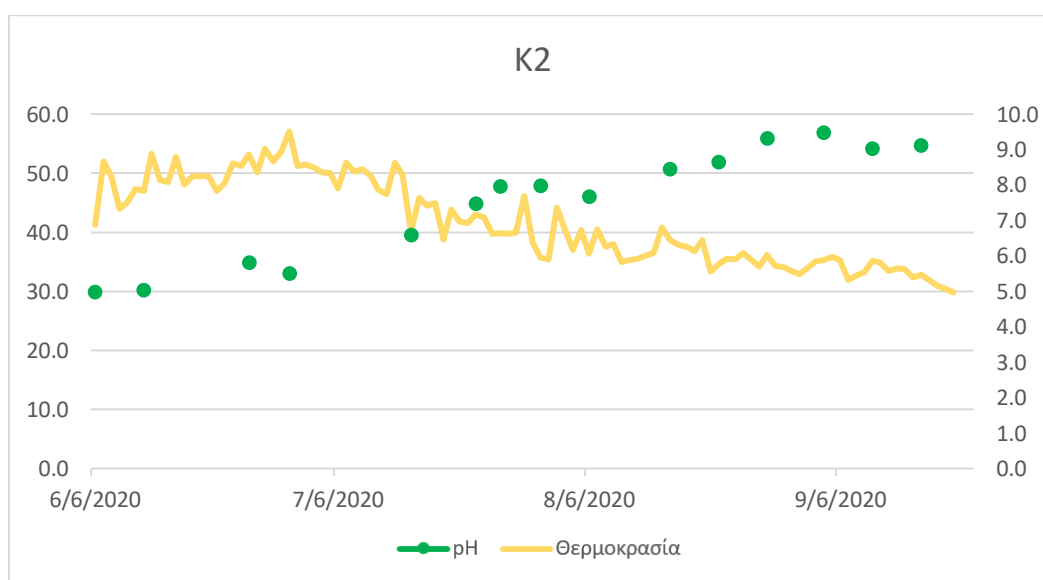
Το αλκαλικό pH δρα θετικά στον περιορισμό της διαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων (Tiquia, 2005) όμως μπορεί να προκαλέσει ανεπάρκεια μικροπρόθεσμων συστατικών (Rosen et al., 1993). Επίσης ευνοεί την μικροβιακή δραστηριότητα και την αποσύνθεση του οργανικού μέρους (Zhang & Sun, 2016). Το αποτέλεσμα όλων αυτών των συμπερασμάτων για τα κομπόστ με υψηλά Ph είναι ότι δεν είναι κατάλληλα για την εφαρμογή τους σε καλλιέργειες (Waqas et al. 2017).

| Σωρός     | Τελικές Τιμές pH |
|-----------|------------------|
| <b>K1</b> | 9,4              |
| <b>K2</b> | 9,5              |





Διάγραμμα 6: Πορεία pH του K1



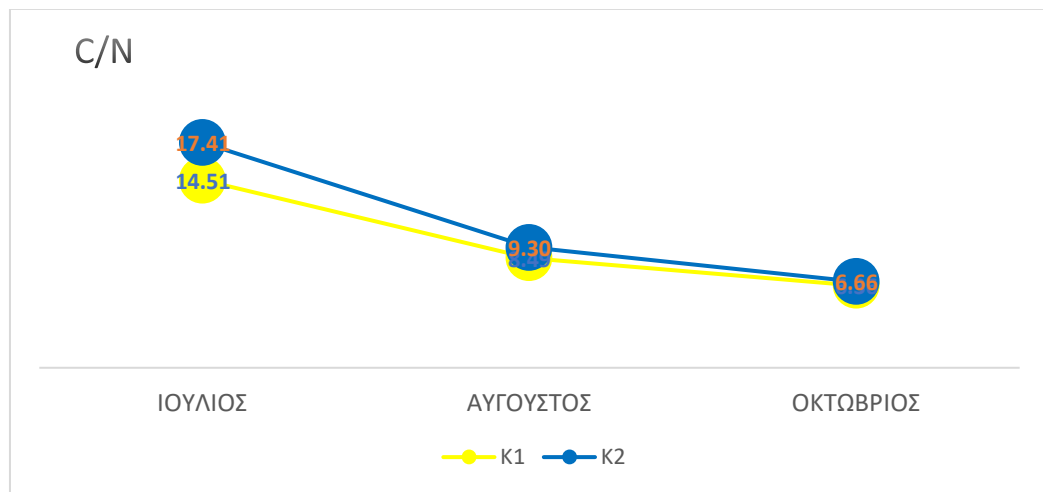
Διάγραμμα 7: Πορεία pH του K2

## 6.8 Θρεπτικά

Οι τιμές του λόγου C/N, των αρχικών υλικών των σωρών περιγράφεται στον Πίνακας 12. Ο μεγαλύτερος λόγος συναντάται στην διφασική πυρήνα (64,20) λόγω της υψηλής περιεκτικότητας της σε λιγνοκυτταρίνες.

Η πρώτη μέτρηση του Ιουλίου είχε υψηλές τιμές 14,51 και με 17,41 για τον K1 και τον K2 αντίστοιχα. Ο K2 εμπειρείχε τα ελαιουργικά απόβλητα τα οποία έχουν αυξημένο λόγο άνθρακα – αζώτου όπου κατ' επέκταση αυτό παρατηρείται και στην πρώτη μέτρηση. Τον Αύγουστο παρατηρήθηκε πτώση των τιμών. Η πτώση οφείλεται στην διάσπαση του μεγαλύτερου ποσοστού του άνθρακα μέσω της θερμόφιλης φάσης όπου οι μικροοργανισμοί έχουν την πιο έντονη δραστηριότητα τους. Οι τελικές τιμές είναι ακόμα πιο μειωμένες καθώς το υλικό έχει

σταθεροποιηθεί και έχουν εξαντληθεί τα περισσότερα αποθέματα άνθρακα. **Error! Reference source not found.**



Διάγραμμα 8: Πορεία λόγου C/N για K1 και K2

Η τυπική πορεία της αναλογίας C/N στη διαδικασία της κομποστοποίησης, ταυτίζεται με την παραπάνω καθότι είναι καθοδική (M. K. Awasthi et al., 2017; Cerda et al., 2017; El Fels et al., 2014). Οι Komilis & Tziouvaras (2009)). Ακόμη σύμφωνα με El Fels et al. (2014) η αναλογία C/N μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ωριμότητας και τα κομπόστ με τιμή 10 μπορούν να θεωρηθούν ώριμα. Ωστόσο ο δείκτης αυτός μεμονωμένος δεν είναι αρκετός. Τα κομπόστ με υψηλή αναλογία C/N κάνουν χρήση του αζώτου του εδάφους καθιστώντας το μη διαθέσιμο (BC Ministry Agriculture Of Agriculture, 1998). Όμως στην αντίθετη περίπτωση δίνουν το άζωτο στα φυτά (Diaz et al. 2007).

## 6.9 Φυτοτοξικότητα

Για τον έλεγχο της φυτοτοξικότητας έγινε η παρακάτω ανάλυση. Χρησιμοποιήθηκαν 2 δείγματα από το κάθε κομπόστ και 3 τυφλά δείγματα (Εικόνα 24). Στο κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις, όπως φαίνεται στον Πίνακα 14. Σε κάθε τριβλείο τοποθετήθηκαν 20 σπόροι κάρδαμου. Έπειτα τοποθετήθηκαν σε σκοτεινό περιβάλλον και σε σταθερή θερμοκρασία για 3 ημέρες. Την τελευταία μέρα μετρήθηκε η ποσότητα των σπορών που έχουν βλαστήσει και το μήκος των ριζών τους με ειδικό χάρακα.



