



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΓΓΡΑΣΙΑ

«Παραμετρική εξέλιξη κομποστοποίησης πυρήνα
τριφασικού ελαιοτριβείου»



ΕΙΡΗΝΗ ΡΟΥΣΣΗ

Υπεύθυνος καθηγητής: Α.Βλυσίδης

ΑΘΗΝΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά για την ολοκλήρωση μια έρευνας είναι η οργάνωση στην συλλογή στοιχείων αλλά και στον τρόπο δουλειάς, η υπομονή, η διαρκής μελέτη και η ψυχολογική συμπαράσταση από αγαπημένα πρόσωπα.

Γι αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθύνό μου καθηγήτη κ. Α.Βλυσίδα που με εμπιστεύθηκε και μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα, και ο οποίος ήταν κοντά μου σε ότι τον χρειάστηκα καθόλη την διάρκεια της εργασίας με αφοσίωση για την υλοποίησή της τόσο στην πράξη όσο και στο απαιτητικό κομμάτι της ανάγνωσης και διόρθωσής της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη δεσποινίδα Χριστίνα Τσιόδρα για την αφιέρωση αρκετών ωρών από τον προσωπικό της χρόνο, στην υπόδειξη του τρόπου μεταφοράς των πειραματικών δεδομένων και των βιβλιογραφικών αναφορών, στο κείμενο μιας ερευνητικής εργασίας, η οποία ήταν τελικά αρκετά επικοινωνιακή για μένα.

Τέλος θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και σε κοντινά μου πρόσωπα που ήταν δίπλα μου κάθε φορά που χρειαζόμουν την στήριξη και την βοήθεια τους.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	σελ 5
Abstract.....	σελ 6
1.1 Ελαιοπαραγωγή.....	σελ 8
1.1.1 Ελαιόδεντρο.....	σελ 8-9
1.1.2 Ελιά και επεξεργασία.....	σελ 9-10
1.1.3 Παραγωγή ελαιολάδου.....	σελ 10-11
1.2 Ελαιοτριβεία.....	σελ 11-13
1.2.1 Τύποι ελαιοτριβείων.....	σελ13
1.2.1.1 Κλασικού τύπου.....	σελ 13-14
1.2.1.2 Δύο φάσεων.....	σελ 14-16
1.2.1.3 Τριών φάσεων.....	σελ 17-20
1.2.2 Κατανάλωση νερού στα ελαιοτριβεία.....	σελ 20
1.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φυγοκεντρικών ελαιοτριβείων.....	σελ 20-21
1.3 Απόβλητα ελαιοτριβείου-Διατύπωση προβλήματος.....	σελ 22
1.3.1 Παραγωγή παραπροϊόντων ελαιοτριβείων.....	σελ 22
1.3.1.1 Ο ελαιόκαρπος και η σύνθεσή του.....	σελ 22-23
1.3.1.2 Ο ελαιοπυρήνας.....	σελ 23-24
1.3.1.3 Ο κασίγαρος.....	σελ 24-25
1.3.2 Όγκος και σύσταση ΥΑΕ.....	σελ 25-26
1.3.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ΥΑΕ.....	σελ 26-29
1.3.4 Νομοθεσία.....	σελ 29-31
1.3.5 Υπάρχουσα κατάσταση στη Ελλάδα.....	σελ 31-32
1.3.6 Επιδράσεις ΥΑΕ σε έδαφος και νερό.....	σελ 32-33
1.3.7 Μέθοδοι επεξεργασίας ΥΑΕ.....	σελ 33-34
1.3.8 Σύσταση στερεών αποβλήτων.....	σελ 34-35
1.3.8.1Επαναχρησιμοποίηση στερεων αποβλήτων.....	σελ 35-36
1.4 Κομποστοποίηση-ιστορική ανασκόπηση.....	σελ 37
1.4.1 Ορισμός της κομποστοποίησης.....	σελ 38-39
1.4.2 Βασικές αρχές της κομποστοποίησης.....	σελ 39-40

1.4.3 Ορόλος των μικροοργανισμών	σελ 40-42
1.4.4 Ο ρόλος των περιβαλλοντικών παραμέτρων.....	σελ 42-43
1.4.4.1 Η αρχική σύσταση του οργανικού κλάσματος.....	σελ 43-44
1.4.4.2 Ο αερισμός της μάζας.....	σελ 44
1.4.4.3 Η θερμοκρασία.....	σελ 44-45
1.4.4.4 Η υγρασία.....	σελ 45
1.4.4.5 Ο λόγος C/N.....	σελ 45
1.4.4.6 Οι τιμές του pH.....	σελ 45-46
1.4.4.7 Θρεπτικά συστατικά.....	σελ 46
1.4.4.8 Φυτοτοξικότητα.....	σελ 46-47
1.4.4.9 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	σελ 47
1.4.5 Συστήματα κομποστοποίησης.....	σελ 47
1.4.5.1 Ανοιχτά συστήματα.....	σελ 47-49
1.4.5.2 Κλειστά συστήματα.....	σελ 49
1.4.6 Ελληνική Νομοθεσία.....	σελ 49-50
1.4.7 Προυποθέσεις για αποτελεσματική κομποστοποίηση.....	σελ 50-51
1.4.8 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα κομποστοποίησης.....	σελ 51-52
1.5 Το προϊόν της κομποστοποίησης-κόμποστ.....	σελ 53-55
1.5.1 Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ.....	σελ 56
1.5.2 Οφέλη του κόμποστ.....	σελ 56-57
2. Πειραματική ανάπτυξη.....	σελ 59
2.1 Πειραματική μεθοδολογία.....	σελ 59
2.2 Μέθοδοι ανάλυσης του προϊόντος.....	σελ 59-68
3. Αποτελέσματα.....	σελ 70
4. Επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	σελ 72-83
5. Συμπεράσματα –προτάσεις.....	σελ 85-86
6. Βιβλιογραφία.....	σελ 88-98

Περίληψη

Κατά την παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν μια σειρά αναλύσεων δειγμάτων από την διαλείπουσας διαδικασίας μιας κομποστοποίησης πυρήνα ενός τριφασικού ελαιοτριβείου με σκοπό τη παραμετροποίηση της εξέλιξης της συγκεκριμένης κομποστοποίησης καθώς και την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το προϊόν της κομποστοποίησης την κάθε χρονική στιγμή. Η κομποστοποίηση πραγματοποιούνταν με το σύστημα των ανοιχτών σειράδων, ήταν διαλείπουσας λειτουργίας με αρχική ποσότητα πυρήνα 500 tn. Η συλλογή δειγμάτων και ανάλυση αυτών διήρκεσαν 6 μήνες όσο δηλαδή ήταν η διάρκεια ολοκλήρωσης της κομποστοποίησης. Η δειγματοληψία γινόταν κάθε βδομάδα και σε κάθε δείγμα αναλύονταν οι παρακάτω παράμετροι: Το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC (electrical conductivity), η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη OM, (organic matter), ο οργανικός άνθρακας TOC (total organic carbon), το οργανικό άζωτο TKN (total kgendahl nitrogen), η ικανότητα συγκράτησης νερού WHC (water holding capacity), η ιοντοεναλλακτική ικανότητα CEC (cation exchange capacity), η συγκέντρωση χουμικών HA και φουλβικών FA οξέων και τέλος η φυτοθρεπτικότητα GI (germination index) των δειγμάτων. Επίσης σε κάθε δείγμα μετριόταν ο μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου r_{maxO_2} σε ένα καινοτόμο αναπνευσιόμετρο. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων απέδειξε ότι η χρονική εξέλιξη της κομποστοποίησης έχει μια πολύ καλή συσχέτιση με την μεταβολή του pH, WHC, του περιεχόμενου οργανικού άνθρακα και του μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου r_{maxO_2} . Επίσης αποδείχτηκε ότι οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC μπορούν να εκτιμηθούν αρκετά ικανοποιητικά από τις μετρήσεις του του μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου r_{maxO_2} και το αντίστροφο. Η διεργασία αυτή έδωσε ικανοποιητικές απαντήσεις ως προς την δυνατότητα εκτίμησης εξέλιξης της συγκεκριμένης κομποστοποίησης από αναλύσεις δειγμάτων.

Λέξεις κλειδιά: Κομποστοποίηση, πυρήνα τριφασικού ελαιοτριβείου, παραμετρική εξέλιξη κομποστοποίησης.

Abstract

In this thesis, a series of trials of the intermittency process of a three-phase olive mill pomace aimed at customization of the evolution of this compost as well as the correlation between the parameters that characterize the product of composting every time. The process of composting of pomace which took place by the method of the stacks, was intermittent operation with an initial amount of core 500 tn. Sampling and analysis of these lasted six months as that was the time for completion of composting. For the evolution of composting, samples were taken every week for six months which analyzed according to standard methods: The pH, Electrical Conductivity (EC), the Content of Organic Matter (OM), Total Organic Carbon (TOC), the Organic Nitrogen (TKN), the Water Holding Capacity (WHC), the Ion Exchange Capacity (CEC), the concentration of Humic and Fulvic (HA FA) acids and finally Germination Index (GI). Also each sample was measured at the maximum absorption rate of oxygen in a novel respirometer. The analysis of the results showed that the evolution of the composting has a very good correlation with the change of pH, WHC, the Organic Carbon TOC content and the maximum oxygen absorption rate r_{maxO_2} . However it demonstrated that the measurement of the Electrical Conductivity (EC) can be estimated fairly well from measurements r_{maxO_2} and reversely. This work gave satisfactory answers regarding the estimation of evolution of this compost by analyzes of samples.

Key-words: Composting, 3phase olive mill pomace, parametric composting process.

Κεφάλαιο 1ο

ΘΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

*Ελαιοπαραγωγή-επεξεργασία
αποβλήτων-κομποστοποίηση*

1.1. Ελαιοπαραγωγή

Εισαγωγή

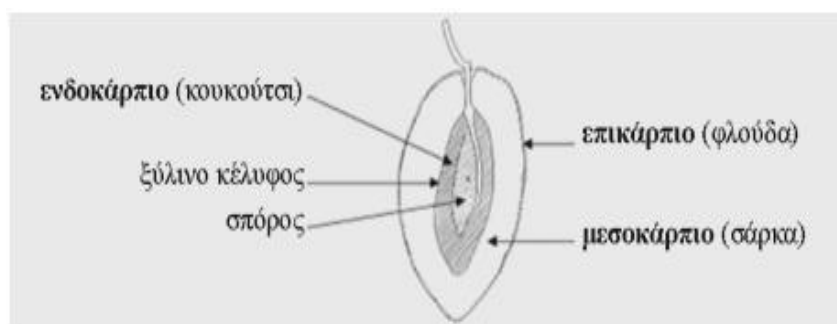
Ο άνθρωπος όπως και κάθε ζωντανός οργανισμός σε αυτό τον πλανήτη έχει την ανάγκη να τρέφεται συνεχώς προκειμένου να διατηρηθεί στη ζωή, να συνθέσει πρωτόπλασμα, λίγο ή πολύ ανάλογα με την ηλικία του και να επιτελέσει το σύνολο των φυσιολογικών λειτουργιών. Είναι συνεπώς φανερό ότι η διατροφή του ανθρώπου είναι περισσότερο ανελαστική ανάγκη σε σύγκριση με όλες τις άλλες, όπως την στέγαση, την ένδυση και την υπόδηση. Οι διατροφικές ανάγκες του ανθρώπου ικανοποιούνται με τρόφιμα τα οποία διαχωρίζονται σε πρωτεϊνούχα, ζαχαρούχα καθώς επίσης και λιπαρά ανάλογα την περιεκτικότητά τους σε θρεπτική υλη.

Στην τελευταία κατηγορία κατατάσσονται οι επιτραπέζιες ελιές, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε λιπαρές ουσίες 20 – 30 % κατά βάρος της σάρκας τους. Η ιστορία της επιτραπέζιας ελιάς έχει βαθιές ρίζες ξεκινώντας στις περιοχές της Μεσογείου. Η υψηλή θρεπτική της αξία σε συνδυασμό με την τα πλούσια γευστικά και αρωματικά της συστατικά της καθιστούν όλα αυτά τα χρόνια κύρια τροφή των λαών.

1.1.1. Ελαιόδεντρο

Η καταγωγή του ελαιόδεντρου χάνεται στα βάθη του χρόνου, στους θρύλους και στις παραδόσεις των λαών γύρω από την Μεσόγειο. Οι πρώτες καλλιέργειες ελαιόδεντρου χρονολογούνται από το 6000 Π.Χ. στην περιοχή της Συρίας. Το 11^ο αιώνα Π.Χ η καλλιέργεια του ελαιόδεντρου διαδόθηκε σε όλη την λεκάνη της Μεσογείου, ενώ εισήχθη στην Ισπανία κατά την διάρκεια της περιόδου της θαλάσσιας κυριαρχίας των Φοινίκων (1050 Π.Χ). Με την ανακάλυψη της Αμερικής (1492 Μ.Χ), η καλλιέργεια του ελαιόδεντρου διαδόθηκε και πέρα από την Μεσόγειο. [6, 52]

Το ελαιόδεντρο (*Olea europaea* L) είναι ένα πολύμορφο, αειθαλές μέσου μεγέθους δένδρο, με μικρά, λογχοειδή, πράσινα φύλλα με ομαλές άκρες και έναν μικρό μίσχο που ευδοκιμεί στα μεσογειακά κλίματα με θερμά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Ο καρπός της ελιάς είναι σαρκώδης δρύπτης και αποτελείται από περικάρπιο και ενδοκάρπιο (εικόνα 1).



Εικόνα 1. Σχηματική απεικόνιση ελαιοκάρπου.

Το περικάρπιο αποτελείται από το επικάρπιο και το μεσοκάρπιο και αντιστοιχεί στο 70-80% του συνολικού βάρους του καρπού. Το ενδοκάρπιο αντιστοιχεί στο 18-22% του συνολικού βάρους του καρπού και περιέχει το ενδοσπέρμιο. Η μέση χημική σύσταση του ελαιοκάρπου είναι 50% νερό, 22% λάδι, 19% υδατάνθρακες και 1,6% πρωτεΐνες. Επίσης περιέχονται και άλλα συστατικά όπως πηκτίνες, οργανικά οξέα, χρωστικές, πολυφαινόλες και ανόργανα συστατικά.

Η ανθοφορία πραγματοποιείται την άνοιξη, ενώ η ωρίμανση του καρπού ποικίλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την ηλικία του δένδρου, την ποικιλία και τη διαθεσιμότητα σε νερό και φως, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η θερμοκρασία. Το βάρος του καρπού αυξάνεται κατά την περίοδο Οκτώβρη- Νοέμβρη, όπου αρχίζει να χάνεται η υγρασία του και η ελαιοπεριεκτικότητά του. Το 96-98% του λαδιού, συγκεντρώνεται στο περικάρπιο. Η συσσώρευση του ελαίου ξεκινάει στα τέλη Ιουλίου και μεγιστοποιείται κατά την διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα. Το ελαιόδεντρο εναλλάσσει την παραγωγή των καρπών του, με κύρια χαρακτηριστικά τη μακροζωία και τη διατήρηση της παραγωγικότητάς του για πολλά χρόνια. [100]

1.1.2. Ελιά και η επεξεργασία της

Η απόδοση της ελιάς βασίζεται σε έναν διετή κύκλο και ολοκληρώνεται με την παραγωγή καρπών. Η μέγιστη παραγωγή ελαιολάδου συνήθως πραγματοποιείται κάθε δύο χρόνια και οφείλεται κυρίως σε βιολογικούς παράγοντες, ενώ δευτερεύοντα ρόλο παίζουν οι κλιματικές συνθήκες κυρίως στις μεσογειακές χώρες. [54]

Η Μεσόγειος λόγω των ευνοϊκών συνθηκών «φιλοξενεί» πολλές ποικιλίες της ελιάς, παράγοντας το 95% και καταναλώνοντας το 87% των ελαιολάδων του κόσμου. Συγκεκριμένα, οι μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παράγουν και καταναλώνουν το 70% των ελαιολάδων παγκοσμίως. Οι κυριότερες περιοχές παραγωγής ελαιολάδου στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η Ισπανία (2,4 εκατομμύρια εκτάρια), ακολουθούμενη από την Ιταλία (1,4 εκατομμύρια εκτάρια), την Ελλάδα (1 εκατομμύριο εκτάρια) και την Πορτογαλία (0,5 εκατομμύριο εκτάρια). [112] Η Γαλλία αποτελεί μια πολύ μικρότερη ελαιοπαραγωγός χώρα, με 40.000 εκτάρια. Ωστόσο, οι στατιστικές για την ελαιοπαραγωγή ποικίλλουν σημαντικά, ανάλογα με την πηγή και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα τα δεδομένα από τις κύριες χώρες παραγωγής να είναι συχνά αντιφατικά. Στον Πίνακα 1 απεικονίζονται τα στοιχεία σχετικά με την έκταση των ελαιώνων και τον αριθμό των παραγωγών. Η έρευνα αυτή δείχνει μια σημαντικά μεγαλύτερη ελαιοκομική έκταση και αριθμό παραγωγών στα τέσσερα κυριότερα κράτη μέλη παραγωγής σε σχέση με τις προηγούμενες στατιστικές έρευνες. [2,39,]

Τα κυριότερα συστήματα καλλιέργειας της ελιάς που χρησιμοποιούνται λιγότερο ή περισσότερο σήμερα, είναι τα εξής:

- Παραδοσιακοί ελαιώνες
- Εντατικοί παραδοσιακοί ελαιώνες

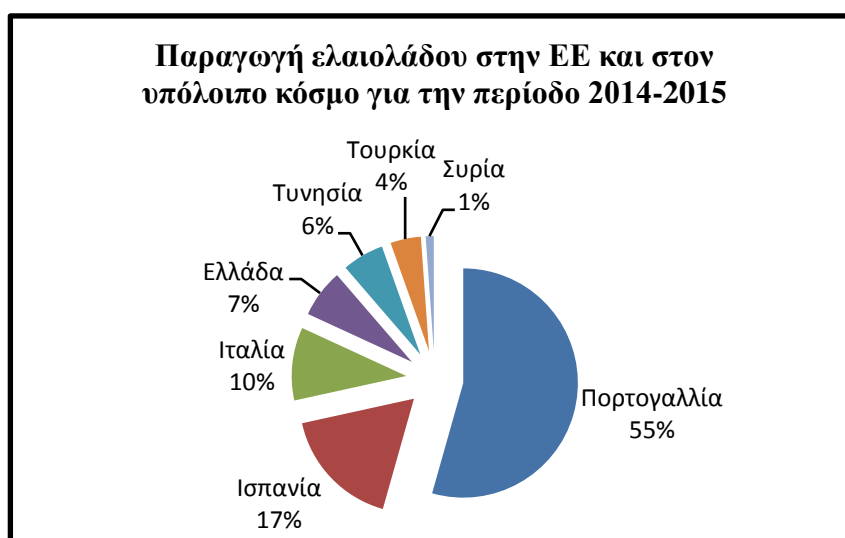
- ο Σύγχρονοι εντατικοί ελαιώνες ή ελαιώνες πυκνής φύτευσης
- ο Σύστημα υπερπυκνής φύτευσης ή υπερεντατικών ελαιώνων

Μετά τη συγκομιδή της ελιάς η κυριότερη επεξεργασία η οποία λαμβάνει χώρα είναι η παραγωγή ελαιόλαδου.Υπάρχουν περίπου 25.000 ελαιοτριβεία σε όλο τον κόσμο. Ένα μικρό ποσοστό ελαίων υπόκειται ειδική επεξεργασία για την παραγωγή βρώσιμων ελαίων. [115]

1.1.3 Παραγωγή ελαιολάδου.

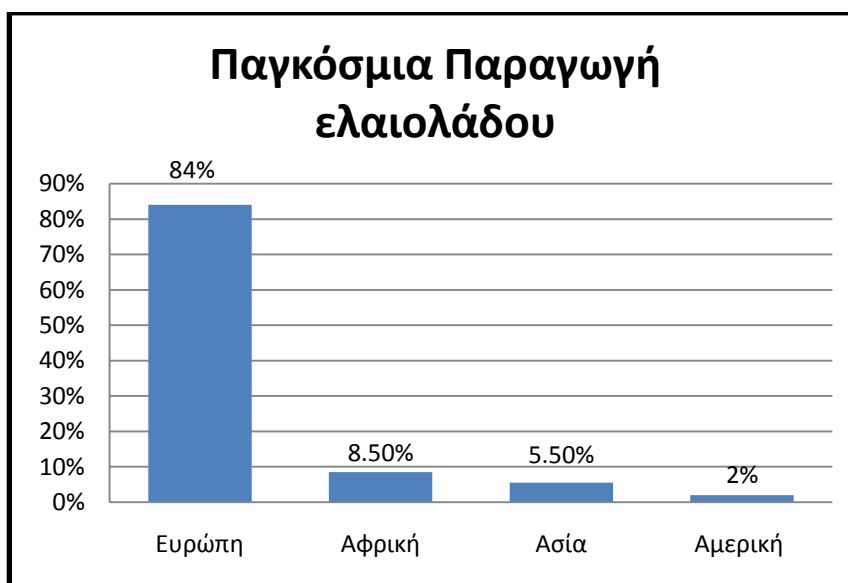
Η ελιά και το ελαιόλαδο αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της πολιτιστικής κληρονομιάς των μεσογειακών πολιτισμών και ιδιαίτερα του Ελληνικού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ελαιολάδου αποτελεί ένα σημαντικό τομέα της γεωργίας, ειδικότερα για της χώρες της Μεσογείου, οι οποίες παράγουν το 95% της παγκόσμιας παραγωγής. Ειδικότερα για τον Ελληνικό χώρο, υπολογίζεται ότι υπάρχουν πάνω από 7.350.000 στρέμματα ελαιώνων, τα οποία καλύπτονται με πάνω από 117.000.000 δέντρα, προς παραγωγή ελαιολάδου. [96,115]

Η Ισπανία μέχρι και το έτος 2012-2013 κατείχε την πρώτη θέση στην παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου. Λόγω του ότι από τον Σεπτέμβριο του 2013 μέχρι το Μάιο του 2014 έζησε την χειρότερη ξηρασία του αιώνα, τα δέντρα δεν έφτασαν τις προσδοκίες των παραγωγών της χώρας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η Πορτογαλία να κατέχει την πρώτη θέση με παραγωγή 2.400.000 τόνους. Στην δεύτερη θέση έρχεται η Ισπανία με 758.168 τόνους που είναι σχεδόν κατά 50% μειωμένη από περασμένες χρονιές. Ενώ τρίτη η Ιταλία με 455.000 τόνους και ακολουθεί η Ελλάδα με παραγωγή 300.000 τόνους. Άλλες χώρες που παράγουν σημαντικά ποσά ελαιόλαδου είναι η Συρία, η Τουρκία, η Τυνησία η Λιβύη, το Μαρόκο, η Αργεντινή, οι ΗΠΑ κ.ά.[98,124]



Γράφημα 1. Παραγωγή ελαιολάδου στην Ε.Ε. και τον υπόλοιπο κόσμο για το έτος 2014-2015.