Εικόνα 24: Δείγματα από την διαδικασία της μέτρησης της φυτοτοξικότητας

Πίνακας 14: Μήκος ριζών που βλάστησαν

| Σπόροι | Μήκος ριζών σε εκατοστόμετρα (CM) |     |     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--------|-----------------------------------|-----|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|        | TA                                | TB  | TΓ  | K1.1<br>A | K1.1<br>B | K1.1<br>Γ | K1.2<br>A | K1.2<br>B | K1.2<br>Γ | K2.1<br>A | K2.1<br>B | K2.1<br>Γ | K2.2<br>A | K2.2<br>B | K2.2<br>Γ |
| 1      | 1,0                               | 1,8 | 0,2 | 1,4       | 0,9       | 1,0       | 0,8       | 1,2       | 0,9       | 1,5       | 1,6       | 2,4       | 1,2       | 2,0       | 1,4       |
| 2      | 1,3                               | 1,2 | 1,5 | 1,3       | 1,0       | 1,2       | 1,3       | 0,7       | 0,7       | 0,9       | 1,7       | 1,9       | 1,6       | 0,8       | 1,3       |
| 3      | 0,6                               | 1,2 | 0,9 | 1,2       | 1,2       | 1,2       | 0,7       | 0,4       | 1,1       | 0,6       | 1,5       | 1,4       | 1,9       | 2,1       | 1,5       |
| 4      | 1,4                               | 1,1 | 0,8 | 1,5       | 1,3       | 1,0       | 1,0       | 1,0       | 1,2       | 1,5       | 1,8       | 1,4       | 0,8       | 2,1       | 1,6       |
| 5      | 0,8                               | 2,0 | 1,0 | 0,5       | 1,1       | 1,1       | 0,9       | 1,1       | 1,0       | 1,5       | 2,0       | 1,3       | 0,9       | 1,7       | 1,1       |
| 6      | 1,2                               | 0,6 | 1,5 | 0,5       | 1,0       | 1,4       | 1,2       | 1,1       | 1,1       | 0,7       | 1,7       | 0,4       | 1,3       | 1,9       | 1,4       |
| 7      | 1,7                               | 1,0 | 1,6 | 1,2       | 0,8       | 1,6       | 1,2       | 0,9       | 0,6       | 1,0       | 1,6       | 1,8       | 1,6       | 1,0       | 1,7       |
| 8      | 1,2                               | 1,4 | 1,1 | 0,9       | 1,5       | 1,4       | 1,1       | 0,9       | 1,2       | 1,6       | 1,6       | 1,1       | 1,4       | 1,5       | 1,0       |
| 9      | 0,5                               | 1,3 | 0,8 | 1,4       | 1,3       | 1,5       | 0,9       | 1,7       | 0,5       | 1,2       | 1,3       | 1,5       | 0,7       | 1,3       | 1,0       |
| 10     | 1,5                               | 0,9 | 1,4 | 1,3       | 1,0       | 1,2       | 0,9       | 0,8       | 1,3       | 1,1       | 1,7       | 1,4       | 0,9       | 1,5       | 0,8       |
| 11     | 1,7                               | 1,2 | 1,6 | 0,6       | 1,0       | 1,3       | 0,5       | 0,9       | 0,9       | 1,0       | 1,6       | 2,1       | 1,1       | 1,4       | 0,7       |
| 12     | 1,0                               | 1,5 | 1,9 | 0,5       | 1,1       | 1,2       | 0,7       | 0,9       | 0,6       | 0,6       | 2,0       | 1,8       | 1,1       | 1,5       | 1,9       |
| 13     | 1,3                               | 0,9 | 1,2 | 1,0       | 0,3       | 0,7       | 0,9       | 0,5       | 0,3       | 1,5       | 2,2       | 1,5       | 1,2       | 1,6       | 1,7       |
| 14     | 1,9                               | 1,6 | 1,0 | 1,5       | 0,5       | 0,9       | 0,6       | 1,2       | 0,4       | 0,4       | 1,4       | 1,4       | 0,3       | 0,7       | 1,5       |
| 15     | 1,8                               | 1,5 | 1,2 | 0,3       | 0,6       | 0,8       | 0,3       | 1,1       | 1,3       | 0,8       | 1,4       | 1,6       | 1,8       | 1,0       | 1,7       |
| 16     | 1,4                               | 1,7 | 1,3 | 0,3       | 0,4       | 1,2       | 1,1       | 1,0       | 1,3       | 1,1       | 2,1       | 1,7       | 1,4       | 1,3       | 1,2       |
| 17     | 1,6                               | 0,4 | 0,7 | 0,3       | 0,3       | 0,4       | 0,9       | 0,6       | 0,3       | 0,3       | 0,8       | 0,7       | 0,9       | 0,7       | 1,3       |
| 18     | 1,6                               | 0,0 | 0,4 | 1,1       | 0,1       | 0,0       | 0,3       | 0,2       | 0,2       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 1,4       | 0,9       | 0,0       |
| 19     | 1,2                               | 0,0 | 1,3 | 1,3       | 0,2       | 0,0       | 0,6       | 0,0       | 0,3       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 1,5       | 0,2       | 0,0       |
| 20     | 0,0                               | 0,0 | 0,0 | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,2       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,3       | 0,0       |
| M.O    | 1,2                               | 1,1 | 1,1 | 0,9       | 0,8       | 1,0       | 0,8       | 0,8       | 0,8       | 0,9       | 1,4       | 1,3       | 1,2       | 1,3       | 1,1       |

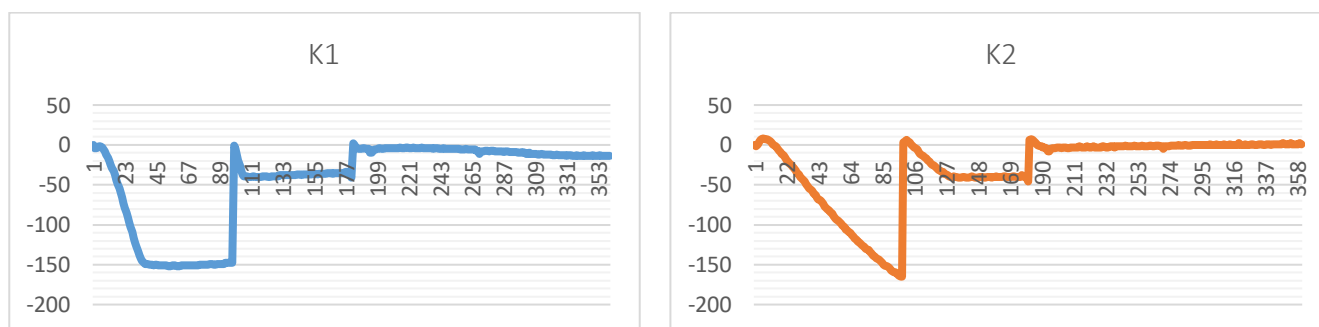
Το ποσοστό βλαστικότητας μετρήθηκε από τον GI όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 5.2.7. Ο δείκτης GI από τα δείγματα του K1 και του K2 ήταν 75,7% και 102,5% αντίστοιχα (Πίνακας 15). Οι Tiquia et al. (1996) και Kazamias et al. (2017) θεωρούν ότι δείγματα με ποσοστό φυτοτροπικότητας μεγαλύτερο του 80% είναι μη φυτοτοξικά. Όμως, οι ερευνητές Komilis & Τζιουναγας (2009) αναφέρουν πως μπορεί να χρησιμοποιηθούν ποσοστά όπως 50% γιατί δεν υπάρχει ένα ευρέως αποδεκτό όριο. Στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκε το ποσοστό των 80% ως όριο. Συνεπώς μόνο ο σωρός K2 θεωρείται μη φυτοτοξικός. Επιπλέον, ο Germination Index (GI) χαρακτηρίζεται τόσο από το ποσοστό της φυτοτροπικότητας όσο και από την ταχύτητα που φυτρώνουν ο σπόροι (Repáta Talská et al., 2020). Επομένως το ποσοστό του K2 που ξεπερνάει το 100% σημαίνει πως φυτρώσανε περισσότεροι σπόροι από ότι στο τυφλό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε μόνο απιονισμένο νερό.

Πίνακας 15: Φυτοτοξικότητα τελικού κομπόστ

| Σωρός | GI%   |
|-------|-------|
| K1    | 75,7  |
| K2    | 102,5 |

## 6.10 Μικροβιακή αναπνευστική δραστηριότητα

Η κατανάλωση του οξυγόνου από την μικροβιακή αναπνευστική δραστηριότητα, ποσοτικοποιήθηκε μέσω της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου (CRI). Το δείγμα ήταν από το τελικό προϊόν και οι μετρήσεις κράτησαν τέσσερις ημέρες και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 16. Ο σωρός K1 παρουσιάζει μικρότερη κατανάλωση οξυγόνου g O<sub>2</sub>/kg ξβ από τον σωρό K2 που παρουσιάζει 8,718 g O<sub>2</sub>/kg ξβ. Η διαφορά στους σωρούς οφείλεται στην διαφορετική σύνθεση τους (Adani, Confalonieri, & Tambone, 2004). Στο Διάγραμμα 9 εμφανίζεται η φθίνουσα πορεία της κατανάλωσης οξυγόνου. Τα σημεία που είναι πολύ έντονη η πτώση οφείλεται στο άνοιγμα των δοχείων. Η συνολική ελάττωση του οξυγόνου είναι αποτέλεσμα της μείωσης της διαθέσιμης οργανικής ουσίας από τους μικροοργανισμούς που προκαλείται από την δραστηριότητα της αποσύνθεσης. Η χαμηλότερη κατανάλωση οξυγόνου είναι ένδειξη της μειωμένης δραστηριότητας των μικροοργανισμών (Godley, Lewin, Graham, Barker, & Smith, 2004, Gómez, Lima, Bolasell, Gea, & Ferrer, 2005).



Διάγραμμα 9: Πορεία πίεσης (hPa) στις μονομετρικές φιάλες για K1 και K2

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναφέρει σε έγγραφο της πως η σταθερότητα του κομπόστ επηρεάζεται από την συνολική κατανάλωση του οξυγόνου. Στις μετρήσεις των τεσσάρων ημερών

ένα κομπόστ θα πρέπει να έχει ένδειξη μικρότερη από 10 g O<sub>2</sub>/kg ξβ (Komilis & Tziouvaras, 2009). Επομένως, οποιοδήποτε κομπόστ που έχει μικρότερη ένδειξη από αυτή που θέτει η ΕΕ χαρακτηρίζεται σταθερό.

Με βάση το όριο της ΕΕ τα κομπόστ Κ1 και Κ2 χαρακτηρίζονται σταθερά.

Πίνακας 16: Τιμές κατανάλωσης οξυγόνου των τελικών σωρών

| Σωρός | Συνολική Κατανάλωση O <sub>2</sub> (g O <sub>2</sub> /kg ξβ) |
|-------|--|
| K1    | 7,770  |
| K2    | 8,718  |

## 6.11 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των τελικών σωρών πραγματοποιήθηκε όπως παρουσιάζεται στην 5.2.9. Χρησιμοποιήσαμε 2 δείγματα από τον κάθε σωρό και έπειτα χρησιμοποιήσαμε τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 18. Το όρια της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός κομπόστ σε συνάρτηση με την καταλληλότητα για την εφαρμογή τους σε καλλιέργειες εμφανίζονται στον Πίνακα 17.

Πίνακας 17: Χαρακτηρισμός εδάφους με βάση τα όρια της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (Προσδιορισμός pH – EC εδάφους, Εργαστήριο Εδαφολογίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου)

| Χαρακτηρισμός εδάφους | Ηλεκτρική Αγωγιμότητα mS/cm | Περιεκτικότητα σε άλατα % | Καταλληλότητα για καλλιέργειες                              |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|---|
| Χωρίς αλατότητα       | 0 - 2                       | <0,15                     | Χωρίς πρόβλημα  |
| Ελάχιστης αλατότητας  | 2 - 4                       | 0,15 - 0,20               | Πιθανά προβλήματα για πολύ ευαίσθητα φυτά                   |
| Ελαφράς αλατότητας    | 4 - 8                       | 0,20 - 0,35               | Στα περισσότερα φυτά θα επηρεαστεί αρνητικά η ανάπτυξη τους |
| Μέτριας αλατότητας    | 8 - 15                      | 0,35 - 0,65               | Αναπτύσσονται φυτά μόνο ανθεκτικά στα άλατα                 |
| Έντονης αλατότητας    | >15                         | >0,65                     | Αναπτύσσονται μόνο φυτά πολύ ανθεκτικά στα άλατα            |

Σε περίπτωση που ένα κομπόστ εμφανίζει αυξημένες τιμές κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης υπάρχουν δύο πιθανές εξηγήσεις που εμπίπτουν στο στάδιο της βιοαποικοδόμησης από τους μικροοργανισμούς. Είναι αποτέλεσμα της υψηλής συγκέντρωσης ανόργανων αλάτων όπως φωσφορικά και ιόντα αμμωνίας (Gao M, Liang F, Yu A, Li B, Yang L., 2009) ή της αργής αποσύνθεσης της οργανικής ύλης που προκαλεί την αργή απελευθέρωση μεταλλικών αλάτων (Alburquerque, J.A., González, J., García, D., et al., 2006 & Barberis, R., Nappi, P., 1996).

Αντίθετα οι μειωμένες τιμές προκύπτουν από την αύξηση των συγκεντρώσεων θρεπτικών ουσιών όπως νιτρικών και νιτρωδών (Pathak A. K., Singh M. M., Kumara V., Arya S., Trivedi A. K., 2012)

Οι σωροί παρουσίασαν διαφορές στις τιμές τους λόγω της διαφορετικής σύστασης τους. Με βάση τον Πίνακα 17, ο σωρός Κ1 χαρακτηρίζεται ελαφράς αλατότητας καθώς η τελική

αγωγιμότητα του ανάμεσα στο εύρος 4 – 8 mS/cm. Ο σωρός K2 χαρακτηρίζεται ελάχιστης αλατότητας με τιμή ανάμεσα στο εύρος 2 - 4 mS/cm.

Πίνακας 18: Τιμές αγωγιμότητας των τελικών σωρών

| Σωρός | Αγωγιμότητα (mS/cm) |
|-------|---------------------|
| K1    | 4,4                 |
| K2    | 3,2                 |

## 6.12 Ισοζύγιο μάζας – ενέργειας – νερού

### 6.12.1 Ισοζύγιο ξηρής μάζας και νερού

Οι κομποστοποιητές K1 και K2 ξεκίνησαν με μάζα 217,7 kg και 217,03 kg αντίστοιχα. Η τελική τους μάζα έφτασε τα 18,5 kg και 32,3 kg. Στην διαδικασία της κομποστοποίησης χάθηκε νερό, το οποίο είτε χρησιμοποιήθηκε από τους μικροοργανισμούς είτε διέφυγε από τους κομποστοποιητές στην φάση του ποτίσματος. Επιπλέον υπήρξε μείωση της ποσότητας της ξηράς ύλης μέσω της αποδόμησης των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια μειώθηκε η παρουσία του άνθρακα στα κομπόστ.

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν αναλυτικά τις ποσότητες και τα ποσοστά που προέκυψαν καθ' όλη την διάρκεια της κομποστοποίησης.