Στο παρακάτω γράφημα, προβάλλονται τα ποσοστά παραγωγής ελαιολάδου ανά τον κόσμο και παρατηρούμε ότι η Ευρώπη κατέχει την πρώτη θέση με αρκετά μεγάλη διαφορά περίπου 80% από την Αφρική. [50, 71]



Γράφημα 2. Παγκόσμια παραγωγή ελαιολάδου για το έτος 2014-2015

Η διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου περιλαμβάνει διάφορα στάδια, όπως αποφύλλωση, πλύσιμο και άλεση του ελαιοκάρπου, μάλαξη της ελαιόπαστας και εξαγωγή του ελαιόλαδου από την ελαιόπαστα. [16,34,63,]

1.2. Ελαιοτριβεία

Τα ελαιοτριβεία αποτελούν γεωργικές-βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες διαχωρίζονται ανάλογα το μέσο οικονομικό δυναμικό σε: συνεταιριστικές (13%) ή ιδιωτικές (87%), εποχιακής λειτουργίας (από τέλη Οκτωβρίου ως αρχές Μαρτίου). Επεξεργάζονται τον ελαιοκάρπο για την παραλαβή ελαιολάδου, παράγοντας περίπου 1,300,000 τόνους υγρών αποβλήτων. Στην Ελλάδα λειτουργούν περίπου 2,800 ελαιοτριβεία που καλύπτουν ένα άγνωστο αριθμό ελαιοπαραγωγών. Επομένως από την παραγωγή του ελαιολάδου προκύπτει 1,300,000 τόνους υγρών αποβλήτων.

Τα ελαιοτριβεία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: κλασσικού και φυγοκεντρικού τύπου, τα οποία αποτελούν το 30% και το 70% αντίστοιχα περίπου του συνόλου των ελαιοτριβείων της χώρας μας. Τα κλασσικού τύπου αναλόγως με τον μηχανολογικό εξοπλισμό τους διακρίνονται περαιτέρω σε διάφορους τύπους, (αριθμό και τύπο πιεστηρίων, γιόλωνκ.λ.π.). τα φυγοκεντρικού τύπου διαφοροποιούνται ανάλογα με το τύπο και τη δυναμικότητα των οριζόντιων φυγοκεντρικών διαχωριστών, που διαθέτουν.

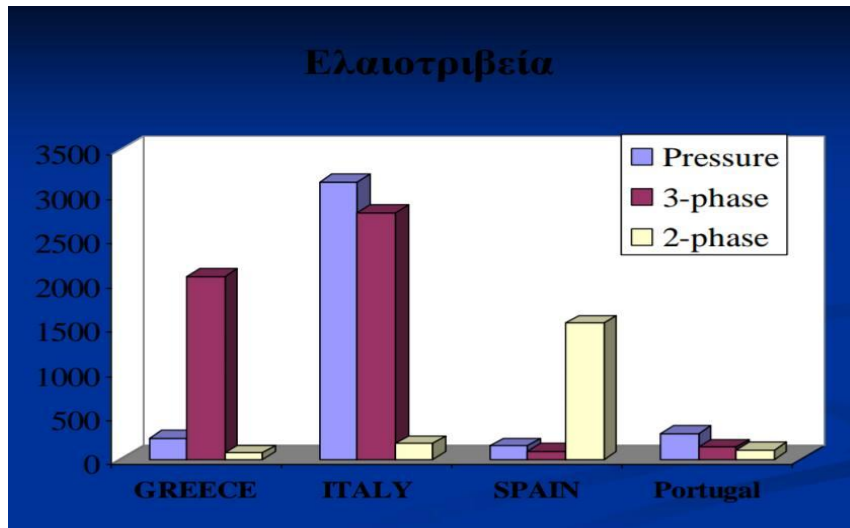
Τα ελαιοτριβεία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: κλασσικού και φυγοκεντρικού τύπου, τα οποία αποτελούν το 30% και το 70% αντίστοιχα περίπου του συνόλου των ελαιοτριβείων της χώρας μας. Τα κλασσικού τύπου αναλόγως με τον μηχανολογικό εξοπλισμό τους διακρίνονται περαιτέρω σε διάφορους τύπους, (αριθμό και τύπο πιεστηρίων, γιόλωνκ.λ.π.). τα φυγοκεντρικού τύπου διαφοροποιούνται ανάλογα με το τύπο και τη δυναμικότητα των οριζόντιων φυγοκεντρικών διαχωριστών, που διαθέτουν.

Η παραγωγική ικανότητα των ελαιοτριβείων εξαρτάται, για τα μεν κλασσικού τύπου από τον αριθμό των πιεστηρίων, για τα δε φυγοκεντρικού από την απόδοση των οριζοντίων φυγοκεντρικών διαχωριστών. Τα ελαιοτριβεία, που λειτουργούν στην Ελλάδα μπορούν με βάση τη δυναμικότητά τους, να διακριθούν σε μικρής (500 – 1.000 kg/h επεξεργασμένου ελαιοκάρπου), μεσαίας (1.000 – 1.250 kg/h) και μεγάλης (1.250 – 2.000 kg/h) απόδοσης.

Ο συνολικός όγκος των υγρών αποβλήτων – που προκύπτει από την επεξεργασία του ελαιοκάρπου – και στους δύο τύπους ελαιοτριβείων, είναι αποτέλεσμα των νερών πλύσης του ελαιοκάρπου και των μηχανημάτων του ελαιουργικού συγκροτήματος, καθώς επίσης από τους φυσικούς χυμούς και νερό αραίωσης, που προκύπτουν κατά το στάδιο διαχωρισμού του ελαιοπυρήνα και της τελικής φυγοκέντρωσης. Η ποσότητα αυτή επηρεάζεται από την ποικιλία και την ποιότητα του ελαιοκάρπου, αλλά κυρίως καθορίζεται από την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις επεξεργασίας και η οποία εξαρτάται τόσο από τον βαθμό ωρίμανσης και την μέθοδο συλλογής, όσο και από τον τρόπο λειτουργίας και τον τύπο του ελαιοτριβείου. [106]

Η χρησιμοποίηση της φυγόκεντρης δύναμης, αντί της πίεσης, για τον διαχωρισμό του ελαιολάδου από την ελαιοζύμη, υπήρξε διαρκής πρόκληση για τους ειδικούς της ελαιοτεχνίας. Η προσπάθεια αυτή ξεκίνησε στο τέλος του 19ου αιώνα και αφού πέρασε από διάφορα εξελικτικά στάδια κατέληξε στην κατασκευή του φυγοκεντρικού διαχωριστή με οριζόντιο άξονα (decanter) κατά την διάρκεια της δεκαετίας 1960 – 1970.

Σήμερα χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικές μέθοδοι παραγωγής ελαιόλαδου. Αυτά τα συστήματα είναι παρόμοια σε ότι αφορά την παραγωγή λαδιού αλλά διαφέρουν σημαντικά ως προς την ποσότητα και τη σύνθεση των διαφόρων υποπροϊόντων. Παρακάτω παρουσιάζονται σε διαγραμματική απεικόνιση η συνολική χρήση του κάθε τύπου ελαιοτριβείου στις χώρες όπως είναι η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ισπανία και η Πορτογαλία. [18,84,]



Γράφημα 3. Ποσοστά των τριών ειδών ελαιοτριβείου που χρησιμοποιούνται σε χώρες της Ευρώπης

1.2.1 Τύποι ελαιοτριβείων

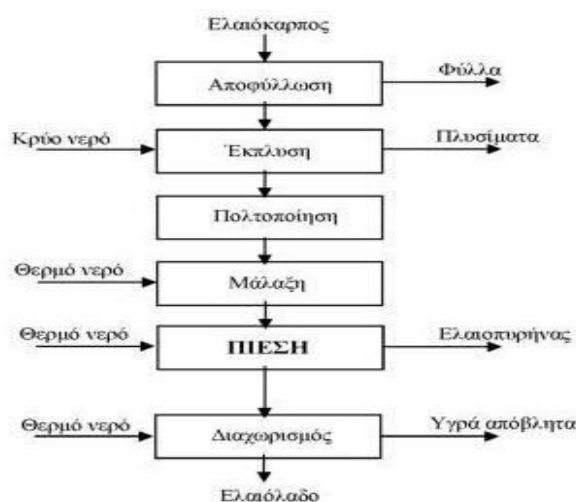
1.2.1.1. Κλασικού τύπου ελαιοτριβεία με συμπίεση της ελαιοζύμης σε υδραυλικά πιεστήρια.

Η λειτουργία των υδραυλικών πιεστηρίων βασίζεται στην “υδροστατική” αρχή του Pascal. Ο άγγλος μηχανικός Joseph Braham επινόησε το υδραυλικό πιεστήριο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1820 ενώ στην Ελλάδα εφαρμόστηκε το 1865.

Ειδικός δοσομετρητής τοποθετεί τον ελαιοπολτό σε ελαιοδιαφράγματα που με την σειρά τους τοποθετούνται σε κινητές λεκάνες που έρχονται στην κατάλληλη υποδοχή του πιεστηρίου. Ο ελαιοπολτός εκτίθεται σε πιέσεις που φθάνουν σταδιακά τα $300-500 \text{ kg/cm}^2$, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ελαιοκάρπου όπως η ωριμότητα ή ο τύπος του.

Με την μέθοδο της συμπίεσης, ο ελαιοπολτός πιέζεται διαδοχικά σε δύο πιεστήρια. Το πρώτο χρησιμοποιεί περίπου τη μισή πίεση σε σχέση με το δεύτερο. Τέτοιου είδους πιεστήρια είναι δυνατόν να επεξεργαστούν μέχρι και 500 kgελαιοπολτού ανά πίεση. Με την συμπίεση του ελαιοπολτού, διαχωρίζεται η υγρή φάση, (το λάδι τα φυτικά υγρά και τα νερά της έκπλυσης), από την στερεά φάση (κομμάτια από την σάρκα, το φλοιό, το ξυλώδες τμήμα και το ενδοσπέρμιο). Μετά την πίεση, ο ελαιοπολτός απομακρύνεται και τα ελαιοδιαφράγματα γεμίζουν με την επόμενη παρτίδα.

Γενικά, η διεργασία της πίεσης συνδέεται με ελαιόλαδο υψηλής ποιότητας λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας η οποία χρησιμοποιείται για την εξαγωγή. Εντούτοις, το ελαιόλαδο που προκύπτει εξαρτάται πολύ από τις συνθήκες υγιεινής κατά την διάρκεια της διεργασίας. Η διεργασία αυτή θεωρείται δαπανηρή λόγω ανάγκης χειρωνακτικής εργασίας και υλικών για τους ελαιοδιαχωριστήρες. [106]



Διάγραμμα 1. Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιουργείο με υδραυλικό πιεστήριο (κλασικού τύπου).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν τα ελαιοτριβεία με υδραυλικό πιεστήριο (κλασικού τύπου):

Πλεονεκτήματα

- Έχουν ένα αρκετά μικρό κόστος αγοράς
- Το ποσοστό της υγρασίας στον ελαιοπυρήνα είναι μικρός. Μικρότερο ποσοστό υγρασίας στον ελαιοπυρήνα
- Κόστος αντικατάστασης ελαιοσφυρίδων
- Αυτού του τύπου τα ελαιοτριβεία είναι κατασκευασμένα από σίδηρο
- Επιτυγχάνουν την παραγωγή ποιοτικού ελαιολάδου

Μειονεκτήματα

- Απαιτείται αρκετά μεγάλο κόστος εργατικών
- Γίνεται χρήση ελαιοσφυρίδων
- Και τέλος η απόδοση σε ελαιόλαδο είναι αρκετά μικρή.

Τα προϊόντα και τα παραπροϊόντα ενός ελαιοτριβείου με υδραυλικό πιεστήριο είναι το ελαιόλαδο, ο πυρήνας και τα υγρά απόβλητα. Κατά μέσο όρο η επεξεργασία **1000 kg ελαιοκάρπου** αποδίδει **200 kg λαδιού, 400 kg ελαιοπυρήνας**, με ποσοστό υγρασίας 35%, και **400 kg υγρά απόβλητα**. [106]

1.2.1.2 Ελαιοτριβείο με φυγοκέντρωση σε φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες δύο φάσεων.

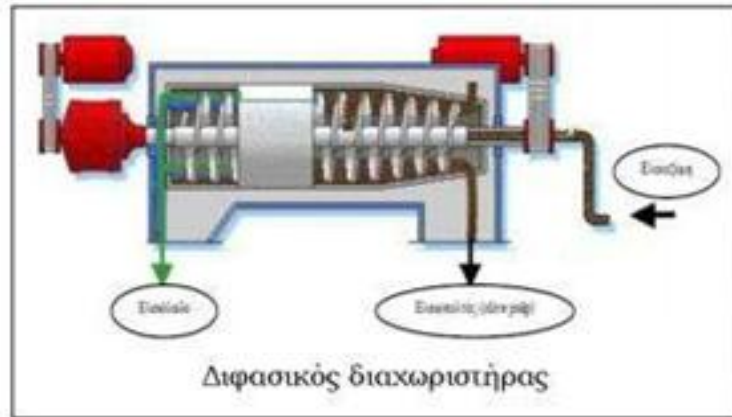
Στις μεσογειακές χώρες οι πιο κοινές μέθοδοι παραγωγής ελαιολάδου είναι ελαιοτριβεία φυγοκέντρωσης ΙΙΙ-φάσης ή φυγοκέντρωσης ΙΙ-φάσης. Η πρώτη είναι η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και παράγει δύο υποπροϊόντα, τον ελαιοπυρήνα ή φλοιό (στερεό υπόλειμμα αποβλήτων λαδιού, OSWR) και ένα σκούρο κοκκινόμαυρο χρώμα υγρό απόβλητο(OMWW) η απευθείας διάθεση των οποίων δημιουργεί μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η ποσότητα των λυμάτων ελαιοτριβείων θα μπορούσε να επιτύχει περίπου 8 m³ / tn του ελαιολάδου που παράγεται με βάση την μεγάλη ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται σε διάφορα στάδια της παραγωγής της ελιάς.

Η φυγοκεντρική διεργασία δύο φάσεων, χρησιμοποιεί νερά μόνο κατά το πλύσιμο και όχι στη καθατή διεργασία, όπως συμβαίνει με τη φυγοκέντρωση τριών φάσεων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο διαχωρισμός να παράγει δύο φάσεις: την υγρή, δηλαδή το ελαιόλαδο, και την ημιστερεή, τον υγρό ελαιοπυρήνα που είναι πολύ πιο υγρός σε σχέση με εκείνον που παράγεται μέσω της διεργασίας τριών φάσεων. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσέλυσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε περιοχές όπου η προμήθεια νερού είναι περιορισμένη και η ποσότητα των υδατικών αποβλήτων πρέπει να είναι μειωμένη.

Τα κύρια προϊόντα από ελαιοτριβείο δύο φάσεων είναι ο υγρός πυρήνας και το ελαιόλαδο. Κατά μέσο όρο η επεξεργασία **1000 kg ελαιοκάρπου** αποδίδει **200 kg λαδιού**, και ανάλογα με την περίπτωση και τη μέθοδο διαχωρισμού έχουμε **800 kg υγρού ελαιοπυρήνα**, με ποσοστό υγρασίας μεγαλύτερο του 60%. [43]



Διάγραμμα 2. Σχηματικά απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιοτριβείο φυγοκεντρικού τύπου δύο φάσεων.



Εικόνα 2. Σχηματικό διάγραμμα που περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθείται σε ένα φυγοκεντρικού τύπου ελαιουργείο δύο φάσεων.



Εικόνα 3. Ελαιοτριβείο δύο φάσεων στην Μεσσηνία

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται σγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα των ελαιοτριβείων 2 φάσεων. [23,50]

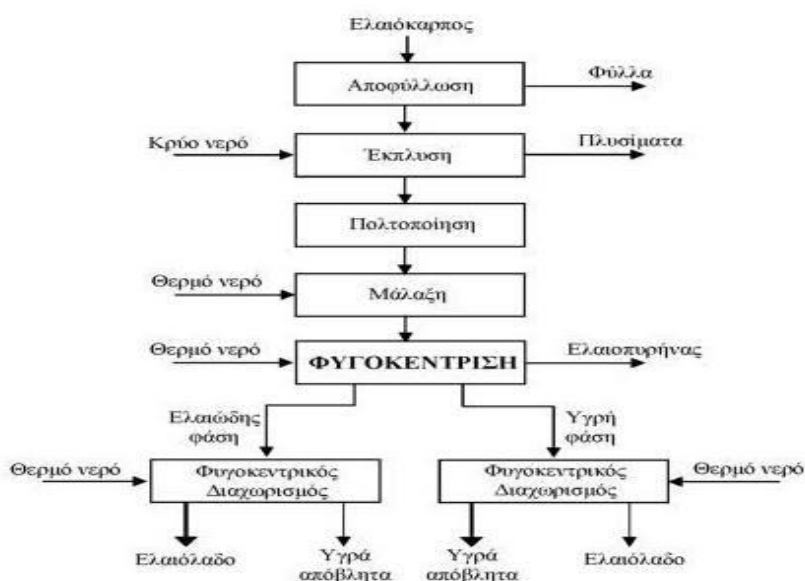
Πίνακας 1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διφασικών ελαιοτριβείων.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Μικτότερη ποσότητα ΥΑΕ	Ο ελαιοπυρήνας 2-φάσεων έχει υψηλή υγρασία 55-60%
Καλύτερη ποιότητα παρθενικού ελαιολάδου σε σχέση με το ελαιόλαδο 3-φάσεων λόγω υψηλής περιεκτικότητας πολυφαινολών και αντιοξειδωτικών	Μεγάλη δαπάνη για εγκαταστάσεις κατάλληλων ξηραντήρων προκειμένου να έχουμε μείωση της υγρασίας του ελαιοπυρήνα από 60% στο 11%
Παραγωγή ποιοτικού ελαιολάδου	

1.2.1.3 Ελαιοτριβείο με φυγοκέντρωση σε φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες τριών φάσεων.

Η κλασική μέθοδο των υδραυλικών πιεστηρίων έχει αντικατασταθεί από την σύγχρονη μέθοδο διαχωρισμού ελαιολάδου, η οποία βασίζεται στη φυγόκεντρο δύναμη επιτυγχάνοντας ικανοποιητικό διαχωρισμό του ελαιοπολτού και παραλαβή του ελαιολάδου, λόγω της διαφοράς στο ειδικό βάρος τους.

Τα κύρια προϊόντα σε ένα ελαιοτριβείο τριών φάσεων είναι το λάδι και ο ελαιόκαρπος, ενώ τα παραπροϊόντα που προκύπτουν είναι ο ελαιοπυρήνας, τα φύλλα, ο κασίγαρος και τα φυτικά υγρά. Κατά μέσο όρο η επεξεργασία **1000 kg ελαιοκάρπου** αποδίδει **200 kg λαδιού**. Στην περίπτωση των τριφασικών ελαιοτριβείων έχουμε σαν παραπροϊόντα **500 kg ελαιοπυρήνας**, περιεκτικότητα σε υγρασία 46-54%, και **600 kg κασίγαρος** (περίπου 1,0 - 1,6 m³ ανά τόνο ελιάς). Λόγω του νερού που προστίθεται σε διάφορα στάδια κατά την παραγωγή του ελαιολάδου το ελαιοτριβείο III-φάσεων ονομάστηκε «Οικολογικό» σύστημα εξαγωγής ελαιολάδου. [10,45]



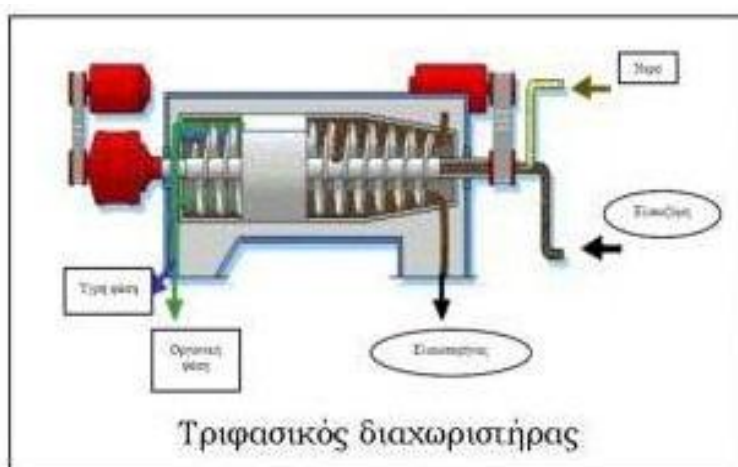
Διάγραμμα 3: Σχηματική απόδοση των σταδίων επεξεργασίας σε ελαιοτριβείο φυγοκεντρικού τύπου τριών φάσεων.

Τα βασικά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα του ελαιουργικού συγκροτήματος συνεχούς αποδόσεως (με οριζόντιο φυγοκεντρικό διαχωριστήρα) είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τριφασικών ελαιοτριβείων

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Κατά 60% μικρότερες εγκαταστάσεις από ότι το υδραυλικό πιεστήριο.	Αύξηση ΥΑΕ λόγω της αύξησης χρήσης νερού (1,75 φορές πεισσότερο).
Μικρότερες απαιτήσεις σε εργατικά χέρια.	Απώλεια πολύτιμων συστατικών όπως φυσικά αντιοξειδωτικά στην υδατική φάση.
Εξασφάλιση αυτοματισμού σε όλη την επεξεργασία του ελαιοκάρπου.	Υπέρμετρη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
Διαχωρισμός του λαδίου που είναι ίδιας ποιότητας με το λάδι των υδραυλικών πιεστηρίων.	Ο διαχωρισμός ελαιοπυρήνα με 45-50% υγρασία αντί του 25% που περιέχεται στον ελαιοπυρήνη των υδραυλικών πιεστηρίων. Για την απομάκρυνση της πρόσθετης υγρασίας θα πρέπει να αναλωθεί ενέργεια, γεγονός που αυξάνει το κόστος επεξεργασίας του ελαιοκάρπου.
	Η μεγαλύτερη επένδυση κεφαλαίων για την αγορά και την εγκατάστασή του, σε σύγκριση με το υδραυλικό πιεστήριο.

Υπήρξε κοινή πρακτική η ανακύκλωση του αποκτώμενου και ανεπεξεργαστου υγρού αποβλήτου στη διεργασία της εξαγωγής ελαιολάδου. Το συγκεκριμένο υγρό απόβλητο, που περιέχει τα νερά κατεργασίας καθώς και τα νερά που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορα στάδια της διεργασίας, μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση των απαιτήσεων για φρέσκο νερό. Ωστόσο, λόγω της όξινης φύσης του, επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του παραγόμενου ελαιολάδου και σχεδόν δε χρησιμοποιείται πλέον. [6, 33,49,70]



Εικόνα 4: Σχηματικό διάγραμμα που περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθείται σε ένα φυγοκεντρικού τύπου ελαιουργείο τριών φάσεων.



Εικόνα 5. Το εσωτερικό ενός ελαιοτριβείου φυγοκεντρικού τύπου τριών φάσεων στη Λέσβο

Ο πίνακας που ακολουθεί, παρουσιάζει τις βασικότερες διαφορές μεταξύ των τριών διαδικασιών σε ότι αφορά την ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων.

Πίνακας 3. Διαφορές μεταξύ των ελαιοτριβείων στις παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων

Χαρακτηριστικά	Είσοδος	Ποσότητα στην είσοδο	Έξοδος	Ποσότητα στην έξοδο
Παραδοσιακό σύστημα	Ελαιόκαρπος	1t	Ελαιόλαδο	200 kg
			Στερεά απόβλητα (OH)	400 kg
	Νερό πλύσης	0,1-0,12 m ³	Υγρά απόβλητα (OMWW)	400-600kg
	Ελαιόκαρπος	1t	Ελαιόλαδο	200 kg
3- φασικό σύστημα	Νερό πλύσης	0.1-0.12 m ³	Στερεά απόβλητα(OH)	500-600 kg
	Νερό από Decanter	0.5-1 m ³	Υγρά απόβλητα(OMWW)	1000-1200 kg
			ελαιόλαδο	200 kg
Ελαιόλαδο	1t	Στερεά απόβλητα (OH)	400 kg	
2- φασικό σύστημα	Νερό πλύσης	0.1-0.12 m ³	Υγρά απόβλητα (OMWW)	85-110 kg

Η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή ελαιόκαρπου και ελαιόλαδου συμβαδίζει με παράλληλη αύξηση του όγκου των αποβλήτων και των παραπροϊόντων προκαλώντας σημαντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι ποσότητες καθώς επίσης και η σύνθεση των αποβλήτων είναι δύσκολο να υπολογιστούν με ακρίβεια σε ένα ελαιοτριβείο , διότι ποικίλλουν αρκετά από περιοχή σε περιοχή και επηρεάζονται από τους ακόλουθους παράγοντες: **[41,48,56]**

- ✚ Την ποικιλία προέλευσης του ελαιόκαρπου και τον χρόνο αποθήκευσης πριν την ελαιοποίηση.
- ✚ Το χρόνο διαχωρισμού του ελαιόλαδου από την ελαιοζύμη
- ✚ Το διαθέσιμο νερό στο ελαιοτριβείο, καθώς και το κόστος προμήθειάς του
- ✚ Το είδος της επεξεργασίας που χρησιμοποιείται στα εκάστοτε ελαιοτριβεία

- ✦ Τον χρόνο συγκομιδής και το στάδιο ωριμότητας
- ✦ Το κλίμα και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή
- ✦ Τη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων

Ένα μεσαίου μεγέθους ελαιοτριβείο, έχει δυναμικότητα περίπου 10 – 20 τόνους ελαιόκαρπου/ημέρα και η παραγωγή των υγρών αποβλήτων υπολογίζεται σε 0.4 m³/τόνο επεξεργασμένου καρπού περίπου και κατά συνέπεια, ο μέσος όρος του όγκου των υγρών αποβλήτων ανέρχεται σε 8 m³ σε ημερησία βάση.[31,32,39,42,]

1.2.2. Κατανάλωση νερού στα ελαιοτριβεία

Το νερό που καταναλώνεται σε ένα ελαιοτριβείο χρησιμοποιείται:

1. Για το πλύσιμο του ελαιόκαρπου
2. Στο αλεστικό, όταν ο ελαιόκαρπος είναι ξηρός
3. Για αραίωση της ελαιοζύμης
4. Για πλύση των ελαιόπανων (στα πιεστήρια)
5. Στον ελαιοδιαχωριστήρα
6. Για τον καθαρισμό γενικά σε μικρές ποσότητες.

Οι καταναλώσεις νερού στις διάφορες φάσεις κατεργασίας του ελαιόκαρπου ποικίλουν και εξαρτώνται από τη φύση και την κατάσταση του ελαιόκαρπου, από τη μέθοδο κατεργασίας καθώς και από τις συνήθειες και την τακτική του ελαιοτριβείου. Μεγάλες διακυμάνσεις παρουσιάζονται στην πλύση του ελαιόκαρπου, όπου είναι δυνατόν να έχουμε μια κατανάλωση από ο έως 130% επί του αρχικού βάρους. Συνήθως στα ελαιοτριβεία για λόγους οικονομίας αποφεύγουν την μεγάλη κατανάλωση νερού κυρίως στο πλύσιμο του ελαιόκαρπου, καθώς στις άλλες φάσεις όπου η προσθήκη νερού είναι απαραίτητη. [38,103,105]

1.2.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φυγοκεντρικών ελαιοτριβείων

Η διεργασία 2^{ov} φάσεων, σε σύγκριση με εκείνη των 3^{ov} φάσεων, παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα:

- Δεν γίνεται χρήση νερού εκτός από το στάδιο της έκπλυσης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει παραγωγή υδατικών αποβλήτων, καθώς επίσης απαιτείται και χαμηλότερη κατανάλωση νερού. Τα απόβλητα της έκπλυσης δεν είναι ιδιαίτερα ρυπασμένα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν, γενικά, για άρδευση.

- Η κατασκευή του φυγοκεντρικού διαχωριστή 2 φάσεων είναι λιγότερο πολύπλοκη και ελαφρώς φθηνότερη σε σχέση με τον διαχωριστή 3 φάσεων, με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο αξιόπιστη η λειτουργία του.
- Η κατανάλωση ενέργειας είναι ελαττωμένη, λόγω της μειωμένης κατεργαζόμενης ποσότητας αφού δεν προστίθεται περαιτέρω ποσότητα νερού για την παραγωγή του ελαιοπυρήνα
- Το παραγόμενο ελαιόλαδο με την μέθοδο αυτή είναι υψηλότερης ποιότητας εφ' όσον δεν χρησιμοποιούνται decanter υψηλών ταχυτήτων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει οξειδωτική σταθερότητα και καλύτερα οργανοληπτικά συστατικά.
- Το κόστος λειτουργίας είναι χαμηλότερο, σε σύγκριση με την μέθοδο των 3^{ων} φάσεων.

Μειονεκτήματα:

- Η συγκεκριμένη διεργασία, αν και φαινομενικά δεν παράγει υγρά απόβλητα, εντούτοις όλα τα ρυπαντικά φορτία που περιέχονται και στα υγρά απόβλητα των ελαιοσυρμάτων των τριών φάσεων ενσωματώνονται στον ελαιοπυρήνα με αποτέλεσμα την παραγωγή μιας ενιαίας ημιστερεής φάσης. Το γεγονός αυτό διπλασιάζει το ποσοστό των προς διάθεση “στερεών” αποβλήτων τα οποία λόγω μεγαλύτερης πλέον τοξικότητας, δεν μπορούν να επεξεργαστούν βιολογικά (κομποστοποίηση) ή να αποτεφρωθούν χωρίς τη χρήση κάποιας (δαπανηρής) προεπεξεργασίας.
- Το ημιστερεό απόβλητο που παράγεται από τη συγκεκριμένη διεργασία λόγω της υγρασίας μαζί με τα σάκχαρα και τα λεπτόκοκκα στερεά που περιέχει, εμφανίζει μεγάλη δυσκολία στη μεταφορά, στην αποθήκευση, και στην διαχείρισή του. Δεν μπορεί να παραμείνει αποθηκευμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα επειδή αρχίζει αν ζυμώνονται σε μικρό χρόνο εξαιτίας της υψηλής του υγρασίας και των περιεχόμενων σακχάρων. Όμως οι βιολογικές διεργασίες δεν μπορούν να ολοκληρωθούν εξ' αιτίας της μεγάλης τοξικότητας με αποτέλεσμα την εκπομπή δύσσομων αέριων ρύπων.
- Υπάρχει μια μείωση ίση με 7% στην παραγωγή ελαιολάδου το οποίο ενσωματώνεται στον πολτό του πυρήνα και το οποίο δυστυχώς δεν μπορεί να εξαχθεί στα πυρηνελαιουργεία.
- Τα ημιστερεά απόβλητα τα οποία παράγονται χαρακτηρίζονται από υψηλό COD και αποτελούν ένα νέο τύπο αποβλήτου, το οποίο δεν έχει ακόμη κατηγοριοποιηθεί πλήρως και το οποίο είναι πολλαπλάσια δύσκολο αν επεξεργαστεί.
- Απαιτείται περισσότερος χρόνος για τη εξαγωγή του ελαιολάδου με αποτέλεσμα η δυναμικότητα του ελαιοτριβείου να ελαττώνεται κατά 30% όταν τροποποιείται todecanter καταλλήλως ώστε ένα τριφασικό ελαιοτριβείο να μετατραπεί σε διφασικό.
- Δεν είναι δυνατή η επικερδής αξιοποίηση των αποβλήτων από πυρηνελαιουργεία. Μάλιστα, η συγκεκριμένη μέθοδος μεταφέρει τα προβλήματα της διάθεσης των υγρών αποβλήτων στα πυρηνελαιουργεία, καθώς ο υγρός ελαιοπυρήνας απαιτεί ξήρανση πριν την επεξεργασία του, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη και δαπανηρή η εξαγωγή του εναπομείναντος ελαίου.
- Πολλές φορές στην προσπάθεια να εξαχθεί μεγαλύτερο ποσοστό ελαιολάδου, ρυθμίζεται η περιστροφή του decanter σε υψηλότερες στροφές με αποτέλεσμα να εκχειλίζονται στο ελαιόλαδο ανεπιθύμητες φαινολικές ενώσεις οι οποίες στην περίπτωση των τριφασικών ελαιοτριβείων απομακρύνονταν στην υδατική φάση. Έτσι το παραγόμενο ελαιόλαδο είναι υποβαθμισμένο ποιοτικά. **[57,65,69,113,120**

1.3. Απόβλητα ελαιοτριβείων-Διατύπωση του προβλήματος

Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η περιοχή της Μεσογείου, είναι τα απόβλητα που προέρχονται από την παραγωγή ελαιόλαδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ρυπαντική ικανότητα των υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία της ελιάς είναι εκατό φορές μεγαλύτερη από αυτή των αστικών αποβλήτων. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού καθίσταται ιδιαίτερος δύσκολη αφού δεν υπάρχει καμία γενικώς τεχνολογικά και οικονομικά αποδεκτή μέθοδος για την επεξεργασία, επαναχρησιμοποίηση ή την διάθεση των αποβλήτων αυτών στο περιβάλλον. Τα περισσότερα ελαιουργεία, τα οποία στην πλειοψηφία τους είναι επιχειρήσεις μικρής ή μεσαίας κλίμακας, δεν μπορούν να αντέξουν το κόστος εγκατάστασης συστημάτων επεξεργασίας των παραπροϊόντων που παράγονται, με αποτέλεσμα να επιμένουν στην διαχείριση των συγκεκριμένων αποβλήτων εφαρμόζοντας περιβαλλοντικά και νομικά μη αποδεκτές μεθόδους. Το σημαντικότερο πρόβλημα σε ότι αφορά την διάθεση των αποβλήτων, είναι το ιδιαίτερα υψηλό οργανικό φορτίο τους το οποίο δεν βιοαποικοδομείται εύκολα, ενώ από την άλλη, οι υψηλές συγκεντρώσεις οξέων και πολυφαινολικών ενώσεων οδηγούν στην εμφάνιση φυτοτοξικών φαινομένων και προσδίδουν ανεπιθύμητες φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες υποβαθμίζοντας το φυσικό περιβάλλον.

Στην Ελλάδα παράγονται 230.000 – 280.000 τόνοι ελαιόλαδο σε ετήσια βάση, δηλαδή περίπου το 12.5 – 15 % της παγκόσμιας παραγωγής από περίπου 3500 ελαιοτριβεία ποικίλης δυναμικότητας, όπου η μέση ημερήσια παραγωγή ανά ελαιοτριβείο φτάνει τους 20 τόνους. Αξίζει να σημειωθεί ότι **για κάθε κιλό λαδιού παράγονται κατά μέσο όρο 5 κιλά υγρών αποβλήτων (OMWW)** μεγάλου οργανικού φορτίου, ποσότητες εξαιρετικά μεγάλες αν αναλογιστούμε το γεγονός ότι η παραγωγή ελαιόλαδου είναι εποχιακή και εντοπίζεται κυρίως από το μήνα Νοέμβρη έως Μάρτη.[2,72,101]

1.3.1 Παραγωγή παραπροϊόντων από ελαιοτριβείο

1.3.1.1.0 ελαιόκαρπος και η σύνθεση του

Ο καρπός της ελιάς είναι δρύπη με σχήμα ωοειδές που συχνά καταλήγει σε μυτερό άκρο. Η διαφορά τα άλλα πυρηνόκαρπα εντοπίζεται στην χημική σύσταση. Ο ελαιόκαρπος χωρίζεται σε κύρια μέρη, στο επικάρπιο, στο μεσοκάρπιο και στο ενδοκάρπιο.

Το επικάρπιο ή επιδερμίδα ή μεμβράνη, καλύπτει το 1,5 – 3,5% του βάρους του καρπού. Το μεσοκάρπιο ή σάρκα, καλύπτει το 70 – 90% του καρπού και τέλος το ενδοκάρπιο καλύπτει το υπόλοιπο μέρος του καρπού. Το ενδοκάρπιο ή πυρήνας αποτελείται από το σκληρό ξυλώδες τμήμα, με συνήθως ένα και πολύ σπάνια δύο ενδοσπέρμια ή σπόροι. Τα κύρια συστατικά της σάρκας της ελιάς είναι :

- Το νερό
- Το ελαιόλαδο
- Τα σάκχαρα
- Οι πρωτεΐνες
- Τα κόμμεα – ρητίνες
- Τα οργανικά οξέα
- Οι ταννίνες
- Η ελαιοευρωπαϊνή
- Τα ανόργανα συστατικά και άλλα

Τα κύρια συστατικά του ελαιόκαρπου είναι:

1. Ελαιόλαδο 20-28%
2. Ελαιοπυρήνας 35-45%
3. Φυτικά υγρά 30-40%

Τα κύρια σάκχαρα που περιέχει ο ελαιόκαρπος είναι η γλυκόζη, η φρουκτόζη και η σακχαρόζη. Από τα οργανικά οξέα συναντώνται το κιτρικό, το μηλικό και το οξαλικό. Και τα τρία μαζί αντιπροσωπεύουν περίπου το 0,1% του νωπού βάρους. Η σύνθεση του ελαιόκαρπου στα συστατικά αυτά διαφέρει ανάλογα με τη ποικιλία, τη περιοχή της καλλιέργειας της ελιάς, τη χρονιά και το στάδιο ανάπτυξης του καρπού.

Ο καρπός των μεγαλόκαρων ποικιλιών που περιέχουν μικρό ποσοστό ελαιολάδου και μεγάλο ποσοστό σακχάρων χρησιμοποιείται συνήθως για τη παρασκευή της βρώσιμης ελιάς. Αντίθετα, ποικιλίες με μεγάλο ποσοστό ελαιολάδου χρησιμοποιούνται για ελαιοποίηση.

Οι ποικιλίες ελιάς που είναι κατάλληλες για την παραγωγή ελαιολάδου έχουν συνήθως μέσο μέγεθος καρπού. Πολλές φορές η ίδια ποικιλία χρησιμοποιείται και για τους δύο σκοπούς, δηλαδή για βρώση και για ελαιοποίηση.[92,123]

1.3.1.2. Ο ελαιοπυρήνας

Ο ελαιοπυρήνας ή τα στερεά υπολείμματα, που περιέχουν την σάρκα, το κουκούτσι και το περίβλημα του καρπού, με ποσοστό υγρασίας 45 – 50 % και με περιεκτικότητα 3 – 7 % σε λιπαρές ύλες. Παράγεται στα ελαιοτριβεία που εφαρμόζουν την τριφασική μέθοδο ελαιοποίησης. Ο τριφασικός ελαιοπυρήνας δύναται να χρησιμοποιηθεί για:

- i. Δεύτερη εξαγωγή του εναπομείναντος λαδιού από τις βιομηχανίες εξαγωγής λαδιού, τα πυρηνελαιουργεία, και την παραγωγή πυρηνελαίου
- ii. Ζωοτροφή
- iii. Στερεό καύσιμο
- iv. Κομποστοποίηση

Υγρός ελαιοπυρήνας, που προκύπτει όταν εφαρμόζεται η μέθοδος διαχωρισμού 2-φάσεων. Αποτελείται αποκλειστικά από τα συστατικά του ελαιοκάρπου (σάρκα, κουκούτσι, περίβλημα, φυτικά υγρά) πλην του ελαιολάδου. Εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του υγρού ελαιοπυρήνα σε υγρασία (65 - 70%) και σάκχαρα, τα συμβατικά πυρηνελαιουργεία δεν μπορούν να επεξεργαστούν αμιγώς διφασικό ελαιοπυρήνα.

Ο παραλαμβανόμενος από την κατεργασία ελαιοπυρήνας είναι το 35-45% του αρχικού βάρους του ελαιοκάρπου και έχει συνήθως την παρακάτω σύσταση:

1. Έλαιο (πυρηνέλαιο) 6-12%
2. Υγρασία 40-45 για τριφασικά και 60-85% για διφασικά
3. Πρωτεΐνες 8-10%
4. Υδατάνθρακες 20-30% [56,108]

1.3.1.3 Ο κατσίγαρος

Ο κατσίγαρος συνίσταται από το υδατικό κλάσμα του χυμού του ελαιοκάρπου και από το νερό που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις παραγωγής του λαδιού στο ελαιουργείο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα, που περιέχει μία σειρά από ουσίες όπως σάκχαρα, αζωτούχες ενώσεις, οργανικά οξέα, πολυαλκοόλες, πολυφαινόλες και υπολείμματα ελαίου. Η άμεση επίπτωση του κατσίγαρου στο περιβάλλον είναι η αισθητική υποβάθμιση που προκαλεί και η οποία οφείλεται στην έντονη οσμή του και στο σκούρο χρώμα του. Παράλληλα, εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου που περιέχει, είναι πιθανόν να δημιουργήσει ευτροφικά φαινόμενα σε περιπτώσεις που καταλήγει σε αποδέκτες με μικρή επανακυκλοφορία νερών (κλειστούς θαλάσσιους κόλπους, λίμνες κ.τ.λ). Από τα συστατικά που περιέχονται στον κατσίγαρο, οι πολυφαινόλες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι από τη μία πλευρά προσδίδουν στα απόβλητα τοξικές ιδιότητες έναντι των φυτών και αποδομούνται με βραδύ σχετικά ρυθμό από εξειδικευμένες ομάδες μικροοργανισμών, ενώ από την άλλη λειτουργούν σαν φυσικό συντηρητικό για τη ποιότητα του λαδιού στο χρόνο (χαμηλή οξύτητα). Επειδή η παραγωγή του ελαιολάδου είναι μία φυσική διαδικασία, πρέπει να σημειωθεί ότι ο κατσίγαρος δεν περιέχει άλλες ουσίες που είναι ιδιαίτερα τοξικές, όπως τα βαρέα μέταλλα και οι συνθετικές οργανικές ενώσεις.

Η επεξεργασία του κατσίγαρου αποτελεί οικολογικό πρόβλημα μεγάλης σημασίας. Η αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται προς το παρόν ασυντόνιστα και οι λύσεις που χρησιμοποιούνται ποικίλλουν όχι μόνο από χώρα σε χώρα, αλλά και από περιοχή σε περιοχή. Από την άλλη, η εκμετάλλευση και αξιοποίηση των υποπροϊόντων και των αποβλήτων των ελαιοτριβείων παρουσιάζει θετικά σημεία. Τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων αυτών εξαρτώνται από την εφαρμοζόμενη μέθοδο εξαγωγής.