- Στον Πίνακα 20 παρατηρούμε πως οι δύο σωροί ξεκινήσανε με μικρή διαφορά στην ποσότητα νερού, αλλά ο K1 και ο K2 χάσανε συνολικά την ίδια ποσότητα νερού (70%).
- Στον Πίνακα 21 παρατηρούμε πως ενώ ο K1 ξεκίνησε με μικρότερη ποσότητα ξηρής μάζας έχασε μεγαλύτερο ποσοστό (70%) από τον K2 που ξεκίνησε με μεγαλύτερη ποσότητα ξηρής μάζας και έχασε μικρότερο ποσοστό (63%).
- Στον Πίνακα 22 παρατηρούμε πως τα ποσοστά μείωσης του άνθρακα είναι μεγαλύτερα για τον K1 (22%) και μικρότερα για τον K2 (17%) ενώ ο K1 ξεκίνησε με μεγαλύτερη ποσότητα άνθρακα.

Όπου: α.υ. = αρχικό υλικό,

τ.υ. = τελικό υλικό

Πίνακας 19: Ισοζύγιο μάζας – νερού για κομπόστ K1 και K2

| Κομποστοποιητής               | K1       | K2        |
|-------------------------------|----------|-----------|
| Ποσότητα α.υ.                 | 217,7 kg | 217,03 kg |
| Ποσοστό υγρασίας α.υ.         | 77,8%    | 77,3%     |
| Ποσότητας ξηράς ύλης α.υ.     | 47,7 kg  | 49,33 kg  |
| Ποσότητα νερού α.υ.           | 170 kg   | 167,7 kg  |
| Ποσότητα νερού που προσθέσαμε | 108 kg   | 114 kg    |
| Ποσότητα τ.υ.                 | 18,5 kg  | 32,3 kg   |

|                                  |               |               |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| Συνολική ποσότητα νερού          | 278 kg        | 281,7 kg      |
| Ποσοστό υγρασίας τ.υ.            | 41%           | 43%           |
| Τελικό νερό                      | 7,6 kg        | 13,9 kg       |
| Ποσότητας ξηράς ύλης τ.υ         | 10,9 kg       | 18,4 kg       |
| Συνολική ποσότητα χαμένου υλικού | 199,2 kg      | 184,73 kg     |
| Συνολικό ποσοστό χαμένου υλικού  | <b>91,4 %</b> | <b>85,0 %</b> |
| Συνολική ποσότητα χαμένου νερού  | 270,4 kg      | 267,8 kg      |

Πίνακας 20: Ισοζύγιο νερού για κομπόστ Κ1 και Κ2

| Κομποστοποιητής                 | Κ1         | Κ2         |
|---------------------------------|------------|------------|
| Ποσότητα νερού α.υ.             | 170,7 kg   | 167,7 kg   |
| Ποσοστό νερού α.υ               | 77,8%      | 77,30%     |
| Ποσότητα νερού που προσθέσαμε   | 108 Kg     | 114 kg     |
| Α.υ. + νερό                     | 387,7 kg   | 384,73     |
| Συνολικό αρχικό νερό            | 278        | 281,7      |
| Συνολική ποσότητα χαμένου νερού | 270,4      | 267,8      |
| Ποσοστό χαμένου νερού           | <b>70%</b> | <b>70%</b> |

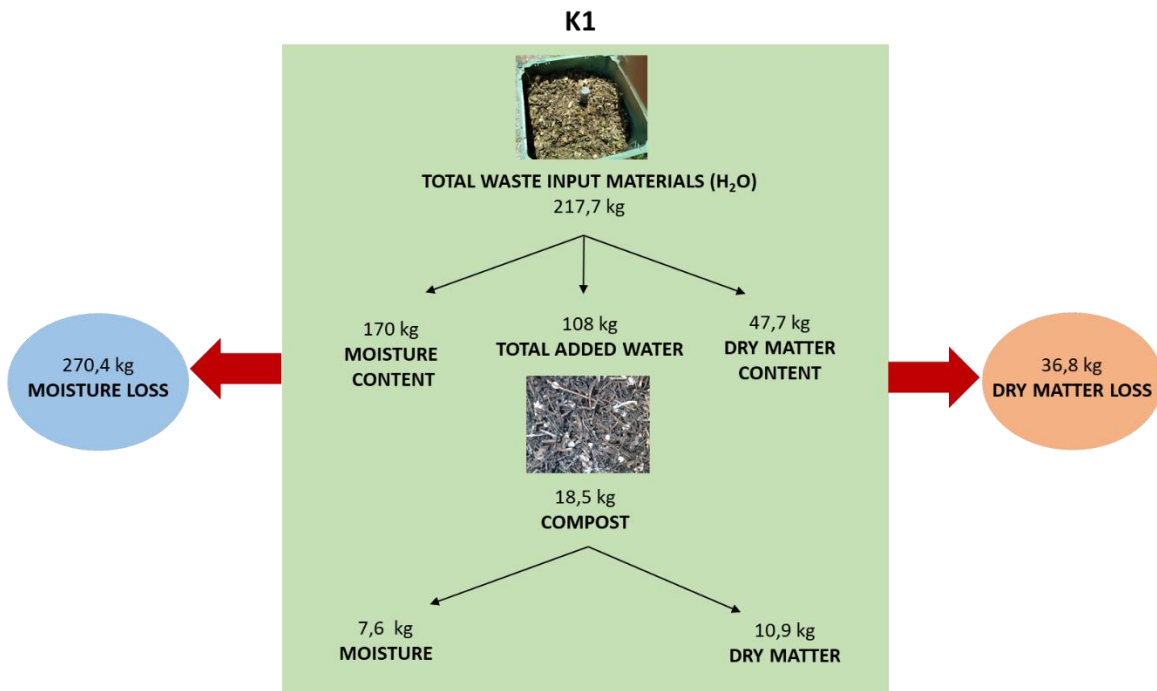
Πίνακας 21: Ισοζύγιο ξηρής μάζας για κομπόστ Κ1 και Κ2

| Κομποστοποιητής                 | Κ1         | Κ2         |
|---------------------------------|------------|------------|
| Ποσότητα ξηράς μάζας α.υ.       | 47,7       | 49,33      |
| Ποσότητα ξηράς μάζας τ.υ.       | 10,9       | 18,4       |
| Χαμένη ξηρά μάζα                | 36,8       | 30,93      |
| Ποσοστό μείωσης της ξηράς μάζας | <b>77%</b> | <b>63%</b> |

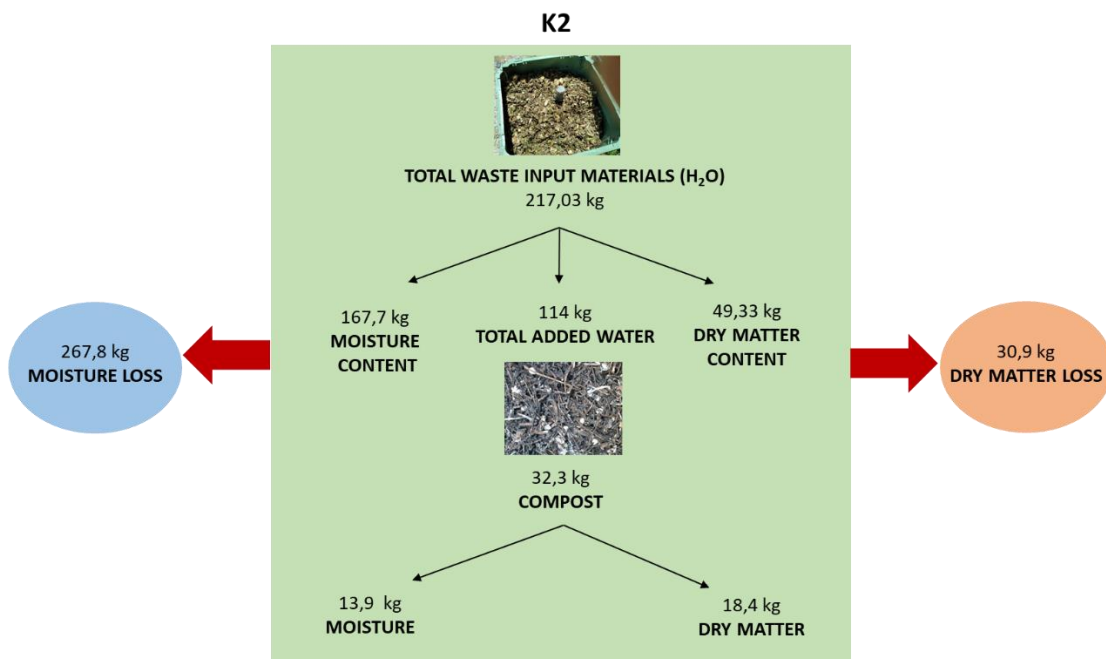
Πίνακας 22: Ισοζύγιο άνθρακα για κομπόστ Κ1 και Κ2