Φυτικά υγρά: Περίπου το 30-40% του αρχικού βάρους του ελαιόκαρπου είναι τα φυτικά υγρά του καρπού, τα οποία τελικά απορρέουν ως απόβλητα προσαυξημένα με το νερό που προστίθεται στις διάφορες φάσεις κατεργασίας. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι το pH τους κυμαίνεται μεταξύ 3 και 4. Σε πολύ γενικές γραμμές, τα φυτικά υγρά του ελαιόκαρπου αποτελούνται από:

1. Νερό 83%
2. Οργανικές ουσίες 15%
3. Ανόργανες ουσίες 2% [103,108]

1.3.2. Όγκος και σύσταση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων

Ο όγκος των Υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων (ΥΑΕ-κασιγάρος) δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί επακριβώς, ούτε σε ένα ελαιουργείο, ούτε σε μια περιοχή πόσο μάλλον σε ολόκληρη τη Μεσόγειο, επειδή εξαρτάται από:

- ❖ Την ποικιλία προέλευσης του ελαιόκαρπου, το στάδιο ωρίμανσης και το χρόνο εναποθηκεύσεώς του πριν από την ελαιοποίηση
- ❖ Τον τρόπο διαχωρισμού του λαδιού από την ελαιοζύμη
- ❖ Το διαθέσιμο στο ελαιοτριβείο νερό και το κόστος προμήθειάς του , αφού σε πολλά ελληνικά νησιά αλλά και σε περιοχές της Ισπανίας, της Β. Αφρικής, της Εγγύς Ανατολής, το πλύσιμο του καρπού παραλείπεται, όταν το νερό είναι λιγοστό ή ακριβό
- ❖ Τις συνήθειες των κατά τόπους ελαιοτριβείων

Τα ΥΑΕ αποτελούνται από το υδάτινο κλάσμα του χυμού του ελαιόκαρπου και το νερό που προστίθεται στα διάφορα στάδια επεξεργασίας του για την παραλαβή του ελαιολάδου. Τα φυτικά υγρά του ελαιόκαρπου (χωρίς το λάδι) μπορούν να υπολογισθούν με καλή προσέγγιση και είναι περίπου 40-45% του συνολικού βάρους του καρπού. Ο όγκος των ΥΑΕ που δημιουργούνται από την επεξεργασία 100 κιλών ελαιόκαρπου διαφέρει σημαντικά στους διάφορους τύπους συγκροτημάτων.

Μια εκτίμηση του όγκου των αποβλήτων για τις χώρες της Μεσογείου, φαίνονται στο παρακάτω πίνακα: [5,106]

Πίνακας 4. Εκτίμηση του όγκου των αποβλήτων που παράγονται κατά την παραγωγή του ελαιολάδου σε χώρες της Μεσογείου

	ΥΑΕ(m ³ /έτος)	Στερεά απόβλητα(m ³ /έτος)
Ισπανία	2-3x10 ⁶	1,6x10 ⁶
Ιταλία	1,5-2 x10 ⁶	1,6x10 ⁶
Ελλάδα	200.000-250.000	800.000
Τυνησία	700.000	1,6x10 ⁶
Πορτογαλία	60.000-350.000	100.000
Μεσόγειο	10-12 x10 ⁶	4,5 x10 ⁶
Σύνολο	10-12 x10 ⁶	10,5 x10 ⁶

1.3.3. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτωνελαιοτριβείων

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων είναι το έντονο σκούρο χρώμα. Αυτό οφείλεται στη παρουσία τανινών που περιέχονται στο φλοιό του ελαιοκάρπου και στα φαινολικά μόρια, που βρίσκονται σε αναλογία απλών φαινολικών ενώσεων και πολυφαινολών οι οποίες αποτελούν σκουρόχρωμες ενώσεις. Το απόβλητο γίνεται πιο σκούρο κατά την αποθήκευσή του στις εξατμισοδεξαμενές εξαιτίας των αντιδράσεων οξείδωσης και πολυμερισμού των πολυφαινολών που λαμβάνουν χώρα. [59] Για το σκούρο χρώμα οφείλεται ένα πολυμερές μόριο που προκύπτει από διάφορες απλές φαινολικές ενώσεις. Το μόριο αυτό έχει συνδεθεί χημικά με τη λιγνίνη και τα χουμικά οξέα. Ίσως παράγεται κατά την ενζυμικήαφυδρογόνωση κατά τον πολυμερισμό φαινολών. [53]

Το χρώμα του υγρού αποβλήτου ποικίλλει ανάλογα και με την τιμή του pH. Το χρώμα του είναι θολό και έχει χαρακτηριστική οσμή. Τα υγρά απόβλητα είναι πλούσια σε οργανικά και ανόργανα υλικά τα οποία είναι διαλυμένα στην υδάτινη κυρίως φάση. Συνήθως περιέχει μικρά σωματίδια όπως για παράδειγμα ιστούς από τους καρπούς ή θρύμματα από πέτρες κ.α , καθώς και μια ποσότητα λαδιού υπό τη μορφή σταθερού γαλακτώματος. [66,78]

Η σύσταση και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων εξαρτώνται άμεσα από τους παράγοντες εκείνους που επιδρούν στην φυσιολογική θρέψη και ωρίμανση του ελαιόκαρπου. Οι παράγοντες αυτοί είναι η καλλιεργούμενη ποικιλία, οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, οι καλλιεργητικές τεχνικές, η προσβολή από ασθένειες και το στάδιο ωρίμανσης που γίνεται η συγκομιδή. Για συγκεκριμένο δε ελαιόκαρπο εξαρτώνται από τον

τύπο του ελαιοτριβείου (κλασσικό ή φυγοκεντρικό), καθώς και το σημείο που γίνεται η δειγματοληψία (διαχωριστήρας ή αποχέτευση).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα διαφόρων μελετών όσον αφορά τη σύσταση των ΥΑΕ. [67,68,]

Πίνακας 5 . Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των σημαντικότερων παραμέτρων ρύπανσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων.

Παράμετροι ρύπανσης	Μέγιστο	Ελάχιστο
pH	6.7	4
Οξειδοαναγωγικό δυναμικό (mV)	-330	-80
Αγωγιμότητα (mS)	16	8
Πυκνότητα (g/l)	1.100	1.016
Χρώμιο (U Pt-Co)	180.000	52.270
Θολότητα (NTU)	62.000	42.000
Διαλελυμένα στερεά (g/l)	9	1
Καθιζάνοντα στερεά (ml/lh)	250	10
Βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο- BOD ₅ , (mg/l)	110.000	35.000
Χημικό απαιτούμενο οξυγόνο- COD, (mg/l)	170.000	45.000

Αυτή η διαφοροποίηση υπάρχει τόσο μεταξύ των δειγμάτων υπό την ίδια πηγή, όσο και μεταξύ των δειγμάτων από διαφορετικές χώρες ή μεταξύ δειγμάτων από διάφορες διαδικασίες.

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικοί παράμετροι των ΥΑΕ

Χαρακτηριστικοί παράμετροι	Τιμή
pH	4,5-6
BOD ₅ (mg/l)	35.000-100.000
COD(mg/l)	40.000-195.000
Λιπίδια(mg/l)	300-23.000
Οργανικόυλικό(g/l)	40-165
Ανόργανουλικό(mg/l)	5-14
Πολυφαινόλες(mg/l)	3.000-24.000
N(g/l)	0,3-1,1
P(g/l)	2,7-7,2
K(g/l)	0,12-0,75
Mg(g/l)	0,10-0,40
Na(g/l)	0,04-0,90
Στερεά(%)	5,5-17,6

Γενικά τα ΥΑΕ αποτελούνται από το 83-92% νερό, 4-16% οργανικά συστατικά και 1-2% ανόργανα συστατικά. Το οργανικό κλάσμα αποτελείται από σάκχαρα (1-8% μεταξύ των οποίων η αραβινόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη, γλυκόζη, ραμινόζη, ξυλόζη, γαλακτουρονικά και γλουκορονικά οξέα), ενώσεις N (0.5-2.4%), οργανικά οξέα (0.5-1.5%), λιπίδια (0.02-1%)

καθώς και φαινόλες και πηκτίνες (1-1.5%). Όσο αφορά τις φαινόλες συνήθως εμφανίζονται μικρού μοριακού βάρους ουσίες όπως η υδροξυτυροσόλη, η τυροσόλη, η κατεχόλη, το καφεϊκό οξύ. [94]

Τα φαινολικά συστατικά βρίσκονται σε συγκεντρώσεις των 0.5-24 g/l και αυτό εξαρτάται αυστηρά από τη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ελαιολάδου. Γενικά περιλαμβάνουν ένα εύρος οργανικών ουσιών, οι οποίες έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Τα κυριότερα φαινολικά συστατικά που έχουν προσδιοριστεί ποιοτικά και ποσοτικά στα ΥΑΕ περιλαμβάνουν τα φαινυλοοξέα, τις φαινυλαλκοόλες, τα σεκοϊριδοειδή και τα φλαβονοειδή. Η παρουσία αυτών των «δύσκολων» οργανικών ουσιών αποτελεί ένα από τα κύρια προβλήματα στην αποτοξικοποίηση των ΥΑΕ. [90,121]

Όσο αφορά το ανόργανο κλάσμα, σε σύγκριση με άλλα οργανικά απόβλητα, τα ΥΑΕ έχουν υψηλότερη συγκέντρωση καλίου και αξιόλογα ποσά αζώτου, φωσφόρου, ασβεστίου, μαγνησίου και σιδήρου.

Συμπερασματικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι οι βασικές ιδιότητες των ΥΑΕ εξαρτώνται από την διαδικασία εξαγωγής ελαιολάδου και το νερό που προστίθεται κατά τη διάρκεια αυτής. Ωστόσο γενικά εκτείνονται στα παρακάτω όρια:

- ♦ pH= 4-6
- ♦ Έντονο σκούρο καφέ έως σχεδόν μαύρο χρώμα.
- ♦ Έντονο χαρακτηριστικό άρωμα.
- ♦ BOD₅= 35-110 g/l
- ♦ COD- 40-220 g/l και TOC= 25-45 g/l.
- ♦ Τα τοξικά συστατικά είναι οι φαινόλες, οι ταννίνες και οι χρωστικές.
- ♦ Τα φαινολικά συστατικά είναι παρόντα σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0.5-24 g/l.
- ♦ Οι φαινόλες περιλαμβάνουν τουλάχιστον 30 ουσίες.
- ♦ Τα σάκχαρα αποτελούν το 60% της ξηράς ουσίας και περιλαμβάνουν μειούμενα ποσοστά, φρουκτόζης, μαννόζης, γλυκόζης, σακχαρόζης.
- ♦ Το κάλιο είναι το κυρίαρχο ανόργανο στοιχείο (~ 4 g/l) το οποίο αποτελεί ταυτόχρονα πολύ σημαντικό θρεπτικό στοιχείο.
- ♦ Ένας τόνος ελιών προς επεξεργασία παράγουν ένα ρυπαντικό φορτίο ισοδύναμο αυτού 50-100 κατοίκων. [89, 106,112]

1.3.4. Νομοθεσία για τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων

Η διάθεση των αποβλήτων σε Κοινοτικό επίπεδο, σύμφωνα με το άρθρο 4 της Οδηγίας 75/442/EEC για το θέμα των αποβλήτων, αξιώνει ότι οι χώρες – μέλη πρέπει να λάβουν όλα τα

απαραίτητα μέτρα ώστε να διασφαλισθεί η ανάκτηση ή η διάθεση των αποβλήτων χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

• **NOMOS ΥΠ. ΑΡΙΘΜ. 2516/97:** Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 159/A/8-8-97). Σύμφωνα με το άρθρο 1 και με βάση την κινητήρια εγκατεστημένη ισχύ που είναι πάνω από 16 HP, τα ελαιοτριβεία νοούνται ως Βιομηχανία ή Βιοτεχνία.

• **Υ.Α. οικ. 173829/2014,(ΦΕΚ 2036/B/25.7.2014):** «Τροποποίηση της υπ' αριθμ. 1958/2012 απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (21/B), με την οποία κατατάσσονται τα δημόσια και ιδιωτικά έργα και δραστηριότητες σε κατηγορίες και υποκατηγορίες, σύμφωνα με το άρθρο 1 παρ. 4 του Ν 4014/2011 (209/A), όπως αυτή έχει τροποποιηθεί και ισχύει, ως προς την κατάταξη ορισμένων έργων και δραστηριοτήτων της 2^{ης}, 6^{ης}, 9^{ης} και 12^{ης} Ομάδας».

• **ΚΥΑ 10537/93 :** Καθορισμός αντιστοιχίας της κατάταξης των βιομηχανικών – βιοτεχνικών δραστηριοτήτων της ΚΥΑ 69269/90 με την αναφερόμενη στις πολεοδομικές ή άλλες διατάξεις διάκριση των δραστηριοτήτων σε χαμηλή, μέση και υψηλή όχληση (ΦΕΚ 139B/11-3-93). Σύμφωνα με το άρθρο 1, τα ελαιοτριβεία κατατάσσονται στις δραστηριότητες χαμηλής όχλησης.

• **ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ Ε1β/221 :** Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων (ΦΕΚ 138/B/24-12-1965). Η Διάταξη αυτή του Υπουργείου Υγείας και Πρόνοιας, θέτει ουσιαστικά τα πλαίσια μέσα στα οποία πρέπει να κινούνται οι βιομηχανίες όσο αφορά την επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων τους. Στο άρθρο 1 δίνονται οι ορισμοί των λυμάτων, βιομηχανικών αποβλήτων, επεξεργασίας κ.α. Το άρθρο 2 αναφέρεται με γενικούς όρους όσον αφορά την διάθεση των λυμάτων και στα άρθρα 3 και 4 παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν τα επιφανειακά και τα θαλάσσια νερά ανάλογα με τις χρήσεις τους. Στην συνέχεια στα άρθρα 7 και 8 θέτονται οι όροι για τη διάθεση των λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος και στο υπέδαφος. Τα άρθρα 9 έως 13 αναφέρονται στους όρους και στις μεθόδους που πρέπει να τηρούν και να ακολουθούν μεμονωμένες μονάδες (κατοικίες, σχολεία, ξενοδοχεία κ.α.) κατά την επεξεργασία των λυμάτων τους. Τέλος, στα άρθρα 14, 15 και 16 καθορίζονται ο τρόπος και οι απαιτήσεις για την αδειοδότηση της διάθεσης λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων, η ισχύς της Διατάξεως και οι κυρώσεις και επίσης δίνονται μεταβατικές διατάξεις για τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις διαθέσεως των λυμάτων και μέθοδοι εξετάσεως βιομηχανικών αποβλήτων ή υδάτων.

• Μια σημαντική οδηγία εφαρμογής της **Υ.Α. Ε1β/221** που κοινοποιήθηκε με την εγκύκλιο του **ΥΚΥ με αριθμό Α5/4690/ΕΓΚ.62/26-4-80**, αναφέρει τους όρους για τη χορήγηση άδειας διαθέσεως λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων, τον τρόπο ανανέωσης προσωρινής άδειας διαθέσεως τους και στοιχεία για τον έλεγχο αποδόσεως των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Στο παράρτημα 1 της Οδηγίας υπάρχει ενδεικτικός πίνακας με τα προτεινόμενα χαρακτηριστικά ποιοτικών παραμέτρων, για τον έλεγχο των βιομηχανικών αποβλήτων κατά κλάδο και είδος βιομηχανίας. Έτσι στην κατηγορία Βρώσιμα Λίπη και Έλαια του κλάδου Τροφών και Ποτών, οι τακτικοί ποιοτικοί παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται είναι το BOD5, και το COD, τα αιωρούμενα στερεά, τα διαλυμένα στερεά, τα λίπη, τα έλαια και το pH ενώ οι συμπληρωματικοί παράμετροι είναι το N, ο P, τα θειικά και τα θειούχα κατά περίπτωση.

• Επίσης σημαντικότερες Οδηγίες Εφαρμογής της **Υ.Α. Ε1β/221/65** αποτελεί η εγκύκλιος του **ΥΥΠ&ΚΑ με αρ. ΥΜ/2985/29-5-1991**, που αναφέρεται στις προϋποθέσεις που απαιτούνται για την διάθεση των λυμάτων σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες στο έδαφος και σε υπόνομους, καθώς και η εγκύκλιος **ΥΥΠ&ΚΑ ΜΕ ΑΡ. 242/27-1-1992**, που αναφέρεται στην έγκριση των μελετών επεξεργασίας και διαθέσεως των υγρών αποβλήτων καθώς και στις σχετικές άδειες.

• Το πιο σημαντικό βήμα που έχει γίνει μέχρι σήμερα στην ελληνική νομοθεσία για τα Απόβλητα των Ελαιοτριβείων, αποτελεί η εγκύκλιος του **ΥΥΠ&ΚΑ με αρ. ΥΜ/5784/23-1-1992** και **αρ. 4419/23-10-1992**. Αυτή η εγκύκλιος αναφέρει αναλυτικά: «Έχοντας υπόψη τα προβλήματα που δημιουργούνται στο περιβάλλον από τη διάθεση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων», σας γνωρίζουμε τα εξής:

1) Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων με χημική μέθοδο (εξουδετέρωση με υδράσβεστο και χημική κροκιδωση) αποτελεί μια μέθοδος μείωσης του οργανικού και χημικού ρυπαντικού φορτίου, για χαμηλά όμως ποσοστά. Ακόμα και με πλήρη σχεδόν απόδοση των εγκαταστάσεων δεν προσεγγίζει τα επιθυμητά επίπεδα, όπως προβλέπεται από την **Υ.Α.Ε1β/221/65** και τις σχετικές εγκυκλίους

2) Η προαναφερόμενη μέθοδος είναι μια κλασική και ευρέως διαδεδομένη μέθοδος μείωσης της ρύπανσης, πλην όμως υπάρχουν και άλλες παραλλαγές αυτής ή και συμπληρωματικές (π.χ. διάφορα κροκιδωτικά υλικά, συνδυασμός με αναερόβια βιολογική επεξεργασία κ.λ.π). Επειδή πρόκειται για επιβαρημένα και δύσκολα στο χειρισμό απόβλητα, θα πρέπει η επιλεγόμενη μέθοδος επεξεργασίας, πέραν της υψηλής αποδοτικότητας και λειτουργικότητας, να είναι και τεχνικό – οικονομικώς συμφέρουσα στις μικρές επιχειρήσεις (ελαιοτριβεία). Στα πλαίσια αυτά στρέφονται και οι ερευνητικές μελέτες που έγιναν και γίνονται και που οπωσδήποτε τα αποτελέσματα θα συνεκτιμηθούν και θα γίνουν οι ανάλογες νομοθετικές ρυθμίσεις (εγκύκλιοι, τροποποιήσεις Υγειονομικών Διατάξεων κ.λ.π).

3) Ο τελικός αποδέκτης των επεξεργασμένων αποβλήτων θα καθορίζεται πάντοτε στα πλαίσια της **Υ.Α.Ε1β/221/65** και της εγκυκλίου με αρ. οικ. **ΥΜ 2985/29-5-91** και οπωσδήποτε θα λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές συνθήκες. Η θάλασσα και γενικότερα οι υδάτινοι αποδέκτες θα πρέπει να αποφεύγονται και αποτελούν μόνο την αναπόφευκτη λύση, αφού αποκλεισθούν όλες οι άλλες δυνατότητες τελικής διάθεσης (υπεδάφιας, επιφανειακά στο έδαφος κ.λ.π).

• **ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΥΠ' ΑΡΙΘΜΟΝ 1180**: Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγόμενων εις τα της λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνών, πάσης φύσης μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως περιβάλλοντος εν γένει (ΦΕΚ 293/τ.α./6-10-1981). Το Προεδρικό αυτό Διάταγμα αποτελεί την προγενέστερη μορφή του Ν. 1650/86, δηλαδή του νόμου πλαίσιο για το περιβάλλον. Έτσι, δίνει ορισμούς όπως για το περιβάλλον, τη ρύπανση, τη μόλυνση, κ.λ.π. Μεταξύ άλλων το Διάταγμα αυτό καθορίζει με το άρθρο 3 τις κατευθυντήριες τιμές, για τον καθορισμό των επιτρεπόμενων ορίων εκπομπής ρυπανουσών ουσιών σε υδάτινο αποδέκτη, ανάλογα της χρήσης και της αφομοιωτικής ικανότητας αυτού, σύμφωνα με τις εκάστοτε ισχύουσες υγειονομικές διατάξεις. **[14,91,103,125]**

1.3.5. Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα.

Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων έχουν υψηλό οργανικό και τοξικό ρυπαντικό φορτίο. Τα ελαιοτριβεία λειτουργούν εποχιακά (τρεις μήνες περίπου το χρόνο) και είναι μικρές

επιχειρήσεις που τα κοστολόγια τους δεν επιτρέπουν την εφαρμογή ειδικευμένων τεχνικών για την επεξεργασία των αποβλήτων τους. Από την άλλη πλευρά η απαίτηση της Πολιτείας για καθαρό περιβάλλον έχει επιβάλει αυστηρές νομοθετικές προδιαγραφές που στην πράξη τα ελαιοτριβεία αδυνατούν να εφαρμόσουν.

Η Πολιτεία πρότεινε εφαρμόσιμες τεχνικά και βιώσιμες οικονομικά διαδικασίες για την επεξεργασία των αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Έτσι καθόρισε μονοδιάστατα και ανελαστικά μια τεχνική σύμφωνα με την οποία θα δίδονται οι άδειες λειτουργίας των ελαιοτριβείων. Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την εξουδετέρωση των αποβλήτων με ασβέστη και την παροχέτευσή τους σε ανοικτές αβαθείς δεξαμενές (λαγκούνες) ώστε αυτά να εξατμιστούν δια λιμνάσεως. Τα εναπομείναντα στερεά θα μπορούν να διαθέτονται στις χωματερές. Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής καθορίστηκε από την Διεύθυνση Περιβάλλοντος του Υπουργείου υγείας.

Με την εφαρμογή 15 ετών της υποχρεωτικής αυτής διατάξεως διάθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων, και την κατασκευή περίπου 400 αβαθών δεξαμενών σε όλη την Ελλάδα, οδηγούμαστε σε κάποια επιβαρυντικά για το περιβάλλον συμπεράσματα. Ένα από αυτά είναι ότι απαιτούνται τεράστιες εκτάσεις. Ο χρόνος παραμονής των υγρών αποβλήτων εκεί δεν είναι επαρκής για την εξάτμιση τους.. Τα υγρά απόβλητα δεν είναι βιοαποικοδομήσιμα λόγω της τοξικότητάς τους και αυτό οδηγεί στην δυσκολία καθαρισμού –απομάκρυνσης τους. Οι παραπάνω λόγοι συντελούν στην δημιουργία αναερόβιων διεργασιών έχοντας σαν αποτέλεσμα την δημιουργία δυσάρεστων οσμών στις γύρω περιοχές. Το υψηλό κόστος στεγανοποίησης δεξαμενών ωθεί την κατασκευή αυτών σε αργιλικά εδάφη στα οποία τις περισσότερες φορές δημιουργούνται ρωγμές με αποτέλεσμα την ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα. Η φύση αποτελεί μια αλυσίδα που κάθε κομμάτι της επηρεάζεται από ένα άλλο. Όπως αναφέρθηκε και πρωτίτερα απόβλητα ελαιοτριβείων δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία όμως αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. [103,105]

1.3.6. Επιδράσεις των ΥΑΕ στο έδαφος και στο νερό.

↳ Επιδράσεις στο νερό

Είναι πολύ σημαντική η επίδραση των Υ.Α.Ε. στους υδάτινους αποδέκτες λόγω του γεγονότος ότι, η ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων αυτών μπορεί να επιφέρει ανεπανόρθωτες ζημιές στους υδατικούς αποδέκτες. Αναφορές γίνονται στο ότι η πιο ορατή επίδραση της ρύπανσης από Υ.Α.Ε. είναι ο χρωματισμός των φυσικών υδάτων, αλλαγή η οποία αποδίδεται στην οξείδωση και τον διαδοχικό πολυμερισμό των ταννινών που δίνουν ένα σκοτεινό χρωματισμό στους υδατικούς αποδέκτες. [26,27,85]

↳ Επιδράσεις στο έδαφος

Οι επιδράσεις τους είναι σημαντικές και στο έδαφος λόγω, της παρουσίας αρκετών οξέων, ανόργανων και οργανικών ενώσεων, μειώνοντας έτσι, την ικανότητα του εδάφους για ανταλλαγή κατιόντων. Αποτέλεσμα αυτής της μείωσης είναι η καταστροφή όλων των μικροοργανισμών, καθώς και η υποβάθμιση της γονιμότητας του εδάφους. [11,84]

Παράλληλα, με την διείσδυση των Υ.Α.Ε. στο έδαφος προκαλείται διάλυση των ανθρακικών αλάτων καθώς και τροποποίηση των τιμών του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της περιεκτικότητας των θρεπτικών ουσιών, των φαινολικών ενώσεων και της βιολογικής δραστηριότητας. [4,44,103]

1.3.7. Μέθοδοι επεξεργασίας ΥΑΕ- εναλλακτική διαχείριση

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου παρουσιάζουν μεγάλο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον. Λειτουργώντας ως πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας μέσω της σωστής διαχείρισης. Τα ΥΑΕ περιλαμβάνουν υψηλό οργανικό φορτίο, αιωρούμενα στερεά, και λιπίδια και παράλληλα παράγονται σε μεγάλες ποσότητες. Πολλοί επιστήμονες εργάζονται πάνω στην εύρεση αποδοτικών, και από άποψη κόστους, εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένου χημικών, μηχανικών, φυσικών, βιολογικών και θερμικών μεθόδων. Αποδοτικότερες θεωρούνται οι φυσικοχημικές, χημικές, καθώς και βιολογικές (αερόβιες ή αναερόβιες) μεθόδους διαχείρισης φαίνεται να είναι αποδοτικές. Από τα ΥΑΕ μετά από την κατάλληλη επεξεργασία χημική ή βιολογική μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για άρδευση. Ενώ στο στερεό μαζί με τα ΥΑΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κομποστοποίηση δημιουργώντας ένα οργανικό λίπασμα.



Εικόνα 6. Ανεξέλεγκτη απόθεση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων

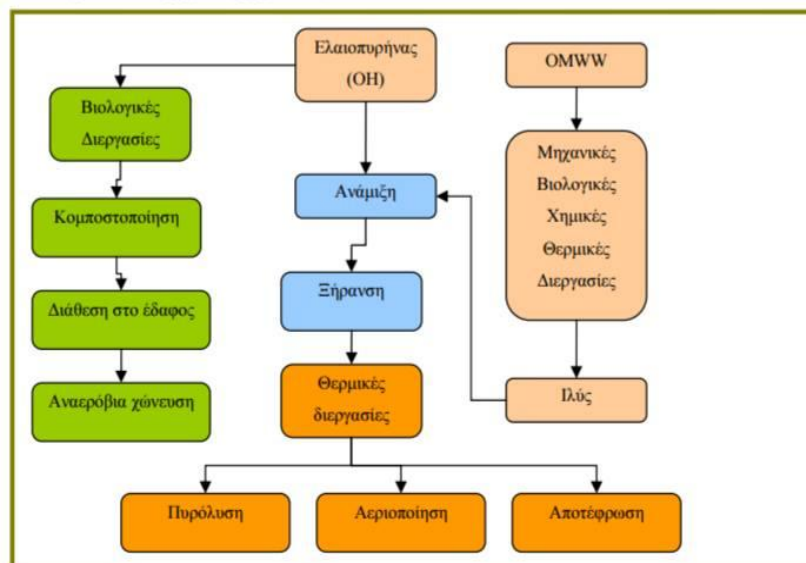
Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας που δείχνει ανα κατηγορίες τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων (ΥΑΕ). [82]

Πίνακας 7. Συγκεντρωτικός πίνακας με τις μεθόδους επεξεργασίας των ΥΑΕ

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ	ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ	ΧΗΜΙΚΕΣ
1. Διήθηση	Θερμοφυσικές μέθοδοι	Τεχνολογία ενεργού ιλύος	Κροκίδωση / Συσσωμάτωση
Επίπλευση	Μη αντιστρεπτές θερμοχημικές	Μέθοδος ολικής οξείδωσης	Χημική οξείδωση
Καθίζηση	Μέθοδος λίμνασης	Αντιδραστήρες διαλείποντος έργου σε σειρά	Προσρόφηση
Αραιώση		Αντιδραστήρες σταθερής κλίνης	Ιονταλλαγή
Φυγοκέντριση		Τεχνολογία περιστρεφόμενων βιολογικών δίσκων	
Τεχνολογία μεμβρανών			
Απολίπωση			

1.3.8.Σύσταση στερεών αποβλήτων

Οι Μεσογειακές χώρες παράγουν ετησίως μεγάλες ποσότητες στερεών αποβλήτων από την επεξεργασία του ελαιόκαρπου, που προκαλούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Το υλικό αυτό περιέχει επίσης υψηλό οργανικό και ανόργανο περιεχόμενο το οποίο είναι δύσκολο στη διαχείριση, όπως ακριβώς και τα υγρά απόβλητα από την επεξεργασία των ελιών. Τα στερεά απόβλητα έχουν υψηλό οργανικό φορτίο, πολυφαινόλες που εμποδίζουν τη δραστηριότητα βακτηρίων και μυκήτων καθώς και υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα. Η απόρριψη τους στο περιβάλλον ή η διάθεσή τους στο έδαφος χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, δεναποτελεί λύση του προβλήματος, αλλά καθιστά την κατάσταση χειρότερη δεδομένου ότι υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Συνοπτικά οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. [30,77]



Διάγραμμα 4. Διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων

Ο ελαιοπυρήνας που προέρχεται από το σύστημα πίεσης έχει μέση σύσταση: νερό (25-27%), λιγνίνη (14%), κυτταρίνη και ημικυτταρίνη (35-36%), υπολειμματικό έλαιο (6-9%) και ανόργανα στερεά (2-2.5%). [20,36]

Ο ελαιοπυρήνας που προέρχεται από το σύστημα φυγοκέντρησης τριών φάσεων έχει μέση σύσταση: νερό (45-55%), λιγνίνη (10%), κυτταρίνη και ημικυτταρίνη (25-26%), υπολειμματικό έλαιο (3-4%) και ανόργανα στερεά (2-2.5%). [40,41,81]

Παρακάτω ακολουθούν αναλυτικά οι μέθοδοι επεξεργασίας στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων. [9,103]

Πίνακας 8. Συγκεντρωτικό πίνακας με τις μεθόδους επεξεργασίας στερεών αποβλήτων

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ	ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ
Συμπίεση	Διάθεση στο έδαφος-απόθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής	Πυρόλυση
Ξήρανση	Κομποστοποίηση	Καύση/ αποτέφρωση
	Αναερόβια βιοεπεξεργασία-χώνευση	Αεριοποίηση/ Θερμοχημική εξαερίωση

1.3.8.1. Επαναχρησιμοποίηση των στερεών αποβλήτων

A. Χρήση σαν ζωοτροφή

Ο ελαιοπυρήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή. Αυτό όμως εξαρτάται άμεσα από το είδος του ελαιοτριβείου (διφασικά ή τριφασικά), από το αν έχει υποστεί κάποια επεξεργασία

και αν σε αυτό έχει αφαιρεθεί η υγρασία του. Ο αποξηραμένος ελαιοπυρήνας που προκύπτει από τα τριφασικά φυγοκεντρικά συστήματα, περιέχει χαμηλή ποσότητα σε πρωτεΐνες (5.5 %) και συνενπώς αποτελεί ζωοτροφή χαμηλής διατροφικής αξίας . [26]

Επιπλέον η υψηλή ποσότητα σε φυσικές ίνες (58 %), σε κάλιο και φαινολικές ενώσεις, αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα της χρήσης ελαιοπυρήνας σαν ζωοτροφή, προκαλώντας δυσανεξία και συμπτώματα διάρροιας στους ζωικούς οργανισμούς. Όμως σε πειράματα που έγινε ανάμιξη σε ποσοστό 0, 3 και 6 % ελαιοπυρήνας με συμβατική τροφή για ανάπτυξη κουνελιών, δεν παρατηρήθηκαν πεπτικές δυσκολίες και καμία αλλαγή στην ποιότητα του παραγόμενου κρέατος και στην ανάπτυξη των ζώων .

Έχει επίσης προταθεί η επεξεργασία με καυστικό νάτριο (NaOH) σαν μια προσπάθεια να γίνει ο ελαιοπυρήνας περισσότερο εύπεπτο και η προσθήκη άνυδρης αμμωνίας σε μίγμα ακατέργαστου ελαιοπυρήνα και μελάσας (απόβλητο που προκύπτει από την επεξεργασία της ζάχαρης) και η μετέπειτα αποθήκευσή τους σε δεξαμενές από PVC. Η τελευταία μέθοδος, βελτίωσε την θρεπτική αξία του ελαιοπυρήνα, αυξάνοντας την περιεκτικότητα άζωτο . Στην βιβλιογραφία, η αφαίρεση μέρους των κουκουτσιών που περιέχεται στην ελαιοπυρήνα, αναφέρεται ως η πιο οικονομική λύση για την μετατροπή της ελαιοπυρήνας σε μια πιο εύπεπτη και πλούσια τροφή σε ότι αφορά το πρωτεϊνικό και οργανικό περιεχόμενό της. [24,29]

B . Χρήση σαν λίπασμα

Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων, είναι πλούσια σε οργανικό περιεχόμενο, περιέχουν σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών, μετάλλων (3.5 – 11 g/l K₂O, 0.06 – 2 g/l P₂O₅, 0.15 – 0.5 g/l MgO) και ιχνοστοιχείων. Αυτά τα χαρακτηριστικά των OMWW τα καθιστούν κατάλληλα για χρήση τους σαν λιπάσματα, κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, αποτελώντας παράλληλα μια οικονομική πηγή ύδατος. Η χρήση όμως των OMWW σαν λίπασμα, έχει προκαλέσει ποικίλες αντιδράσεις. Πολλές μελέτες αναφέρουν την παρουσία φυτοτοξικών φαινομένων σε περιπτώσεις όπου η άμεση εφαρμογή στο έδαφος γίνεται με OMWW που δεν έχει πρώτα υποστεί επεξεργασία. Η τοξικότητα των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, οφείλεται κυρίως στις υψηλές συγκεντρώσεις μεταλλικών αλάτων, στα χαμηλά επίπεδα pH και στην παρουσία φυτοτοξικών συστατικών όπως οι φαινόλες. Ένα άλλο μειονέκτημα της άμεσης προσθήκης OMWW σαν λίπασμα που αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία, είναι ότι προκαλεί διατροφικές αστάθειες, αφού επηρεάζει τον κύκλο αζώτου στο έδαφος λόγω του υψηλού λόγου C/N που περιέχει. [60,93,101]

1.4. Κομποστοποίηση-Ιστορική ανασκόπηση

Η κομποστοποίηση ως μια πανάρχαια μέθοδος η οποία βρίσκει εφαρμογή στη γεωργία και την κηπουρική. Είναι μια οικονομική και κυρίως βιολογική μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων. Η διαδικασία της αποδόμησης γίνεται συνήθως σε σωρούς και επιφανειακά από εκατομμύρια οργανισμών που ζουν μέσα στο κόμποστ. Τα πρώτα παραδείγματα στην χρήση των οργανικών υπολειμμάτων είναι γνωστά εδώ και 40 αιώνες στην Ανατολική και Νοτιοανατολική Ασία, κυρίως στην Κίνα και στην Ινδία όπου ήταν περιοχές με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού και έντονες επισιτιστικές ανάγκες.

Οι πρώτες συστηματικές προσπάθειες κομποστοποίησης γίνονται στην Ινδία τη δεκαετία του '20 από τον Sir Albert Howard (Αγγλος γεωπόνος ο οποίος είχε σαν βάση τον παραδοσιακό τρόπο των Κινέζων στην παραγωγή κόμποστ). Το 1933 επέστρεψε στην Αγγλία και συνέχισε την έρευνά του που την κατέγραψε στο βιβλίο του «η γεωργική μου διαθήκη». Από τότε στην Δυτική Ευρώπη και στην Αμερική επαναλαμβάνονται ερευνητικές και επιχειρηματικές δραστηριότητες στη κατεύθυνση της χρησιμοποίησης διαφόρων υλικών ποικίλων προελεύσεων για την παραγωγή κόμποστ. Έτσι στις ΗΠΑ υπήρξε τη δεκαετία του '60, ένα μεγάλο ρεύμα κατασκευής μονάδων κομποστοποίησης αστικών απορριμμάτων. Σκοπός, των κατά κανόνα ιδιωτικών αυτών επιχειρήσεων, ήταν να αποκομίσουν άμεσο οικονομικό κέρδος από την χρήση μια πρώτης ύλης που διατίθεται δωρεάν. Η αποτυχία τους υπήρξε παταγώδης και αυτό έβλαψε την προοπτική της κομποστοποίησης (αλλά και της ανακύκλωσης γενικότερα), επειδή δημιούργησε δισταγμούς για κάθε νέα απόπειρα. Αντίθετα στην Ευρώπη που η φιλοσοφία του εγχειρήματος ήταν διαφορετική οδηγηθήκαμε σε μια ανάπτυξη των τεχνολογιών και αύξηση του αριθμού των εγκαταστάσεων. Εδώ ήταν κυρίως δημοτικές μη κερδοσκοπικές επιχειρήσεις που προσπάθησαν, έχοντας πρωταρχικό στόχο να διαχειριστούν τα απορρίμματα με επωφελή τρόπο, δίνοντας ταυτόχρονα και κάποια οικολογική διάσταση. Το αποτέλεσμα είναι να λειτουργούν σήμερα στην Ευρώπη οι περισσότερες και μεγαλύτερες επιχειρήσεις του είδους, ενώ οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί παρουσιάζουν σαφή υπεροχή. Μια από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις κομποστοποίησης βρίσκεται στο Βάιστερ της Ολλανδίας με δυναμικό επεξεργασίας 10 εκ τόνους απορριμμάτων ανά έτος. Στις αρχές της δεκαετίας του '80 η εγκατάσταση αυτή παρήγαγε 125000 τόνους κόμποστ, 20000 τόνους χαρτί και 3000 τόνους πλαστικό.

Αν και η κομποστοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα σχεδόν τα βιολογικής προέλευσης υλικά, κατά κανόνα εφαρμόζεται στο ζυμώσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι με τους οποίους γίνεται στις διάφορες περιοχές του κόσμου. Σε χώρες όπου υπάρχει ένδεια χρημάτων και γνώσεις, οι αγρότες στοιβάζουν τα απορρίμματα των οικιών τους και τα υπολείμματα των καλλιεργειών τους και λίγο-πολύ αφήνουν τη φύση να ολοκληρώσει το έργο της αποδόμησης τους. Οι όποιες παρεμβάσεις γίνονται, είναι εμπορικές και βασίζονται στην προσωπική εμπειρία και την με προφορική παράδοση μεταφερόμενη γνώση. Αντίθετα σε χώρες με αναπτυγμένη τεχνολογία και ικανούς χρηματικούς πόρους, λειτουργούν εγκαταστάσεις βιομηχανικού τύπου όπου τα υλικά, οι συνθήκες και τα προϊόντα της κομποστοποίησης είναι σε μεγάλο βαθμό ελεγχόμενα. Εκεί με τις κατάλληλες ανθρώπινες παρεμβάσεις γίνεται προσπάθεια να επιταχυνθεί και να καθοδηγηθεί η φυσική διεργασία της

ζύμωσης με σκοπό την ταχύτερη παραγωγή επιθυμητών προϊόντων. Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά, ιδιαίτερα όσον αφορά τη μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης της διαδικασίας. Έτσι, φυσικές διεργασίες διάρκειας μηνών, ακόμα και ετών, συντελούνται μέσα σε μερικούς μήνες ή και σε εβδομάδες. Αυτό προϋποθέτει ικανή γνώση των περίπλοκων βιολογικών συστημάτων, των χρησιμοποιούμενων υλικών και μεθόδων.

Οι προαναφερόμενες ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν σκοπό να επιταχύνουν αλλά και να καθοδηγούν τις φυσικές διεργασίες της βιοαποικοδόμησης των υπολειμμάτων της ανθρώπινης δραστηριότητας έχει επικρατήσει να ονομάζεται διεθνώς κομποστοποίηση (composting). [99]

1.4.1. Ορισμός της κομποστοποίησης

Ο όρος κομποστοποίηση αναφέρεται στη βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού). Το τελικό προϊόν είναι σταθεροποιημένο και μπορεί να διατεθεί, χωρίς να έχει ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η άμεση εναπόθεση του προϊόντος στο έδαφος του προσδίδει σ' αυτό αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού, ενίσχυση της ανταλλαγής κατιόντων καθώς επίσης και αύξηση της μικροβιακής του δράσης.

Η φράση «αποδομείται βιολογικά» διαφοροποιεί την εν λόγω μέθοδο από τις άλλες μεθόδους διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Ο όρος «οργανικό κλάσμα» έχει να κάνει με τη βιολογική αποδόμηση. Γενικά μόνο τα βιολογικής προέλευσης υλικά μπορούν να βιοαποδομηθούν. Η φράση «ελεγχόμενες συνθήκες» είναι ίσως η πιο σημαντική από τις φράσεις- κλειδιά καθότι διαφοροποιεί τη κομποστοποίηση από τη βιολογική αποδόμηση που λαμβάνει χώρα στη φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων.

Η μέθοδος της κομποστοποίησης συνεισφέρεισε μείωση ή και εξάλειψη του δυναμικού ρύπανσης του προς επεξεργασία υλικού (λάσπης από βιολογικούς σταθμούς, οργανικά υλικά οικιακών απορριμμάτων), οδηγώντας στην παραγωγή προϊόντος κατάλληλου για διάφορες χρήσεις όπως ως πρόσθετο για ρύθμιση εδαφών, για αποκατάσταση εδαφών, ως φυσικό εδαφοβελτιωτικό κλπ. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται με επιτυχία τόσο στις ΗΠΑ όσο και σε πολλές χώρες τις Ευρώπης.

Ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιείται η βιομετατροπή της οργανικής ύλης και η διάρκειά της, εξαρτώνται από την φύση και την διαθεσιμότητα των συστατικών εκείνων τα οποία προσφέρονται ως υπόστρωμα ανάπτυξης και δράσης μιας πολύπλοκης αλληλουχίας εξειδικευμένων μικροβιακών πληθυσμών. Κατά συνέπεια, η ζώσα μικροβιακή μάζα πρέπει να θεωρηθεί ότι αποτελεί αναπόσπαστο συστατικό κάθε σταδίου της πορείας της κομποστοποίησης.

Κατά την έναρξη της βιο-οξειδωτικής διαδικασίας, παρατηρείται ταχεία άνοδος της θερμοκρασίας. Η ένταση και διάρκεια της φάσης αυτής εξαρτάται από την σύνθεση της οργανικής ύλης και ιδιαίτερα από τα συστατικά εκείνα τα οποία αποτελούν πρόσφορο θρεπτικό

υπόστρωμα, όπως για παράδειγμα είναι τα σάκχαρα. Η αποδόμηση κατά την φάση αυτή πραγματοποιείται από θερμοφιλά είδη βακτηρίων, η δράση των οποίων δεν επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες (>60°C) και τις αυξημένες τιμές του pH (8.0). Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του υλικού αυξάνεται ταχύτατα και μέσα σε λίγες μέρες φθάνει μέχρι και τους 70°C. Υπό ορισμένες μάλιστα συνθήκες σε υλικά όπως νωπές μάζες μαλλιού, βάμβακος ή σανού σημειώνονται και εξώθερμες χημικές αντιδράσεις οι οποίες μπορούν να ανεβάσουν την θερμοκρασία πάνω από 200°C και να προκαλέσουν αυτανάφλεξη. [61,62]

Οι ενώσεις του αζώτου κατά την θερμοφιλή φάση αποδομούνται σχεδόν πλήρως και ταχύτατα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παραγωγή σημαντικών ποσών αμμωνίας που ανεβάζουν τις τιμές του pH σε αρκετά υψηλά επίπεδα.

Προοδευτικά, καθώς η διαθεσιμότητα των εύκολα αποδομήσιμων πηγών άνθρακα μειώνεται, εμφανίζονται θερμοφιλοί μύκητες, οι οποίοι αποδομούν ημικυτταρίνες και κυτταρίνες. Αντίθετα η λιγνίνη δεν αποδομείται σε θερμοκρασίες άνω των 65°C. Η αποδόμησή της συντελείται αργότερα σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες (<50°C), όταν επικρατούν πλέον οι λιγνολυτικοί μύκητες.

Με τη πτώση της θερμοκρασίας ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος μικροβιακής δραστηριότητας, όπου επικρατούν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, κυρίως μύκητες που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, οι οποίοι χρησιμοποιούν την κυτταρίνη που έχει απομείνει από το στάδιο της θερμοφιλής φάσης καθώς και την λιγνίνη. Τα συστατικά αυτά χρησιμοποιούνται με βραδύ ρυθμό και οι παραγόμενες ποσότητες θερμότητας δεν μπορούν να αναπληρώσουν τις απώλειες. Κατά συνέπεια η θερμοκρασία της διεργασίας εξακολουθεί να μειώνεται.