| Κομποστοποιητής         | Κ1         | Κ2         |
|-------------------------|------------|------------|
| Αρχικός άνθρακας        | 51,6       | 51,4       |
| Τελικός άνθρακας        | 40,1       | 42,8       |
| Χαμένος άνθρακας        | 11,5       | 8,6        |
| Ποσοστό μείωσης άνθρακα | <b>22%</b> | <b>17%</b> |

Στην Εικόνα 25 και στην Εικόνα 26 παρουσιάζονται συνοπτικά τα ισοζύγια ξηρής μάζας και νερού των δύο σωρών. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν εμφανίζονται αναλυτικά στους παραπάνω πίνακες.



Εικόνα 25: Ισοζύγιο ξηρής μάζας και νερού για το K1



Εικόνα 26: Ισοζύγιο ξηρής μάζας κα νερού για τον K2

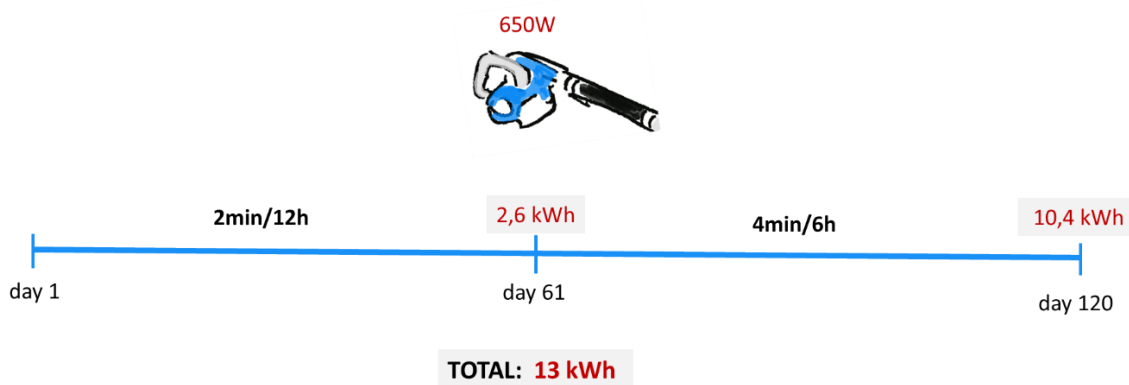


### 6.12.2 Ισοζύγιο ενέργειας

Στην διαδικασία της κομποστοποίησης χρησιμοποιήσαμε ενεργητικό αερισμό όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.4.1. Ο φυσητήρας που χρησιμοποιήσαμε στο πείραμα είχε ισχύς 650W. Τις πρώτες 60 μέρες φυσητήρας λειτουργούσε 2 λεπτά ανά 12 ώρες και δαπάνησε 63,43 kWh. Στις υπόλοιπες 60 μέρες λειτουργούσε αυξήσαμε την λειτουργία του σε 4 λεπτά ανά 6 ώρες, όπου δαπάνησε 184,08 kWh. Συνολικά στις 120 μέρες που διήρκησε η κομποστοποίηση, ο φυσητήρας δαπάνησε 13 kWh (Εικόνα 27).

$$\frac{\text{Total kWhr}}{\text{Total α. υ.}} = \frac{13 \text{ kWhr}}{434,73 \text{ kg}} = 0,0299 \text{ kWhr/kg}$$

Με βάση την παραπάνω εξίσωση ένας φυσητήρας 650W θα χρειαστεί 0,0299 kWh ανά κιλό κομπόστ.



Εικόνα 27: Ισοζύγιο ενέργειας από την κατανάλωση του φυσητήρα

### 6.13 Κόστη

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται το κόστος του νερού και του ρεύματος με βάση τα αποτελέσματα που βρήκαμε στην ενότητα 6.12.

#### 6.13.1 Νερό

Το νερό που προστέθηκε σε όλη την διάρκεια του πειράματος για τον K1 και τον K2 ήταν 108kg και 114kg αντίστοιχα. Συνολικά 222 kg ή 0.2m<sup>3</sup>. Το νερό κοστολογείται ανάλογα με την ποσότητα των κυβικών μέτρων που καταναλώνεται. Για το νησί της Λέσβου οι ποσότητες ανάμεσα 0 – 9 m<sup>3</sup> έχουν μηδενική κοστολόγηση σύμφωνα με την τοπική δημόσια επιχείρηση ύδρευσης (deyamyt.gr), χωρίς την προσμέτρηση των πάγιων χρεώσεων. Ακόμα και αν διπλασιάσουμε τις ποσότητες του νερού που χρησιμοποιήσαμε θα έχουμε 0,4 m<sup>3</sup> και το κόστος θα παραμείνει μηδενικό.

### 6.13.2 Ηλεκτρισμός

Αντίστοιχα το ηλεκτρικό ρεύμα που δαπανήθηκε από τον φυσητήρα σε όλη την διάρκεια του πειράματος ήταν 0,0299 kWh. Το ρεύμα κοστολογείται ανάλογα με την ποσότητα των κιλοβατώραν που δαπανώνται και 1 kWh κοστίζει 0,10153€. Το τελικό κόστος ανέρχεται στα  $13 \text{ kWh} \times 0,10153\text{€/ kWh} = 1,319 \text{ €}$  χωρίς τις πάγιες χρεώσεις. Ανά κιλό θα κοστίζει  $0,0299 \text{ kWhr/kg} \times 0,10153\text{€/ kWh} = 0,003 \text{ €/Kg}$ .

## 7. Συμπεράσματα και συζήτηση

Η διαδικασία της μέτρησης της ροής αποβλήτων έλαβε χώρα στο ΚΥΤ του Καρά Τεπέ στην Λέσβο. Από την εκτίμηση των οικιακών αποβλήτων του ΚΥΤ έπειτα από δύο δειγματοληψίες, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αποβλήτων που παράγονται εμπίπτουν στην κατηγορία των τροφικών υπολειμμάτων (61%). Οι κατηγορίες που ακολουθούν είναι τα «Υπόλοιπα» (22%), «Πλαστικά» (12%), «Χαρτί – Χαρτόνι» (4%), «Μέταλλα» (1%), «Γυαλί» (1%). Στο ΚΥΤ, δεν χρησιμοποιούν εφημερίδες, ούτε χαρτόκουτα πάρα μόνο κάποια χαρτιά συσκευασίας και άλλα για δική τους χρήση. Επίσης, το μέταλλο και το γυαλί παρουσιάζουν χαμηλά ποσοστά διότι οι πληθυσμοί που ζουν εκεί δεν καταναλώνουν αλκοολούχα ποτά τα οποία συσκευάζονται σε μεταλλικές και γυάλινες συσκευασίες, λόγω των θρησκευτικών τους πεποιθήσεων.