Με το πέρας της θερμοφιλής φάσης και κατά την εξέλιξη της μεσόφιλης το υλικό έχει χάσει την αρχική του μορφή, δομή και σύσταση. Έχει αποκτήσει τα χαρακτηριστικά της κομπόστας, όμως επειδή περιέχει ένα σύνολο φυτοτοξικών ουσιών είναι ακόμα ακατάλληλο για χρήση. Το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται ως άωρη (ωμή) κομπόστα. Η ωρίμανση της άωρης κομπόστας είναι επίσης μια βιο-οξειδωτική βραδεία διαδικασία, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να διαρκέσει αρκετούς μήνες. Η φάση της ωρίμανσης δεν έχει την ένταση των προηγούμενων δύο φάσεων και πραγματοποιείται από μια μικτή μεσόφιλη μικροβιακή χλωρίδα. [22,94]

1.4.2. Βασικές αρχές της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια βιολογική διαδικασία σταθεροποίησης οργανικών στερεών και ημιστερεών υποστρωμάτων. Η κομποστοποίηση απαρτίζεται από τέσσερις φάσεις οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- a. Η αρχική μεσόφιλη φάση (**10-42°C**) κατά την οποία η θερμοκρασία αυξάνει ραγδαία
- b. Η θερμοφιλή φάση (**45-75 °C**) η οποία χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες υψηλές θερμοκρασίες. Στην φάση αυτή επικρατούν οι ακτινομύκητες οι οποίοι αποδομούν τις οργανικές ενώσεις ανεβάζοντας τη θερμοκρασία.

c. Και η φάση της ωρίμανσης ή ψυχρόφιλης φάσης (**50-45 °C**) κατά την οποία η οργανική ουσία και η βιολογικά παραγόμενη θερμότητα σταθεροποιούνται. Στη φάση αυτή αναλαμβάνουν τον έλεγχο των βιοαντιδραστήρων οι ευκαριωτικοί μικροοργανισμοί (πρωτόζωα) καθώς επίσης ολοκληρώνονται οι αντιδράσεις νιτροποίησης. **[12,19,21,22]** Κατά την φάση της χουμοποίησης τα βιολογικά προϊόντα των προηγούμενων φάσεων μετατρέπονται σε φουλβικές και χουμικές ενώσεις προσδίδοντας στο τελικό προϊόν της ιδιότητες της συγκράτησης νερού, της ιοντοεναλλαγής και της βιολογικής ενεργότητας. **[77,117]**

Η θερμοκρασία αντανakλά τόσο την προ κομποστοποίησης μικροβιακή δραστηριότητα, όσο και τον τρέχοντα ρυθμό μικροβιακής δραστηριότητας. Η αρχική γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας περιλαμβάνει μια ταχεία μετάβαση από τη μεσόφιλη στη θεμόφιλη μικροχλωρίδα. Το οικοσύστημα του κόμποστ τείνει να περιορίσει τον εαυτό του εξαιτίας των ανασταλτικών υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες οφείλονται στην υπερβολική συσσώρευση θερμότητας. Εάν η διαχείριση γίνεται σωστά (καλός αερισμός, συχνά γυρίσματα), η θεμόφιλη φάση συνεχίζεται έως ότου η παραγωγή θερμότητας γίνει μικρότερη από τη σπατάλη θερμότητας, εξαιτίας της εξάντλησης των εύκολα αφομοιώσιμων υποστρωμάτων. Στη φάση της ωρίμανσης η ποσότητα των εύκολα διαθέσιμων θρεπτικών αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, προκαλώντας μείωση της μικροβιακής δραστηριότητας καθώς και παραγωγής θερμότητας. **[13,96]**

Ο απώτερος στόχος της κομποστοποίησης είναι η παραγωγή ενός χουμικού προϊόντος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βελτίωση του εδάφους και στη φυτική ανάπτυξη. Δύο όροι αναφέρονται στη βιβλιογραφία, ο όρος «σταθεροποίηση» και ο όρος «ωρίμανσης». Αυτοί οι δύο δεν είναι συνώνυμοι μεταξύ τους. Η σταθεροποίηση είναι ένα στάδιο της αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας και μια λειτουργία της βιολογικής δραστηριότητας. Η ωρίμανση είναι μια όργανο-χημική κατάσταση του κόμποστ η οποία δείχνει την παρουσία ή απουσία φυτοτοξικών οργανικών οξέων. Η ωρίμανση σχετίζεται με τη φυτοτοξικότητα η οποία προκύπτει από ανόργανα χημικά και την αλατότητα του προϊόντος. Άλλοι παράγοντες που εμπλέκονται στη φυτοτοξικότητα και οδηγούν στην αναστολή της βλάστησης και της φυτικής ανάπτυξης είναι τα ιχνοστοιχεία, τα βαρέα μέταλλα, η αμμωνία, το CO₂. **[61,107]**

1.4.3. Ο ρόλος των μικροοργανισμών

Οι μικροοργανισμοί κατέχουν πρωτεύοντα ρόλο στην διεργασία της κομποστοποίησης καθώς συμμετέχουν ενεργά στον κύκλο του άνθρακα και του αζώτου. Κατά την αποσύνθεση του οργανικού υλικού, ο άνθρακας ενσωματώνεται στην βιομάζα των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στην αποσύνθεση. Στη συνέχεια με την οξείδωση των οργανικών ενώσεων οδηγούμαστε στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Πολλές ενώσεις είναι εύκολα αποικοδομήσιμες ενώ άλλες είναι περισσότερες ανθεκτικές όπως η λιγνίνη, οι πολυφαινόλες κλπ.

Πολλά είδη μικροοργανισμών εμπλέκονται στον κύκλο του αζώτου. Κατά την αποσύνθεση του οργανικού υλικού απελευθερώνεται το άζωτο σε ανηγμένη μορφή, που εμπεριέχεται στις πρωτεΐνες, στα αμινοξέα και άλλες αζωτούχες οργανικές ενώσεις και παράγεται αμμωνία (αμμωνιοποίηση). Στη συνέχεια μέσω των χημειολιθότροφων βακτηρίων Nitrosomonas, nitrobacter κλπ, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη ιόντα και τα νιτρώδη σε νιτρικά ιόντα (νιτροποίηση).

Η κομποστοποίηση είναι μια διαδοχή μικροβιακών δραστηριοτήτων, κατά τις οποίες το περιβάλλον που δημιουργείται από μια ομάδα μικροοργανισμών ενθαρρύνει τη δραστηριότητα των ομάδων που τους διαδέχονται. Διαφορετικά είδη μικροοργανισμών είναι ενεργά σε διαφορετικές στιγμές στο σωρό του κόμποστ. Τα βακτήρια έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στην διαδικασία της αποσύνθεσης και είναι τα πρώτα που αναλαμβάνουν δράση στο σωρό, χρησιμοποιώντας γρήγορα τα εύκολα αφομοιώσιμα θρεπτικά συστατικά της αποσύνθεσης (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και σάκχαρα), γρηγορότερα από κάθε άλλο τύπο μικροοργανισμών.

Στο πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης, όπου οι θερμοκρασίες αυξάνονται από το επίπεδο των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος προς το θερμοφίλο επίπεδο, κυριαρχούν τα μεσόφιλα βακτήρια τα οποία πολλαπλασιάζονται γρήγορα, καθώς χρησιμοποιούν τις απλές διαθέσιμες οργανικές ενώσεις. Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 45°C οι μεσόφιλοι πληθυσμοί πεθαίνουν και κυριαρχούν τα θερμοφίλα βακτήρια όπως το γένος Bacillus. [46,102]

Οι ακτινομύκητες και οι μύκητες δεν μπορούν να αντέξουν τόσο υψηλές θερμοκρασίες όσο τα θερμοφίλα βακτήρια, γι' αυτό απουσιάζουν από το στάδιο αυτό. Οι μύκητες οι οποίοι συναγωνίζονται με τα βακτήρια για την διαθέσιμη τροφή, παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της κομποστοποίησης καθώς ο σωρός γίνεται ξηρότερος, αφού οι μύκητες είναι ικανοί να ανεχθούν περιβάλλοντα με χαμηλά ποσοστά υγρασίας καλύτερα από ότι τα βακτήρια. Οι μύκητες έχουν την ικανότητα να διασπούν τις σύνθετες ενώσεις κάτω από κανονικές έως μέτριες θερμοκρασίες, όχι όμως και τις πολύ υψηλές. Κάποιοι τύποι μυκήτων έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε άζωτο από ότι τα βακτήρια δεν μπορούν να διασπαστούν. Τα πιο κοινά γένη μυκήτων είναι αυτά των Penicillium και Aspergillus.

Τα βακτήρια και οι μύκητες που συμμετέχουν στην αποσύνθεση του υλικού μπορούν να ταξινομηθούν ως μεσόφιλοι και θερμοφίλοι.

Οι μεσόφιλοι είναι αυτοί που αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 25 και 45°C και κυριαρχούν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης στα αρχικά στάδια της διεργασίας, όταν οι θερμοκρασίες είναι σχετικά χαμηλές. Οι οργανισμοί αυτοί χρησιμοποιούν το διαθέσιμο οξυγόνο για να μετατρέψουν τον οργανικό άνθρακα του υποστρώματος, σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, παράγοντας ενέργεια ενώ ταυτόχρονα οι μικροοργανισμοί μεταβολίζουν τα απόβλητα. Όσο ο σωρός είναι σε κάποιο ικανοποιητικό μέγεθος για να απομονώσει τα εσωτερικά στρώματά του από τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος και δεν υπάρχει τεχνητός αερισμός ή γυρίσματα του σωρού, η θερμότητα παγιδεύεται στο εσωτερικό του και έτσι στα μονωμένα εσωτερικά στρώματα οι θερμοκρασίες θα αυξηθούν πάνω από τα όρια ανοχής των μεσόφιλων οργανισμών.[43]

Σ' αυτό το σημείο, ενεργοποιούνται οι θερμοφιλοι οργανισμοί οι οποίοι προτιμούν θερμοκρασίες μεταξύ 45 και 70°C και παράγουν ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας από ότι οι μεσόφιλοι έτσι ώστε η θερμοκρασία που παρατηρείται αρκεί για να σκοτώσει τα περισσότερα παθογόνα και ζιζάνια. Όσο υπάρχουν πηγές θρεπτικών και ενέργειας οι μικροοργανισμοί συνεχίζουν τη δράση της αποδόμησης του υποστρώματος. Όταν όμως αρχίζουν να εξαντλούνται, οι θερμοφιλοι οργανισμοί πεθαίνουν και η θερμοκρασία του σωρού πέφτει. Έτσι οι μεσόφιλοι οργανισμοί κυριαρχούν και πάλι μέχρι στιγμή που θα έχουν χρησιμοποιηθεί όλες οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας. [17,37]



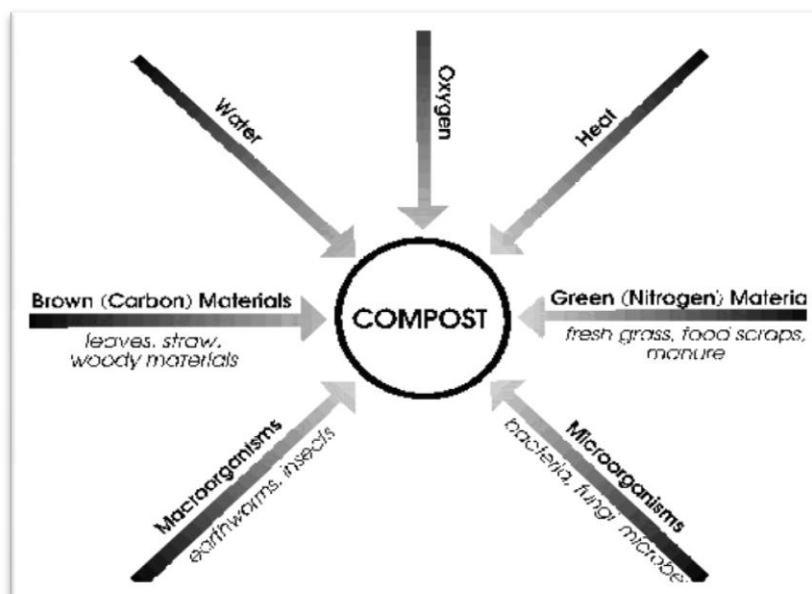
Εικόνα 7. Η πυραμίδα των μικροοργανισμών κατά την διεργασία της κομποστοποίησης

1.4.4. Ο ρόλος των περιβαλλοντικών παραμέτρων

Η κομποστοποίηση στηρίζεται στην παρουσία κατάλληλων πληθυσμών μικροοργανισμών. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την δραστηριότητά τους είναι αυτές που καθορίζουν τόσο το ρυθμό και την έκταση της διεργασίας όσο και την ποιότητα του παραγόμενου τελικού σταθεροποιημένου οργανικού προϊόντος (compost). Οι σημαντικότεροι παράγοντες όπως απεικονίζονται και στο παρακάτω σχήμα είναι: Η αρχική σύσταση του προς κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος

1. Ο αερισμός της μάζας
2. Η θερμοκρασία
3. Η υγρασία
4. Ο λόγος C/N
5. Οι τιμές pH

6. Φυτοτοξικότητα- φυτοθρεπτικότητα



Εικόνα 8. Παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό προϊόν

1.4.4.1. Η αρχική σύσταση του προς κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος

Η σωστή προετοιμασία του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων προς κομποστοποίηση αποτελεί την βασικότερη παράμετρο για την επιτυχία των διεργασιών. Ο σωρός χρειάζεται την κατάλληλη αναλογία από υλικά πλούσια σε άνθρακα και άζωτο. Η ταχύτητα αποσύνθεσης επηρεάζεται άμεσα από την ανάμειξη και την αναλογία διαφόρων ειδών υλικών. Η επίτευξη ιδανικού μίγματος είναι περισσότερο θέμα εμπειρίας παρά επιστημονικής ακρίβειας. Η ιδανική αναλογία είναι περίπου 3 μέρη υλικών πλούσια σε άνθρακα προς 1 μέρος πλούσιο σε άζωτο. Υπερβολική ποσότητα άνθρακα επιβραδύνει την αποσύνθεση ενώ τα πολλά αζωτούχα μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστες οσμές. Ο άνθρακας αποτελεί πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς ενώ αντίστοιχα το άζωτο πρωτεϊνών.

Η οργανική μάζα που προορίζεται για κομποστοποίηση συνίσταται από στερεά ουσία, νερό και αέρια (οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα), σε σχετικά σταθερή κατανομή. Η σταθερότητα της κατανομής των διαφόρων συστατικών είναι πολύ σημαντική για την εξέλιξη της διεργασίας και την ποιότητα του προϊόντος. Αν η διεργασία εξελίσσεται ομαλά, οι παράμετροι αυτές διαφοροποιούνται σε μικρό εύρος τιμών. [51, 102]

Άλλη παράμετρος που επηρεάζει την κομποστοποίηση είναι το μέγεθος των κόκκων του υλικού. Ο λόγος επιφάνεια/ όγκο των κόκκων έχει άμεση επίδραση στον τρόπο και το ρυθμό της μικροβιακής μετατροπής του οργανικού κλάσματος σε κόμποστ. Η μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού έχει ως αποτέλεσμα ένα καλύτερο και πιο ομοιογενές υπόστρωμα

ικανό- απαραίτητα την μικροβιακή δράση. Μια κοκκομετρική σύσταση του υλικού αποτελούμενη από τεμαχίδια με διάμετρο λίγων χιλιοστών μέχρι και πέντε εκατοστών περίπου θεωρείται ικανοποιητική.

Επίσης σημαντικές είναι οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας και του οξυγόνου που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της μικροβιακής δράσης. Όταν το σχετικό ποσοστό τους είναι χαμηλότερο από μια κρίσιμη τιμή, τότε ο μικροβιακός μεταβολισμός επιβραδύνεται ή αναστέλλεται, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη επιβράδυνση ή διακοπή της διεργασίας της κομποστοποίησης. [12,104]

1.4.4.2. Ο αερισμός της μάζας

Η παρουσία οξυγόνου θεωρείται πολύ σημαντική τόσο για τους μικροοργανισμούς όσο και για την διάσπαση των οργανικών ουσιών σε μια αερόβια διεργασία όπως η κομποστοποίηση. Γι αυτό το λόγο η παροχή του οξυγόνου στο σωρό πρέπει να γίνεται είτε τεχνικά με την χρήση δυναμικών συστημάτων αερισμού είτε μέσω του γυρίσματος του υλικού. Ο αερισμός έχει πολλές λειτουργίες κατά την διεργασία της κομποστοποίησης:

- ✚ Παρέχει οξυγόνο και βοηθάει τον αερόβιο μεταβολισμό
- ✚ Ελέγχει την θερμοκρασία
- ✚ Απομακρύνει την υγρασία όπως και αέρια προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού όπως το διοξείδιο του άνθρακα κλπ. [102,104]

Είναι επίσης γνωστό ότι η συχνή ανάδευση του υλικού έχει επίδραση στις παραγόμενες οσμές αλλά και την βελτίωση του ρυθμού κομποστοποίησης. Όσο συχνότερες είναι οι αναστροφές, τόσο πιο ήπιες είναι οι εκπομπές οσμών λόγω αποτροπής ανάπτυξης αναερόβιων συνθηκών. Έχει παρατηρηθεί επίσης, ότι οι εντονότερες οσμές εμφανίζονται στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης και αμέσως μετά την πραγματοποίηση κάθε γυρίσματος. [12,]

1.4.4.3. Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την εκτίμηση του ρυθμού της κομποστοποίησης, καθώς είναι απόρροια της μικροβιακής βιολογικής δραστηριότητας. Για κάθε μικροβιακό πληθυσμό, οι ρυθμοί ανάπτυξης αυξάνονται με την θερμοκρασία αλλά μειώνονται γρήγορα μετά την υπέρβαση του επιπέδου της αρίστης θερμοκρασίας.

Με βάση την εξέλιξη των θερμοκρασιών η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα στάδια: Το μεσόφιλο (αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης) στο οποίο η θερμοκρασία έχει αυξητική τάση με τιμές έως 40-50°C, το θερμόφιλο, στο οποίο η θερμοκρασία φτάνει ή ξεπερνά τους 65°C και έπειτα ακολουθείται η πτώση της θερμοκρασίας και τέλος η ωρίμανση όπου αρχίζει συνήθως μετά την 8-12^η εβδομάδα κομποστοποίησης.

Για γρήγορους ρυθμούς κομποστοποίησης οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>60°C) καλό είναι να αποφεύγονται, καθώς εμποδίζουν την μικροβιακή δραστηριότητα ή και επιφέρουν το θάνατο σε αρκετούς τύπους μικροοργανισμών. Αν η θερμοκρασία του σωρού είναι κάτω από τους 20°C, τότε η μικροβιακή δραστηριότητα είναι χαμηλή, ενώ όταν υπερβαίνει τους 20°C αρχίζει να αυξάνεται καθώς οι ρυθμοί της ενζυμικής δραστηριότητας διπλασιάζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας ανά 10°C. [3,12,47,51,102,104]

1.4.4.4. Η υγρασία

Όλοι οι μικροοργανισμοί χρειάζονται νερό για τις φυσιολογικές τους λειτουργίες ενώ η υγρασία είναι σημαντικός παράγοντας για την μεταφορά πολλών μικροβίων και τη διευκόλυνση του αποικισμού των αποβλήτων. Επίσης τα θρεπτικά συστατικά χρειάζεται να διαλυθούν στο νερό πριν την αφομοίωσή τους.

Σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι η βέλτιστη μικροβιακή δραστηριότητα επιτυγχάνεται με την μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό, η οποία όμως δεν περιορίζει την διάχυση του οξυγόνου. Ανάλογα με το είδος των αποβλήτων, η μικροβιακή δραστηριότητα χρειάζεται ένα ποσοστό υγρασίας που κυμαίνεται από 40-70%. Ποσοστό υγρασίας κάτω από 35-40% αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την μικροβιακή δραστηριότητα. [3,12,47,54, 102,104]

1.4.4.5. Ο λόγος C/N

Η αναλογία C/N χαρακτηρίζεται ως δείκτης της βιοδιαθεσιμότητας των ουσιών που προσλαμβάνουν τα μικρόβια. Η μέτρηση σχετίζεται με την αναλογία του άνθρακα και του αζώτου που απαντάται στους ίδιους μικροοργανισμούς. Συνήθως οι μικροοργανισμοί περιέχουν 50% C, 5% N και 0,25-1% P.

Υψηλή αναλογία C/N εμποδίζει την ανάπτυξη των οργανισμών που αποσυνθέτουν το υλικό του σωρού, ενώ χαμηλή αναλογία C/N επιταχύνει την μικροβιακή αύξηση και την αποσύνθεση των αποβλήτων. Η βέλτιστη αναλογία C/N είναι ανάμεσα στο 25-40 αλλά οι τιμές εξαρτώνται από το είδος του υποστρώματος. [12,45,102,104]

1.4.4.6. Οι τιμές pH

Το pH μιας ουσίας είναι η μέτρηση της αλκαλικότητας ή οξύτητας της αναλογίας με την συγκέντρωση των ιόντων του υδρογόνου. Οι οργανικές ενώσεις που μπορούν να κομποστοποιηθούν έχουν pH από 3 έως 11 ενώ οι βέλτιστες τιμές βρίσκονται μεταξύ 5,5 και 8,0.

Τα βακτήρια προτιμούν τιμές pH μεταξύ 6,0 και 7,5 ενώ οι μύκητες 5,5 με 8,0. Όταν οι τιμές pH πέφτουν κάτω από 6,0 οι μικροοργανισμοί και ιδιαίτερα τα βακτήρια, πεθαίνουν με συνέπεια την καθυστέρηση της αποσύνθεσης.