Figure 2: Μέση Ποιοτική σύσταση Καρά Τεπέ από τις δειγματοληψίες Μαΐου και Νοεμβρίου 2019, Ποσοστό κ.β. (%)

Πιο συγκεκριμένα, το Μάιο 2019, το αντιπροσωπευτικό μέγεθος του πληθυσμού υπολογίστηκε σε 91 κάτοικους και 18 καταλύματα. Η μέση παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο, εκτιμήθηκε σε 0,60kg/cap/day και βιοαποβλήτων 0,37kg/cap/day.

Αντίστοιχα, το Νοέμβριο 2019, το αντιπροσωπευτικό μέγεθος του πληθυσμού υπολογίστηκε σε 156 κάτοικους και 30 καταλύματα. Η μέση παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο, εκτιμήθηκε σε 0,51kg/day και βιοαποβλήτων 0,24kg/cap/day.

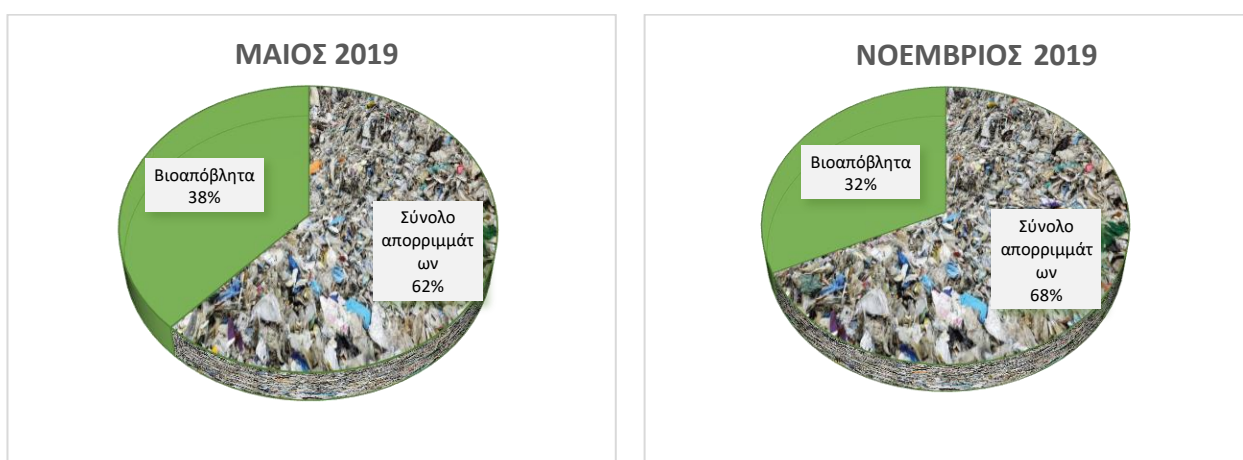


Figure 3: Ποσοστά συνολικών απορριμμάτων και βιοαποβλήτων από τα αποτελέσματα Μαΐου 2019 και Νοεμβρίου 2019

Τα συμπεράσματα για τα τελικά κομπόστ μετά από τις τελικές φυσικό-χημικές μετρήσεις ήταν:

Πίνακας 23: Τελικά συμπεράσματα για τα κομπόστ K1, K2

|                              | K1                                   | K2  |
|------------------------------|--------------------------------------|---|
| <b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>           | Μη ιδανική                           | Μη ιδανική                                |
| <b>ΟΞΥΓΟΝΟ</b>               | Ιδανικό                              | Ιδανικό                                   |
| <b>ΥΓΡΑΣΙΑ</b>               | Μη ιδανική                           | Μη ιδανική                                |
| <b>pH</b>                    | Υψηλό                                | Υψηλό                                     |
| <b>ΘΡΕΠΤΙΚΑ</b>              | Ιδανικά                              | Ιδανικά                                   |
| <b>ΦΥΤΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ</b>        | Φυτοτοξικό                           | Μη φυτοτοξικό                             |
| <b>ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΑΝΑΠΝΟΗ</b>    | Σταθερό                              | Σταθερό                                   |
| <b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ</b> | Περιοριστικό για τα περισσότερα φυτά | Πιθανά προβλήματα για πολύ ευαίσθητα φυτά |

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι και στα δύο πειράματα τα επίπεδα υγρασίας, που είχαν μεγάλες αυξομειώσεις, επηρέασαν την πορεία της θερμοκρασίας και είχαμε αποκλείσεις από την τυπική πορεία της θερμοκρασίας. Στην συνέχεια, το pH επηρεάστηκε από την εκτεταμένη θερμόφιλη φάση φτάνοντας σε υψηλά επίπεδα και στους δύο σωρούς, όμως αυτός δεν είναι πάντα αποτρεπτικός παράγοντας για χρησιμοποιηθεί ένα κομπόστ σε καλλιέργειες. Παράλληλα, στους δύο σωρούς το οξυγόνο διατηρήθηκε σε ιδανικά επίπεδα όπως και τα θρεπτικά. Από τις τελικές μετρήσεις, το κομπόστ K1 κρίθηκε, φυτοτοξικό διότι το ποσοστό φυτροκτικότητας ήταν στα κοντά στα όρια αλλά δεν ξεπερνούσε το 80%, σταθερό και προβληματικό για τα περισσότερα φυτά στην χρήση του ως εδαφοβελτιωτικού λόγω της τιμής της περιεκτικότητας των αλάτων. Όμως, το κομπόστ K2 κρίθηκε μη φυτοτοξικό καθώς είχαμε δείκτη φυτροκτικότητας που ξεπέρασε το 80%, σταθερό και πιθανόν προβληματικό για τα πολύ ευαίσθητα φυτά στην χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό λόγω του χαμηλού ποσοστού αλάτων που περιείχε. Συνεπώς, το κομπόστ K2 κρίθηκε πιο ποιοτικό σε σχέση με το κομπόστ K1. Άρα, η χρήση αποβλήτων ελαιουργείου μπορεί να είναι ευνοϊκός παράγοντας για δημιουργία κομπόστ.

Ακολούθως, εξετάζεται η εφαρμοσιμότητα του πειράματος σε πραγματική κλίμακα και τα πραγματικά κόστη.

Στην περίπτωση που πάρουμε τις μετρήσεις του Μαΐου 2019 όπου ο πληθυσμός ήταν μεγαλύτερος, έχουμε παραγωγή 0,5 tn/day βιοαποβλήτων. Αυτό σημαίνει πως θα χρειάζονται περίπου 3 κομποστοποιητές των 0.3 m<sup>3</sup> για την ημερήσια παραγωγή αποβλήτων. Στην περίπτωση όμως, που προμηθευτούμε κομποστοποιητές των 0.4 m<sup>3</sup> μπορούμε να μειώσουμε την ποσότητα τους χρησιμοποιώντας 2 κομποστοποιητές την ημέρα για τα παραγόμενα βιοαπόβλητα.

Το συνολικό βάρος των βιοαποβλήτων για έναν χρόνο 365 day × 0,5tn/day = 182,5 tn. Επομένως ένας οικιακός κομποστοποιητής διαχειρίζεται περίπου 0,2tn. Για 182,5tn θα χρειαστούμε 912,5 οικ. κομποστοποιητές. Επειδή όμως η διάρκεια της κομποστοποίησης κρατάει 120 μέρες, ο ένας κομποστοποιητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί 3 φορές. Άρα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περίπου **304 οικ. κομποστοποιητές τον χρόνο** σε πραγματικές συνθήκες.