Κατά τα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης σχηματίζονται οργανικά οξέα και το υπόστρωμα γίνεται όξινο, με pH γύρω στην τιμή 5. Σ' αυτό το σημείο οι μύκητες που αντέχουν το όξινο περιβάλλον κατέχουν ένα σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση. Οι μικροοργανισμοί στην συνέχεια διασπών τα οξέα και οι τιμές του pH αυξάνονται σταδιακά προς ένα ουδέτερο εύρος, γύρω στο 7 ή ακόμα υψηλότερα στο 8,5. Όσο η τιμή του pH αυξάνεται, αυξάνεται και ο ρόλος των βακτηριών στην κομποστοποίηση. Η παραμονή του Ph σε όξινα επίπεδα αντικατοπτρίζει ένα μη ώριμο προϊόν (ή ένα προϊόν εν εξελίξει). [3,12,47,51,102,104]

1.4.4.7. Θρεπτικά συστατικά

Τον πρωταγωνιστικό ρόλο στην διεργασία της κομποστοποίησης παίζουν οι μικροοργανισμοί για την δράση των οποίων απαραίτητη είναι η συγκέντρωση και η αναλογία θρεπτικών συστατικών. Τα βασικά θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί σε μεγάλες ποσότητες είναι ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K).

Τον άνθρακα τον χρειάζονται ως βασική πηγή ενέργειας αλλά και για να συνθέσουν τις πρωτεΐνες σε συνδυασμό με το άζωτο, να σχηματίσουν τα κύτταρα και να εξασφαλίσουν την αναπαραγωγή τους. Το κάλιο και ο φώσφορος είναι βασικά συστατικά για την κυτταρική διαίρεση και το μεταβολισμό. Σε ένα σύστημα κομποστοποίησης, ο άνθρακας ή το άζωτο είναι συνήθως οι περιοριστικοί παράγοντες για μια αποτελεσματική αποσύνθεση. Οι μικροοργανισμοί επίσης χρειάζονται ιχνοστοιχεία, όπως βόριο, κοβάλτιο, σίδηρο, μαγνήσιο, μολυβδένιο, σελήνιο, νάτριο, ψευδάργυρο. Αν και αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι βασικά για τη διατήρηση της ζωής τους, συγκεντρώσεις έστω λίγο μεγαλύτερες από ενδεικνυόμενες μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς.

Ακόμα και αν υπάρχουν τα απαραίτητα θρεπτικά σε επαρκείς ποσότητες, η χημική τους σύσταση μπορεί να μην τα καθιστά απαραίτητα σε ορισμένους ή όλους τους μικροοργανισμούς. Η ικανότητα της χρησιμοποίησης των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από τα ένζυμα του κάθε μικροοργανισμού. [12,45,102,104]

1.4.4.8. Φυτοθρεπτικότητα- Φυτοτοξικότητα

Για να χρησιμοποιηθεί το παραγόμενο κόμποστ με ασφάλεια στο έδαφος, η κύρια απαίτηση είναι ο βαθμός σταθερότητας ή ωριμότητας, γεγονός που συνεπάγεται μια σταθερή ύλη και στην απουσία φυτοτοξικών ενώσεων.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αναπτυχθεί η μέθοδος της φυτοτοξικότητας, η οποία είναι μια

απλή και γρήγορη βιοδοκιμή σε φυτά μετρώντας τη φύτρωση του *Lepidiumsativum*, κοινώς κάρδαμο, που παρουσιάζει γρήγορη ανάπτυξη σε υδατικά εκχυλίσματα του κόμποστ. Κατά τη διαδικασία της φυτοτοξικότητας μετράται η επί τοις εκατό βλαστικότητα όπως και το μήκος της ρίζας του κάθε σπόρου.

Ως μη τοξική φάση μπορεί να θεωρηθεί η περίοδος που ο δείκτης βλαστικότητας είναι μεγαλύτερος από το 70-80%. Το τεστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του τέλους την ενεργής φάσης της κομποστοποίησης, αλλά δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με το ρυθμό της αποσύνθεσης των οργανικών υλικών.

Η τοξικότητα στα φυτά οφείλεται στην αμμωνία αλλά και σε άλλες ενώσεις που δημιουργούνται κατά την διάρκεια της αποσύνθεσης, όπως το οξείδιο του αιθυλενίου, τα οργανικά οξέα. Έχει αποδειχθεί ότι το οξικό οξύ σε ποσότητες μεγαλύτερες των 300ppm είναι τοξικό για την ανάπτυξη των φυτών. Γενικότερα η φυτοτοξικότητα δεν προέρχεται μόνο από μια ένωση αλλά από την συνδυαστική επίδραση αρκετών οργανικών ενδιάμεσων προϊόντων της αποσύνθεσης. [102]

1.4.4.9. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Με την αγωγιμότητα (E.C.) εκφράζουμε τη συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο οργανικό υλικό μας ή στο υπόστρωμα μας. Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν αποτελεί μειονέκτημα για τη διαδικασία του Composting αλλά απαιτεί, ιδιαίτερη προσοχή ως προς την ποσότητα που θα εφαρμοστεί κατά στρέμμα ή ως προς την αναλογία συμμετοχής του στην παρασκευή υποστρωμάτων. [12,86,104]

1.4.5. Συστήματα κομποστοποίησης

Η ταξινόμηση των συστημάτων κομποστοποίησης γίνεται με βάση διάφορα κριτήρια. Η πιο βασική διάκριση μεταξύ των συστημάτων κομποστοποίησης είναι αν το υλικό περιέχεται σε έναν αντιδραστήρα ή όχι. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αντιδραστήρα είναι τα κλειστά συστήματα, ενώ αυτά που δεν χρησιμοποιούν είναι τα ανοιχτά συστήματα. Υπάρχουν και τα μικτά συστήματα στα οποία γίνεται συνδυασμός των ανοιχτών και κλειστών συστημάτων.

Μια αδρομερής ταξινόμηση είναι η παρακάτω:

1. Ανοιχτά συστήματα
2. Κλειστά συστήματα
3. Μικτά συστήματα (Συνδυασμός ανοιχτών και κλειστών συστημάτων).

1.4.5.1. Ανοιχτά συστήματα

Στα ανοιχτά συστήματα, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε ανοιχτούς χώρους, χωρίς την χρήση σοβαρού μηχανολογικού εξοπλισμού. Στα ανοιχτά συστήματα συγκαταλέγονται τα σειράδια και οι σταθεροί αεριζόμενοι σωροί. Οι βασικοί μηχανισμοί που ακολουθούνται και στα δύο συστήματα είναι παρόμοιοι, ο εξοπλισμός όμως που χρησιμοποιείται διαφέρει σημαντικά. Στην περίπτωση των σειραδιών το οξυγόνο εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμά τους, ενώ στην περίπτωση των σταθερών σωρών γίνεται εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φυσητήρες.

↳ Σειράδια

Στη μέθοδο αυτή το μίγμα προς κομποστοποίηση τοποθετείται σε μακριές παράλληλες γραμμές, γνωστές ως σειράδια. Τα σειράδια απλώνονται συνήθως σε ανοιχτό χώρο και μόνο σε περιοχές με υψηλή βροχόπτωση τα σειράδια καλύπτονται από κάποιο στέγαστρο.



Εικόνα 9 και 10. Η προς κομποστοποίηση ποσότητα των αποβλήτων ελαιοτριβείων σε μορφή σειραδιών

Η κομποστοποίηση με την μέθοδο αυτή βασίζεται στον φυσικό αερισμό των σειραδιών, ο οποίος επιτυγχάνεται με συχνή αναμόχλευση του σωρού επιτυγχάνοντας έτσι:

- Αερισμό του σωρού και παροχή οξυγόνου στους μικροοργανισμούς ώστε ο σωρός να μην καταστεί αναερόβιος.
- Καταστροφή των συσσωματωμάτων των οργανικών ουσιών που παρατηρούνται εξαιτίας της έκλυσης υγρασίας κατά την κομποστοποίηση. Τα συσσωματώματα αυτά γίνονται με τον χρόνο πρακτικά αδιαπέραστα ως προς τον αέρα δημιουργώντας ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες.
- συνεχή ανάμιξη των υλικών για την καλύτερη επαφή των μικροοργανισμών με το υπόστρωμα και την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού.

Η θερμοκρασία στο κέντρο του σειραδιού, μπορεί να φτάσει και τους 65°C και διατηρείται σταθερή μέχρι και 10 ημέρες. Τον χειμώνα οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται

από 55-60°C. Οι θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια του σειραδίου είναι χαμηλότερες και τείνουν να εξισωθούν με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

↳ **Αεριζόμενοι σταθεροί σωροί.**

Στη μέθοδο αυτή, το μίγμα των υλικών τοποθετείται σε σταθερό σωρό στον οποίον εφαρμόζεται εξαναγκασμένος αερισμός. Η μέθοδος αναπτύχθηκε με στόχο την μείωση της απαιτούμενης έκτασης και την βελτιστοποίηση της διεργασίας της κομποστοποίησης. [99]

1.4.5.2. Κλειστά συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, κατακόρυφους, οριζόντιους ή περιστρεφόμενου τυμπάνου, όπου υπάρχει η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου της παροχής αέρα, θερμοκρασίας, του pH και της υγρασίας.

Ο έλεγχος της διαδικασίας γίνεται μέσω της εμφύσησης αέρα κατ' αντιρροή προς τα υλικά προς κομποστοποίηση (στην συγκεκριμένη περίπτωση φύλλα, πυρήνας και κασίγαρος). Εναλλακτικά ο αερισμός επιτυγχάνεται επίσης με την πτώση από το ένα επίπεδο στο άλλο, είτε με την συνεχή ανάμιξη από ειδικούς αναμοχλευτήρες.

Λόγω του μεγάλου ύψους των αντιδραστήρων είναι δύσκολο να διατηρηθούν οι βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας σε όλα τα σημεία της κατακόρυφης στήλης. Γενικά, οι κατακόρυφοι αντιδραστήρες βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην σταθεροποίηση της ιλύος όπου με την χρήση κάποιου πρόσθετου υλικού μπορεί να επιτευχθεί μια σχετικά ομοιογενής μάζας.

Εξαιτίας του μεγάλου κόστους των κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης, ο χρόνος παραμονής του προϊόντος που ετοιμάζεται για κομποστοποίηση είναι μικρός, <5 ημέρες, με αποτέλεσμα να μην παράγεται ένα σταθεροποιημένο τελικό προϊόν. Έτσι απαιτείται συνήθως συμπληρωματική σταθεροποίηση σε σωρούς. Στην ουσία οι κλειστοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούνται για να επιτελέσουν το πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης κατά το οποίο παράγονται οι περισσότερες οσμές και ο έλεγχος της διεργασίας είναι κρίσιμος. [99]

1.4.6. Ελληνική νομοθεσία –κατάσταση στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη βιοξείδωσηετερογενώνοργανικών υλικών, από ετερογενείς και κυρίως ετερότροφους μικροοργανισμούς. Το τελικό προϊόν της διαδικασίας αυτής είναι πλούσιο σε οργανική ουσία με υψηλό χουμικό περιεχόμενο και χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό υλικό αλλά και ως υπόστρωμα και είναι γνωστό ως κόμποστ.

Η πρόταση Οδηγίας διαφοροποιεί το κόμποστ και την κομποστοποίηση που αναφέρονται μόνο σε διαχωρισμένα στην πηγή βιοαπορρίμματα, από τασταθεροποιημέναβιοαπορρίμματα

(stabilizedbiowaste) που προέρχονται από την μηχανική / βιολογικήεπεξεργασία (mechanical / biologicaltreatment – MBT) σύμμεικτων ήυπολειμματικών απορριμμάτων, ακόμηκαι στην περίπτωση που τα τελευταία πληρούν τις ποιοτικές προδιαγραφές του κόμποστ. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα, καθώς οιμοναδικές εγκαταστάσεις βιολογικής επεξεργασίαςΑΣΑ που λειτουργούν ή κατασκευάζονταιεφαρμόζουν μηχανική διαλογή σε σύμμεικτα απορρίμματα δηλαδή MBT τεχνολογίες. Άμεση συνέπεια της ψήφισης μιας τέτοιας νομοθεσίας είναι η απαγόρευση χρήσης τουυλικού που παράγεται από αυτές τις εγκαταστάσεις και το οποίο σήμερα εμείς ονομάζουμε «κόμποστ» ενώπροτεινόμενη Οδηγία «σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα», σε αγροτική γη που χρησιμοποιείται για τηνπαραγωγή τροφών και ζωοτροφών.

Συνεπώς σύμφωνα με την οδηγία 98/2008, είναι υποχρεωτική για όλα τα μέλη-κράτη η κομποστοποίηση να περιλαμβάνεται στην ανακύκλωση και προηγείται στην ιεράρχηση έναντι των άλλων μεθόδων επεξεργασίας όπως είναι η καύση και η ταφή. [83,88,111]

1.4.7. Προϋποθέσεις για αποτελεσματική κομποστοποίηση

Έχει διαπιστωθεί ότι η ικανότητα αποδόμησης της μικροβιακής χλωρίδας που συμμετέχει στην κομποστοποίηση αυξάνει στην θερμοφιλή περιοχή των 50-55°C. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που δίνουν το προβάδισμα στις μεσόφιλες συνθήκες. Είναι πολύ πιθανό μια ενδιάμεση περιοχή που να επιτρέπει την αλληλοεπικαλυπτόμενη ανάπτυξη μεσόφιλων και θερμοφίλων πληθυσμών να είναι η πλέον ενδεδειγμένη. Πάντως, η επιλογή των θερμοκρασιακών συνθηκών εξαρτάται από το είδος του υποστρώματος και τους επιδιωκόμενους στόχους. Υποστρώματα με εξαιρετικά υψηλό ποσοστό υγρασίας δύσκολα κομποστοποιούνται από μόνα τους.

Η αδυναμία της κομποστοποίησης οφείλεται στην υπερβολική περιεκτικότητα **του μίγματος πυρήνα, κατσίγαρου και φύλλων** σε νερό που έχει ως αποτέλεσμα τον κορεσμό των ελεύθερων πόρων γεγονός που παρεμποδίζει τη μεταφορά οξυγόνου στην κομποστοποιημένη μάζα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος ενδείκνυται η εφαρμογή έντονης ανάμειξη, έτσι ώστε να διευκολύνεται η μεταφορά οξυγόνου στις αποκαλυπτόμενες κατά την ανάμειξη επιφάνειες.

Για να υπερπηδηθούν οι δυσκολίες της μεταφοράς οξυγόνου σε αυτές τις περιπτώσεις έχουν υιοθετηθεί οι ακόλουθες τρεις προσεγγίσεις:

➤ Ανακύκλωση του προϊόντος

Στη μέθοδο αυτή γίνεται ανάμειξη του ανακυκλωμένου προϊόντος με την αφυδατωμένη πρώτη ύλη. Πρόκειται για απλή κομποστοποίηση λάσπης δεδομένου ότι δεν προστίθενται ογκώδη υλικά και το ανακυκλούμενο κλάσμα προέρχεται αποκλειστικά από την ίδια την λάσπη.

➤ Προσθήκη στη λάσπη «πρόσθετου» οργανικού υλικού

Ο όρος πρόσθετο αναφέρεται στο οργανικό υλικό το οποίο προστίθεται στο υπόστρωμα τροφοδοσίας με στόχο τη μείωση του ειδικού βάρους και την αύξηση του πορώδους ώστε να διευκολύνεται ο αερισμός ή η αύξηση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών στο μείγμα. Το ιδανικό «πρόσθετο» πρέπει να είναι ξηρό, να έχει μικρό ειδικό βάρος και να βιοαποδομείται σχετικά εύκολα.

➔ Προσθήκη ογκώδους χονδρόκοκκου υλικού

Στη μέθοδο αυτή γίνεται προσθήκη ξύλου ή άλλων παρεμφερών υλικών στη λάσπη τα οποία στη συνέχεια μπορούν να διαχωριστούν από το τελικό προϊόν της κομπόστας και να επαναχρησιμοποιηθούν.

Παρά την πολυπλοκότητα από μικροβιακής απόψεως του οικοσυστήματος οι αρχές που διέπουν συνολικά την πορεία της διεργασίας της κομποστοποίησης είναι σχετικά απλές. Αφορούν κυρίως την αναλογία πηγών άνθρακα και αζώτου τις πιθανές ανεπιθύμητες προσμίξεις και την ορθή διαχείριση του καθεστώτος αερισμού. Δυστυχώς ορισμένες εμπορικές μονάδες παραγωγής προϊόντων κομποστοποίησης παραβλέπουν ή δεν εφαρμόζουν σωστά τις αρχές της μεθόδου με αποτέλεσμα να κυκλοφορούν στην αγορά προϊόντα χαμηλής ποιότητας, φυτοτοξικά και ασταθή. Το πρόβλημα περιπλέκεται και γίνεται ακόμα πιο οξύ από την έλλειψη νομικού και εμπορικού πλαισίου που να καθορίζει προδιαγραφές σχετικά με την διαδικασία της κομποστοποίησης και την ποιότητα των προϊόντων της. [102]

1.4.8. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κομποστοποίησης

Από τη φύση της μεθόδου η κομποστοποίηση έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με όλες τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες, γεγονός που την καθιστά αναντικατάστατη επιλογή στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης αποβλήτων. Παρακάτω κωδικοποιούνται αυτά τα πλεονεκτήματα.

- ✿ Με την συγκομποστοποίηση, η οποία είναι μια μέθοδος πολύ καλύτερη από περιβαλλοντικής άποψης, καθώς η οργανική ύλη ανακτάται ολοκληρωτικά
- ✿ Γενικά η κομποστοποίηση έχει ένα σταθερό κόστος και το τελικό προϊόν είναι εμπορεύσιμο σαν ένα υψηλής ποιότητας βελτιωτικό εδάφους.
- ✿ Χρειάζεται χαμηλό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος σε σχέση με όλες τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες, με θετική επίδραση στα δημοτικά τέλη.
- ✿ Η διεργασία μπορεί να ολοκληρωθεί σε διάστημα λιγότερο των 6 μηνών, γεγονός που την καθιστά άμεσα εφαρμοζόμενη επιλογή σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες που απαιτούν περισσότερο χρόνο.
- ✿ Παραγωγή προϊόντος προστιθέμενης αξίας το οποίο μπορεί χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές-αποφεύγοντας τη χρήση συνθετικών λιπασμάτων.
- ✿ Είναι πολύ απλούστερη τεχνολογία και με μικρή εξάρτηση από τους προμηθευτές.
- ✿ Η συνολική διαχείριση με κομποστοποίηση έχει καλύτερες επιδόσεις σχετικά με τις

κλιματικές αλλαγές και την ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με άλλες μεθόδους διαχείρισης.

- ✿ Έχει μεγάλη κοινωνική αποδοχή με συνέπεια να μπορούν να ολοκληρωθούν οι σχετικές επενδύσεις γρηγορότερα από οποιεσδήποτε άλλες, και πιο κοντά στις περιοχές παραγωγής των αποβλήτων, με αποτέλεσμα μικρότερο κόστος μεταφοράς τους.

Και ελάχιστα μειονεκτήματα της κομποστοποίησης ως μέθοδο διαχείρισης αποβλήτων είναι τα εξής:

- ✿ Μειονέκτημα της κομποστοποίησης είναι ότι μπορεί να υπάρχουν δυσάρεστες οσμές και εκπομπές βιοαερίων που συνυπάρχουν κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης. Έτσι απαιτείται ένας καλός σχεδιασμός των εγκαταστάσεων και μια αποτελεσματική διαχείριση. **[1,3,22,83,107,111,119,123]**

1.5. Το προϊόν της κομποστοποίησης: Κόμποστ

Το κόμποστ ως γνωστόν είναι μια πηγή οργανοχουμικών προϊόντων. Το ώριμο κόμποστ είναι το υλικό εκείνο στο οποίο η βιολογική δραστηριότητα είναι πολύ αργή Όλα τα εύκολα αποικοδομούμενα υλικά έχουν διασπασθεί αφήνοντας μόνο τις πολύπλοκες οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομούνται εύκολα. Η «ωρίμανση» και η «σταθερότητα» του κόμποστ αποτελούν δύο διαφορετικές ιδιότητες αν και η διαφορά είναι πολύ λεπτή. Η σταθερότητα ορίζεται με βάση την βιοδιαθεσιμότητα του οργανικού υλικού. Αυτό σημαίνει ότι συνδέεται με το ρυθμό της αποσύνθεσης, δηλαδή το ρυθμό της μικροβιακής δραστηριότητας. Η ωρίμανση του κόμποστ έχει σχέση με την καταλληλότητά του για την ανάπτυξη των φυτών. Το ανώριμο κόμποστ είναι συνήθως φυτοτοξικό και δεν ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών. Από τον παραπάνω ορισμό της ωρίμανσης του υλικού, αναμένεται ως λογική συνέπεια ότι η ανάπτυξη των φυτών θα ήταν ο καταλληλότερος δείκτης της ωρίμανσης του υλικού. Όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει, γιατί οι δοκιμές σε φυτά παίρνουν συνήθως πάρα πολύ χρόνο, για να έχουν χρησιμότητα ως βασική δοκιμή αξιολόγησης ενός κόμποστ. [51]

Έχει προταθεί ότι ο βέλτιστος βαθμός ωρίμανσης του κόμποστ που χρησιμοποιούνται στο έδαφος, χαρακτηρίζεται από την μετατροπή του οργανικού υλικού σε τέτοιοβαθμό, που ενώ είναι σχετικά σταθερό, είναι ακόμα αρκετά ενεργό για να υποστηρίξει μια αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος.

Τα χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού υλικού και το επίπεδο των φορέων μόλυνσης προσδιορίζουν την ποσότητα της οργανικής ύλης σε σχέση με τα άλλα συστατικά. Ως πηγή οργανικής ύλης, το κόμποστ έχει σημαντική επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Παρόλο αυτά, διάφορες σημαντικές χημικές παράμετροι του εδάφους επηρεάζονται από την προσθήκη οργανικής ύλης που περιέχεται στο κόμποστ. Οι παράμετροι που επηρεάζονται είναι:

A) Φυσικές παράμετροι:

- ☞ Δομή του εδάφους: πυκνότητα μάζας, πορώδες, αερισμός και αντοχή του εδάφους
- ☞ Σχέσεις με το νερό: κατακράτηση νερού, διαθέσιμο νερό για τα φυτά και περιεκτικότητα νερού στο έδαφος
- ☞ Διάχυση και διαπερατότητα
- ☞ Διάβρωση και απορροή
- ☞ Θερμοκρασία εδάφους

B) Χημικές παράμετροι:

- ☞ Κατιονική εναλλακτική ικανότητα
- ☞ Νιτρικά ιόντα και άζωτο
- ☞ pH εδάφους
- ☞ Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)
- ☞ Πτητικά στερεά [116]

Το κόμποστ συχνά αναφέρεται και ως «βελτιωτικό εδάφους», επειδή βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στις καλλιέργειες, αυξάνοντας την συγκράτηση νερού με αποτέλεσμα να υπάρχει περισσότερο διαθέσιμο νερό για τα φυτά.