Στο πείραμα για 434,73 kg κομπόστ δηλαδή 0,43 tn δαπανήσαμε  $434,73 \text{ kg} \times 0,003 \text{ €/Kg} = 1,31 \text{ €}$  για το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς το νερό είχε μηδενικό κόστος. Για 0,5 tn/day βιοαποβλήτων το ηλεκτρικό ρεύμα θα κοστίζει:  $501,3 \text{ kg/day} \times 0,003 \text{ €/kg} = 1,51 \text{ €/day}$

Για το νερό για 222kg θα κοστίζει:  $501,3 \text{ kg/day} \times 222 \text{ kg} = 111.288,6 \text{ kg/day}$  που εμπίπτει στην κατηγορία «κατανάλωση μεταξύ 101-200» και στο ποσό **1,85€/day**

Συνεπώς, μία ενδεικτική προσέγγιση των ποσοτήτων και των δαπανών για 1355 συνολικό πληθυσμό, παρουσιάζεται παρακάτω:

**Πίνακας 24: Προσέγγιση ποσοτήτων και δαπανών για την λειτουργία οικ. κομποστοποιητών με τα δεδομένα Μαΐου 2019**

| Παράμετροι   | Τιμές                     |
|--|---------------------------|
| Ποσότητα Πληθυσμού                                   | 1355                      |
| Κόστος Νερού   | 1,85€/day                 |
| Κόστος Ηλ. Ρεύματος                                  | 1,51€/day                 |
| <b>Συνολικές Δαπάνες</b>                             | <b>3,36€/day</b>          |
| Τελική Ποσότητα κομποστοποιητών (0.3m <sup>3</sup> ) | ~304 οικ. κομποστοποιητές |

Καταληκτικά, το πείραμα έχει πετύχει τον σκοπό του και μπορεί να μεταφερθεί σε κοινωνίες με παρόμοιους πληθυσμούς. Σε μελλοντική μελέτη, θα πρέπει να υπάρχει καλύτερος έλεγχος στα επίπεδα υγρασίας και οξυγόνου του κομπόστ έτσι ώστε να υπάρχουν ισορροπίες σε όλους τους παράγοντες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτοματοποιημένη μέθοδος μέτρησης θερμοκρασίας για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα έλεγχου. Επιπλέον, θα μπορούσε να προστεθεί ένας σωλήνας που θα περνάει μέσα από το κομπόστ ώστε να διοχετεύει ζεστό νερό σε οικισμούς.



## 8. Βιβλιογραφία

### Ξένη βιβλιογραφία:

- Adani, F., Confalonieri, R., & Tambone, F. (2004). Dynamic respiration index as a descriptor of the biological stability of organic wastes. *Journal of Environmental Quality*, 33(5), 1866–1876. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.1866>
- Adhikari, B. K., Barrington, S., Martinez, J., & King, S. (2008). Characterization of food waste and bulking agents for composting. *Waste Management*, 28(5), 795–804. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.018>
- Alburquerque, J.A., González, J., García, D., et al., (2006), Measuring Detoxification and Maturity in Compost Made from “Alperujo”, the Solid by-Product of Extracting Olive Oil by the Two-Phase Centrifugation System. In: *Chemosphere* 64 No. 3, p. 470-477.
- Al-Khatib, I.A., Arafat, H.A., Basheer, T., Shawahneh, H., Salahat, A., Eid, J., Ali, W., 2007. Trends and problems of solid waste management in developing countries: A case study in seven Palestinian districts. *Waste Manage.* 27, 1910–1919.
- Al-Khatib, I.A., Monou, M., Abu Zahra, A.F., Shaheen, H.Q., Kassinos, D., 2010. Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district – Palestine. *J. Environ. Manage.* 91, 1131–1138.
- Agnew, J. M., & Leonard, J. J. (2003). The Physical Properties of Compost. *Compost Science & Utilization*, 11(3), 238–264. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702132>
- Archer, E., Baddeley, A., Klein, A., Scwager, J., & Whiting, K. (2005). Mechanical-Biological-Treatment: A Guide for Decision Makers. Processes, Policies and Market - Annexe D Processes S-Z, 41.
- Arvanitoyannis, I. S., & Tserkezou, P. (2008). 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>
- Awasthi, M. K., Selvam, A., Lai, K. M., & Wong, J. W. C. (2017). Critical evaluation of postconsumption food waste composting employing thermophilic bacterial consortium. *Bioresource Technology*, 245, 665–672. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.014>
- Barberis, R., Nappi, P., (1996), Evaluation of Compost Stability. In: *The Science of Composting, Part 1*, de Bertoldi, M., Srequi, P., Lremmes, B., Papi, T. (Eds.). London. Chapman and Hall, p. 175-184.

- Bazrafshan, E., Zarei, A., Kord Mostafapour, F., Poormollae, N., Mahmoodi, S., & Zazouli, M. A. (2016). Maturity and Stability Evaluation of Composted Municipal Solid Wastes. *Health Scope*, 5(1). <https://doi.org/10.17795/jhealthscope-33202>
- Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M. A., & Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63(1), 91–99. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00084-9)
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2017). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, 248, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Chang, J. I., & Chen, Y. J. (2010). Effects of bulking agents on food waste composting. *Bioresource Technology*, 101(15), 5917–5924. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.042>
- Cheremisinoff, N. P., (2003). *Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies*, Oxford, UK.
- Cooperband, PhD, L. R. (2000). Composting: Art and Science of Organic Waste Conversion to a Valuable Soil Resource. *Laboratory Medicine*, 31 (JUNE), 283–290. <https://doi.org/10.1309/W286-LQF1-R2M2-1WNT>
- Davies, P., Border, D. and Urquhart, A. (2007). Feasibility of Composting Wood and Cardboard Waste with Green Garden or Household Kitchen Waste. Retrieved from [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Feasibility\\_of\\_Composting\\_Wood\\_and\\_Card\\_-\\_Trials\\_Research\\_Report.3947.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Feasibility_of_Composting_Wood_and_Card_-_Trials_Research_Report.3947.pdf)
- DEFRA. (2013). Incineration of Municipal Solid Waste, (February), 56. Retrieved from [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf)
- Diaz, L. F. and Savage, G. M., (2007). Factors that Affect the Process. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford (Eds.), *Compost Science and Technology*, Elsevier, Amsterdam, pp. 49-64.
- Diaz, L. F. and Bertoldi, M., (2007). History of Composting. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford (Eds.), *Compost Science and Technology*, Elsevier, Amsterdam, pp. 7-25.
- Ekinci, K., Keener, H. M., & Abolat, D. (2006). Effects of feedstock), airflow rate, and recirculation ratio on performance of composting systems with air recirculation. *Bioresource Technology*, 97(7), 922–932. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.025>
- El Fels, L., Zamama, M., El Asli, A., & Hafidi, M. (2014). Assessment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-lignocelulosic waste by chemical, FTIR

analyses, and phytotoxicity tests. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 87, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.09.024>

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

European Commission. (2006). Reference document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. *Integrated Pollution Prevention Control*, (August), 1–638. <https://doi.org/10.1002/0470012668.ch5>

FAO (Food and Agriculture Organization), (1990), *Energy conservation in the mechanical forest industries*, United Nations Food Agricultural Organization, Rome Italy.

Gajalakshmi, S., & Abbasi, S. A. (2008). Solid waste management by composting: State of the art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* (Vol. 38). <https://doi.org/10.1080/10643380701413633>

Gao M, Liang F, Yu A, Li B, Yang L. (2009), Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios, *Chemosphere* 78 614-619

Gea, T., Barrena, R., Artola, A., & Sánchez, A. (2004). Monitoring the biological activity of the composting process: Oxygen uptake rate (OUR), respirometric index (RI), and respiratory quotient (RQ). *Biotechnology and Bioengineering*, 88(4), 520–527. <https://doi.org/10.1002/bit.20281>

Giuliani, S., Zarra, T., Naddeo, V., & Belgiorno, V. (2013). A novel tool for control of odour emissions in wastewater treatment plant. *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science & Technology*, (September), 269.

Godley, A. R., Lewin, K., Graham, A., Barker, H., & Smith, R. (2004). Biodegradability determination of municipal waste: an evaluation of methods. *Proc. Waste 2004 Conf. Integrated Waste Management and Pollution Control: Policy and Practice, Research and Solutions*. Stratford-upon-Avon, UK, (September), 28–30.

Gómez, R. B., Lima, F. V., Bolasell, M. A. G., Gea, T., & Ferrer, A. S. (2005). Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process. *Bioresource Technology*, 96(10), 1153–1159. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.026>

Haeussler, S. and Kneeshaw, D., (2003). Comparing forest management to natural processes. in: Burtont et al. (Ed.), *Towards Sustainable Management of the Boreal Forest*, NRC Research Press, Ottawa, pp.307–368.

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



- Jolanun, B., & Towprayoon, S. (2010). Novel bulking agent from clay residue for food waste composting. *Bioresource Technology*, 101(12), 4484–90. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.116>
- Jones, P., & Martin, M. (2003). A Review of the Literature on the Occurrence and Survival of Pathogens of Animals and Humans in Green Compost. The Waste and Resources Action Programme. <https://doi.org/ISBN 1-84405-063-7>
- Kazamias, G., Roulia, M., Kapsimali, I., & Chassapis, K. (2017). Innovative biocatalytic production of soil substrate from green waste compost as a sustainable peat substitute. *Journal of Environmental Management*, 203, 670–678. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.076>
- Komilis, D., Kontou, I., & Ntougias, S. (2011). A modified static respiration assay and its relationship with an enzymatic test to assess compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, 102(10), 5863–5872. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.021>
- Komilis, D. P., & Tziouvaras, I. S. (2009). A statistical analysis to assess the maturity and stability of six composts. *Waste Management*, 29(5), 1504–1513. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.016>
- Lal, R. (2008). Crop residues as soil amendments and feedstock for bioethanol production. *Waste Management*, 28(4), 747–758. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.023>
- Lee, P., Sims, E., Bertham O., Symington, H., Bell, N., Pfaltzgraff, L., ... Benke, J. (2017). Towards a circular economy – Waste management in the EU. <https://doi.org/10.2861/978568>
- Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>
- Luis, I. B. E. De, & Palacios, J. M. G. (2009). European Union (EU) End of Waste Regulation: Requirements for Input Materials and Compost Quality for Sludge and other Biodegradable Wastes. *Journal of Residuals Science & Technology* (Vol. 6).
- Manu, M. K., Kumar, R., & Garg, A. (2017). Performance assessment of improved composting system for food waste with varying aeration and use of microbial inoculum. *Bioresource Technology*, 234, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.023>
- Metcalf, Eddy, 2006. Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, Τέταρτη Έκδοση. ed. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Mosher, D., Anderson, R.K., 1977. Composting sewage sludge by high-rate suction aeration techniques—the process as conducted at Bangor, ME, and some guidelines of general applicability. Interim Report Number SW-614d. US Government Printing Office, Washington, DC

- Niaounakis, M., & Halvadakis, C. P. (2004). Olive-mill Waste Management: Literature Review and Patent Survey. Typoshito - George Dardanos.
- Onwosi, C. O., Igbokwe, V. C., Odimba, J. N., Eke, I. E., Nwankwoala, M. O., Iroh, I. N., & Ezeogu, L. I. (2017). 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>
- Pathak A K, Singh M M, Kumara V, Arya S, Trivedi A K., 2012, Assessment of physico- chemical properties and microbial community during composting of municipal solid waste (Viz. Kitchen waste) at Jhansi City, U.P. (India), *Recent Res. Sci. Tech.* 4 10-14
- Renáta Talská, Jitka Machalová, Petr Smýkal. (2020). A comparison of seed germination coefficients using functional regression. *Applications in Plant Sciences (APPS)*, doi: [10.1002/aps3.11366](https://doi.org/10.1002/aps3.11366)
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2015). Farmer’s compost handbook. Experiences in Latin America. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3388e.pdf>
- Rushton, L., 2003. Health hazards and waste management. *British Medical Bulletin* 68, 183–197.
- Rynk, Robert. (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>
- Said-Pullicino, D., Erriquens, F. G., & Gigliotti, G. (2007). Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, 98(9), 1822–1831. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.018>
- Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.012>
- Saveyn H, Eder P. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost and digestate): Technical proposals . EUR 26425. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2013. JRC87124
- Saveyn, H., & Eder, P. (2014). End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. <https://doi.org/10.2791/6295>
- Scoton, E. J., Battistelle, R. A. G., Bezerra, B. S., & Akutsu, J. (2016). A sewage sludge cocomposting process using respirometric monitoring method in hermetic rotary reactor. *Journal of Cleaner Production*, 121, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.081>

- Skjølsvold T. M., Ryghaug M., Throndsen W., 2020. Energy Research & Social Science. European island imaginaries: Examining the actors, innovations, and renewable energy transitions of 8 islands.
- Storino, F., Arizmendiarieta, J. S., Irigoyen, I., Muro, J., & Aparicio-Tejo, P. M. (2016). Meat waste as feedstock) for home composting: Effects on the process and quality of compost. *Waste Management*, 56, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.004>
- Sundberg, C., Smårs, S., & Jönsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technology*, 95(2), 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.016>
- Thomsen, M. H. (2005). Complex media from processing of agricultural crops for microbial fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 68(5), 598–606. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0056-0>
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y., & Hodgkiss, I. J. (1996). Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. *Environmental Pollution*, 93(3), 249–256. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00080-1)
- Tognetti et al., 2007, Cocomposting biosolids and municipal organic waste: effects of process management on stabilization and quality, *Biology and Fertility of Soils* volume 43, pages387–397
- USDA & and CCREF, 2018, May 12, TMECC, Sample Collection and Laboratory Preparation, Retrieved from <https://compostingcouncil.org>
- USEPA, (n.d.). *Composting Yard and Municipal Solid Waste*, Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Waqas, M., Nizami, A. S., Aburizaiza, A. S., Barakat, M. A., Ismail, I. M. I., & Rashid, M. I. (2017). Optimization of food waste compost with the use of biochar. *Journal of Environmental Management*, 216, 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.015>
- Zhang, L., & Sun, X. (2016). Improving green waste composting by addition of sugarcane bagasse and exhausted grape marc. *Bioresource Technology*, 218, 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.097>
- Zorpas, A. A., Arapoglou, D., & Panagiotis, K. (2003). Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPS) for compost production. *Waste Management*, 23(1), 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00042-9)

## Ελληνική βιβλιογραφία

- Αντωνίου., Ε. 2018. Διπλωματική εργασία. Οικιακή Κομποστοποίηση: μία σύγχρονη πρακτική Αειφορικής Διαχείρισης Οργανικών Υπολειμμάτων στην Πηγή. Μελέτη Περίπτωσης: Ο ρόλος της Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας.
- Αλιφραγκής, Δ., & Παπαμίχος Ν., (2006). Περιγραφή-Δειγματοληψία, Εργαστηριακές Αναλύσεις Δασικών Εδαφών και Φυτικών Ιστών, Βοήθημα φοιτητών, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Μαλαμής, Δ.Κ. (2011) Σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργία βιοαντιδραστήρα για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων, Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κουλουμπής, Π. & Τσαντήλας, Χ., 2007. Εγχειρίδιο Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Ενδεδειγμένη Αξιοποίηση της Ιλύος των Αστικών Λυμάτων, Εκδόσεις Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, σελ.: 172, Πίν.: 26+11, Εικ.: 52, Αθήνα
- Eurostat, 2013, [Online] Διαθέσιμο στη: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics/el&oldid=139474](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/el&oldid=139474)
- ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2012) Νομοθεσία για τα απόβλητα. Διαθέσιμο στο: [http://www.ypek\)a.gr/Default.aspx?tabid=437&language=el-GR](http://www.ypek)a.gr/Default.aspx?tabid=437&language=el-GR).