Η οργανική ύλη του εδάφους μεταβάλλει επίσης διάφορα σημαντικά χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως την κατιονική εναλλακτική ικανότητα και το pH . Επιπλέον, επειδή τα περισσότερα τροφοδοτικά υλικά περιέχουν και ποσότητες από μικρο- και μακρο-θρεπτικά συστατικά φυτών, η προσθήκη κόμποστ σε ποσότητες αρκετά μεγαλύτερες από αυτές των λιπασμάτων, συνήθως εξασφαλίζει ικανοποιητικά επίπεδα θρεπτικών συστατικών απαραίτητα για την ανάπτυξη του φυτού. Η αλατότητα του εδάφους μπορεί επίσης να επηρεαστεί, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κόμποστ. Αύξηση της αλατότητας αποτρέπει την βλάστηση των σπορίων και να μειώνει την ανάπτυξη του φυτού ή την απόδοση της καλλιέργειας. [35]

Όταν προστίθεται κόμποστ σε οποιαδήποτε έδαφος απαιτείται η παρέλευση αρκετών ετών πριν παρατηρηθούν αλλαγές στις φυσικές του ιδιότητες. Αντίθετα από τις χημικές ιδιότητες οι οποίες μπορούν να προσδιορισθούν σχετικά εύκολα, ο ποσοτικός προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων είναι περισσότερο δύσκολος. [86]

Παρόλο που το κόμποστ χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό, συχνά απαιτούνται σχετικά μεγάλες ποσότητες για την βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Το κόμποστ μπορεί να αυξήσει σημαντικά τα επίπεδα των θρεπτικών συστατικών και ιδιαίτερα του αζώτου και του φωσφόρου.

Το κόμποστ για να θεωρηθεί ώριμο θα πρέπει να πληρεί κάποιες προϋποθέσεις. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αποδεκτές τιμές που πρέπει να έχει το κόμποστ για να είναι ώριμο προϊόν. [86,120]

Πίνακας 9. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος

Παράμετρος	Ποιοτικά χαρακτηριστικά προϊόντος		
Οπτική εμφάνιση	Όλο το υλικό είναι σκοτεινό καφετί. Το αρχικό υλικό δεν είναι πλέον ορατό. Η δομή είναι μίγμα συσσωματωμάτων και φυτοχώματος λεπτού και μέσου μεγέθους		
Οσμή	Φυτόχωμα από το δασική έκταση χωρίς καμία μυρωδιά αμμωνίας ή αναερόβια μυρωδιά		
Φυσικά χαρακτηριστικά	Υγρασία	45,65%	
	Μέγεθος	Όλοι οι κόκκοι είναι μικρότεροι από 5mm	
	Φαινομενική πυκνότητα	645g/l	
Εδαφοβελτιωτικά	Ικανότητα συγκράτησης νερού	248,7%	
	Δείκτης θρεπτικότητας	180	
Θρεπτικά χαρακτηριστικά	Λόγος C/N	17,97	
	Ολική οργανική ύλη	85,8%	
	Τέφρα	14,2%	
	Οργανικός άνθρακας	49,76%	
	Ολικό άζωτο	2,77% ξηρή βάση	
	Νιτρικό άζωτο	Λιγότερο από 20% του ολικού αζώτου	
	Νιτρώδες άζωτο	0 mg/kg ξηρή βάση	
	Θειούχες ενώσεις	0 mg/kg ξηρή βάση	
	Αμμωνιακό άζωτο	0 mg/kg ξηρή βάση	
	Ολικός φώσφορος	1780 mg/kg ξηρή βάση	
	ph	7.8	
	Κατιονική ιοντοεναλλακτική ικανότητα (CEC)	52meq/100g	
	Περιεκτικότητα σε χουμικά οξέα	14.2% ξηρή βάση	
	ΟλικόCa	3.25 g/100g ξηρή βάση	
	Ολικό Cu	26.7 mg/kg ξηρή βάση	
	Ολικό Zn	49.7 mg/kg ξηρή βάση	
	ΟλικόMn	135 mg/kg ξηρή βάση	
	Ολικό K	2.26% ξηρή βάση	
	Fe	2.6 g/kg ξηρή βάση	
	Ολικό	0.45% ξηρή βάση	
	Pb	Δεν ανιχνεύεται	
	Cd	Δεν ανιχνεύεται	
	Ni	Δεν ανιχνεύεται	
	Hg	Δεν ανιχνεύεται	
	Cr	Δεν ανιχνεύεται	
	Ανταλλάξιμο Na	2,76meq /100g	
	ΑνταλλάξιμοCa	30.29 meq /100g	
	Ανταλλάξιμο Mg	5.25 meq /100g	
	ΑνταλλάξιμοMn	46.8 meq /100g	
	Ανταλλάξιμο K	17.6 meq /100g	
	Ανταλλάξιμο Cu	3.6 meq /100g	
	Ανταλλάξιμο Zn	20.6 meq /100g	
	Ανταλλάξιμο Fe	446 meq /100g	
	Επί τις % ανταλλάξιμο Na (ESP)	0.05%	
	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	2200mS/cm	
	Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά	Heterotrophic Plate Count	3.6*10 ⁸ CFU/gdw
		Δείκτης ωριμότητας	>50%
Δείκτης σταθερότητας		<100 mg O ₂ / kg dry compost-hour.	

1.5.1. Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ στην Ελληνική γεωργία

Το ώριμο κομπόστ χρησιμοποιείται:

- Ως **βελτιωτικό εδάφους** και **υποκατάστατο λιπασμάτων** σε καλλιεργούμενα εδάφη και δασικές εκτάσεις.
- Ως **συστατικό υποστρωμάτων** για την ανάπτυξη κηπευτικών-ανθοκομικών και καλλωπιστικών φυτών.
- Ως **υπόστρωμα καλλιέργειας μανιταριών**.

Τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα αναφέρονται, επίσης, στην επίδραση του κομπόστ στη θρέψη των φυτών, στην προστασία των εδαφών από τη διάβρωση και στην καταστολή φυτοπαθογόνων του εδάφους.

Οι ανάγκες της ελληνικής γεωργίας σε κομπόστ και ιδιαίτερα στη νότια και νησιωτική Ελλάδα είναι αυξημένες λόγω του ξηροθερμικού κλίματος αυτών των περιοχών και των απαιτητικών, σε οργανική ουσία καλλιεργειών που γίνονται σε αυτές. Συνήθως δεν επαρκεί η ζωική κοπριά για να καλύψει τις συγκεκριμένες ανάγκες. Τη λύση, λοιπόν, έρχεται να δώσει η παρασκευή ώριμου κομπόστ από τα πάσης φύσεως **οργανικά** υπολείμματα των περιοχών αυτών: λ.χ. υπολείμματα καλλιεργειών, γεωργικών βιομηχανιών, αστικών αποβλήτων, ακόμη και ιλύος βιολογικών καθαρισμών. Η ποιότητα του κομπόστ και ιδιαίτερα η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία (που είναι απαραίτητη), καθώς και η περιεκτικότητά του σε βαρέα μέταλλα (που πρέπει να είναι περιορισμένη) παίζει καθοριστικό ρόλο τόσο στην αναλογία προσθήκης του στο έδαφος, όσο και σε ποια καλλιέργεια μπορεί να προστεθεί ή όχι. Οι ποσότητες των κύριων θρεπτικών στοιχείων (N,P,K) και ιδιαίτερα του αζώτου (N) που το φυτό απορροφά από το έδαφος ετησίως μπορούν να είναι ένας τρόπος για τον υπολογισμό της ποσότητας του κομπόστ που προστίθεται κατά στρέμμα το χρόνο. Συνιστάται η ποσότητα αζώτου που προστίθεται με κομπόστ για την κάλυψη των αναγκών του φυτού, να μην υπερβαίνει την αναγκαία ποσότητα. Κι αυτό για να αποφεύγονται διάφορα προβλήματα τόσο για το φυτό όσο και το περιβάλλον. **[80,86]**

1.5.2. Οφέλη του κόμποστ

Χρησιμοποιώντας το κομπόστ ως λίπασμα, στο έδαφος ή ως μέσα γλάστρες είναι ευεργετικό για πολλούς λόγους. Το κομπόστ περιέχει ένα πλήρες φάσμα απαραίτητων θρεπτικών συστατικών για τα φυτά που συχνά απουσιάζουν από τα συνθετικά λιπάσματα. **Σε αντίθεση με τα συνθετικά λιπάσματα** έχει την δυνατότητα να απελευθερώνει θρεπτικές ουσίες ανά μήνες ή

χρόνια,. Το Κομπόστ στο έδαφος, ρυθμίζει τόσο τα οξέα όσο και αλκαλικά στοιχεία στο εδάφη επιτυγχάνοντας τα βέλτιστα επίπεδα του pH στη βέλτιστη περιοχή για τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά.

Έτσι το κόμποστ εμφανίζει κάποια πολύ σημαντικά οφέλη. Ένα από τα κυριότερα είναι ότι το έδαφος στο οποίο έχει προστεθεί κόμποστ γεμίζει από μικροσκοπικά κανάλια και πόρους που συγκρατούν τον αέρα, την υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά με αποτέλεσμα να κάνουν το έδαφος πιο έφορο. Ακόμα περιέχει πολλούς ωφέλιμους οργανισμούς που μπορούν να προστατέψουν τα φυτά από ασθένειες και παράσιτα. Τέτοιοι μικροοργανισμοί είναι τα βακτήρια, οι μυκητες, έντομα, σκουλήκια και έτσι υπάρχει περισσότερη υποστήριξη της ανάπτυξης υγιών φυτών. Τα βακτήρια στο κόμποστ διασπούν τα οργανικά όπως επίσης μετατρέπουν το άζωτο από τον αέρα σε θρεπτικά συστατικά για το φυτό. Τα σκουλήκια και τα έντομα τρυπώνοντας μέσα στο έδαφος το κρατούν καλά αεριζόμενο. Έτσι με αυτούς τους οργανισμούς και μικροοργανισμούς που επικρατούν στο κόμποστ, το μετατρέπουν σε ένα φυσικό λίπασμα πράγμα που οδηγεί στην μείωση ή την εξάλειψη συνθετικών λιπασμάτων. Έτσι ενθαρρύνεται ένα υγιές ριζικό σύστημα.

Ένα υγιές έδαφος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την προστασία των υδάτων. Το κόμποστ αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί το νερό και να μειώνει την απορροή. Οι απορροές ρυπαίνουν το νερό με τη διεξαγωγή του εδάφους από τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα σε κοντικά ρεύματα. Τέλος το κόμποστ μπορεί να καταστείλει τις επιβλαβείς ασθένειες και τα παράσιτα που θα μπορούσαν να εισχωρίσουν σε ένα φτωχό χώμα. **[118]**

Κεφάλαιο 2^ο

Πειραματική διαδικασία

2. Πειραματική διαδικασία

2.1. Πειραματική μεθοδολογία

Για την δημιουργία του εδαφοβελτιωτικού προϊόντος τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτη ύλη είναι τα εξής: 25 tn ώριμου κομποστοποιημένου υλικού, 500 tn πυρήνα, 40 kg ουρία σαν πηγή αζώτου. Η όλη διαδικασία έλαβε χώρα με την κλασική μέθοδο των σειραδίων. Δείγματα λαμβάνονταν προς ανάλυση μια φορά εβδομαδιαία για διάστημα 3 μηνών και στο τέλος των 6 μηνών πραγματοποιήθηκε η τελική ανάλυση του προϊόντος. Κατά την εξέλιξη της κομποστοποίησης μετρούνταν, σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους η υγρασία του σωρού, το pH και η αγωγιμότητα (EC) του εξεταζόμενου υποστρώματος, η περιεκτικότητά του σε οργανικά, τέφρα, άνθρακα, άζωτο και φώσφορο, η συγκέντρωση των χουμικών (HA) και φουλβικών (FA) οξέων, η ιοντοεναλλακτική ικανότητα (CEC), η φυτοτοξικότητά του (GI) καθώς και η δυνατότητα συγκράτησης νερού (WHC). Οι μετρήσεις αυτές αξιοποιήθηκαν, με στατιστικά μαθηματικά μοντέλα προσαρμογής, στον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ τους. [96]

2.2. Μέθοδοι ανάλυσης του προϊόντος-κόμποστ

Οι πειραματικές μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εξέλιξη της κομποστοποίησης αλλά και για την τελική αξιολόγηση του προϊόντος παρουσιάζονται αναλυτικά και με την σειρά που πραγματοποιήθηκαν. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε κατά την χειμερινή περίοδο 2014-2015, ξεκινώντας τον Δεκέμβριο και ολοκληρώθηκε τον Μάιο. Η συνολική διάρκεια των αναλύσεών μας κράτησαν περίπου 6 μήνες, συμπεριλαμβανόμενων και των αναλύσεων του προϊόντος πριν προωθηθεί στο εμπόριο.

Μόλις γινόταν η παραλαβή του δείγματός μας, μια ικανοποιητική ποσότητα τοποθετείτο στο φούρνο των 105°C για ξήρανση λόγω του ότι οι περισσότερες αναλύσεις χρειάζονταν ξηρό δείγμα.

1. Μέτρηση της υγρασίας (M)

Μέθοδος Α (τυπική μέθοδος)

Εργαστηριακή πορεία:

- Ζυγίζουμε μία καθαρή πορσελάνινη κάψα και σημειώνουμε το βάρος της (c)
- Προσθέτουμε μία τυχαία ποσότητα compost στην πορσελάνινη κάψα και σημειώνουμε το συνολικό βάρος (a)
- Τοποθετούμε την κάψα με το compost στον ξηραντήρα σε θερμοκρασία 105°C. Κάθε ώρα βγάζουμε την κάψα από τον ξηραντήρα* και ζυγίζουμε το συνολικό της βάρος. Όταν το βάρος αυτό σταθεροποιηθεί το σημειώνουμε (b). Η σταθεροποίηση του

βάρους μπορεί να επέλθει ακόμα και σε 24 ώρες. Επομένως η πλέον πρακτική μέθοδος είναι να τοποθετούμε την κάψα στον ξηραντήρα την μία ημέρα και να την ζυγίζουμε την επομένη την ίδια ώρα.

Υπολογισμοί:

Ο υπολογισμός της υγρασίας (M) του compost γίνεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Υγρασία σε ξηρή βάση (dry base): } M_{db} = \frac{(a-b)}{b-c} * 100, \%$$

$$\text{Υγρασία σε υγρή βάση (wet base): } M_{wb} = \frac{(a-b)}{a-c} * 100, \%$$

Το υγρό βάρος (mw) καθώς και το ξηρό βάρος (md) της συγκεκριμένης ποσότητας του compost υπολογίζεται σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\text{Υγρό βάρος: } mw = a - c, \text{ g}$$

$$\text{Ξηρό βάρος: } md = b - c, \text{ g}$$

*: κάθε φορά που η κάψα βγαίνει από το ξηραντήριο των 105°C για ζύγισμα πρέπει να ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου, εντός γυάλινου ξηραντήριου, ώστε η μέτρηση να μην επηρεάζεται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Μέθοδος B

Η μέθοδος A είναι η πλέον ακριβής (και σωστή) μέθοδος η οποία όμως απαιτεί μεγάλο χρόνο για τον υπολογισμό της υγρασίας του compost. Ακόμα και στην διάθεση απευθείας μιας ημέρας ώστε να αποφευχθούν οι συνεχείς μετρήσεις, απαιτείται στο τέλος ακόμα μία μέτρηση ώστε να επιβεβαιωθεί η συνολική απομάκρυνση της υγρασίας. Μία πολύ πιο γρήγορη μέθοδος προσδιορισμού της υγρασίας του compost βασίζεται στην συσκευή της εικόνας 11. Η συσκευή αυτή συμπεριλαμβάνει έναν ζυγό και μία συσκευή εξάτμισης με υπέρυθρη ακτινοβολία. Στη συσκευή αυτή τοποθετείται μία τυχαία ποσότητα υγρού compost το βάρος της οποίας θεωρείται ως την βάση των μετέπειτα μετρήσεων και κατόπιν ξεκινά η διαδικασία της ξήρανσης μέσω της συσκευής υπέρυθρων. Καθώς το compost ξηραίνεται η συσκευή μετρά το βάρος του συνεχώς και όταν σταθεροποιηθεί τότε η συσκευή εμφανίζει το αποτέλεσμα της υγρασίας σε υγρή βάση (M_{wb}). Η συσκευή αντιλαμβάνεται την σταθεροποίηση του βάρους αυτόματα. Η διάρκεια της μέτρησης δεν ξεπερνά την μισή ώρα.



Εικόνα 11. Συσκευή υγρασιόμετρου για την μέτρηση της τιμής της υγρασίας του κόμποστ σε υγρή βάση M_{wb} .

2. Μέτρηση τέφρας (Ash%), Οργανικής Ύλης (OM%) και περιεκτικότητας % σε οργανικό άνθρακα (TOC%).

Μετά την μέτρηση της υγρασίας M_{db} μιας ποσότητας compost (a, g) σύμφωνα με την μέθοδο 1^A, όπως περιεγράφηκε παραπάνω, η πορσελάνινη κάψα (βάρους c, g) τοποθετείται σε τεφροδόχο θερμοκρασίας 550°C για μία ώρα. Κατόπιν η κάψα με την τέφρα ψύχεται εντός γυάλινου ξηραντήριου σε θερμοκρασία δωματίου και σημειώνεται το βάρος της (d, g). Η τέφρα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Ash}\% = \left(\frac{d - c}{m_d - c} \right) * 100$$

Ενώ η επί τις % Οργανική Ύλη του compost υπολογίζεται από την σχέση

$$\text{OM}\% = (100 - \text{Ash}\%)$$

Η επί τις % περιεκτικότητα του compost σε οργανικό άνθρακα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{OM}\% = \frac{(100 - \text{Ash}\%)}{1.8}$$



Εικόνα 12. Φούρνος θερμοκρασίας 550 οC για την αποτέφρωση του compost

3. Μέτρηση pH και αγωγιμότητας

Για την μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας απαιτείται διασπορά του compost στο νερό σε αναλογία 1:5. Λαμβάνονται 10gr δείγματος compost (δείγματος χωρίς ξήρανση) και 50ml απιονισμένου νερού. Το μίγμα τοποθετείται σε ένα ποτήρι ζέσεως και αναδεύεται για περίπου 20 λεπτά. Στη συνέχεια το μίγμα αφήνεται να ηρεμίσει και με την βοήθεια πεχαμέτρου και αγωγιμομέτρου μετράται το pH και η αγωγιμότητας του αιωρήματος. Οι μετρήσεις αυτές καταγράφονται ως pH και αγωγιμότητα του δείγματος compost.

4. Μέτρηση της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας του compost (CEC, Cation Exchange Capacity)

Τοποθετούνται 25 g compost με 35 ml διαλύματος οξικού αμμωνίου ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 0.1 M) σε ποτήρι ζέσεως υπό συνεχή ανάδευση για 24h. Κατόπιν το αιώρημα διηθείται

Σε ένα πλαστικό ογκομετρικό μπουκάλι των 50ml τοποθετείται 25gr ξηρού κόμποστ και 35ml διάλυμα NH_4OAc και αφήνεται για 24h. Μετά από αυτό το διάστημα προστίθενται 200ml διάλυμα NH_4OAc και γίνεται διήθηση. Το εκχύλισμα ογκομετρείται και αποθηκεύεται στο ψυγείο για ανάλυση μετάλλων. Στην συνέχεια ακολουθεί διήθηση με 100ml Ethanol και το διήθημα πετάγεται. Έπειτα ακολουθεί διήθηση με περίπου 240ml NaCl . Ογκομετρείται τον προϊόν της διήθησης που ήταν το V1. Το pH ρυθμίζεται στο 8 προσθέτοντας NaOH 1N (περίπου 20 ml (V2)) και τέλος ακολουθείται αραιώση 1:100 και 1:150 για την μέτρηση αμμωνιακού αζώτου N-NH_4 . Στη πορεία το προεπεξεργασμένο δείγμα χωρίζεται σε 2 δοκιμαστικούς σωλήνες βάζοντας 10ml δείγματος και το οποίο δεν θα πρέπει να παρουσιάζει θολερότητα ή χρώμα. Σε ένα τρίτο δοκιμαστικό σωλήνα υπάρχει το τυφλό το οποίο είχε μόνο 10 ml απιονισμένο νερό. Στα άλλα δύο γίνεται αραιώση 1:100 (1 ml διαλύματος σε 100ml νερού) και 1:150 (1 ml διαλύματος σε 150 ml νερού). Έπειτα προστίθεται μια σταγόνα (0.05ml)

διαλύματος Rochelle, αφού ανακινείται αρκετά καλά κάθε ένας από τους δοκιμαστικούς σωλήνες. Ακόμα ρίχνεται 0.2 ml Nessler σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα και μετά αναδεύονται στο Vortex. Μετά από ακριβώς 12 λεπτά μετράται η απορρόφηση με το φασματοφωτόμετρο Hitachi 2000 σε μήκος κύματος 415 nm. Τέλος καταγράφεται η τιμή τόσο της απορρόφησης όσο και της συγκέντρωσης A των αμμωνιακών. Η τιμή A που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση των αμμωνιακών στο σύνολο των στραγγισμάτων ($Vt = V_{\text{τελ}} = V1 + V2$) υπολογίζεται σε mmol N-NH₄ και κατόπιν ανάγεται ανα gr δείγματος κομπόστας σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\{A * (\text{αραίωση}) * (Vt/100)\}/14 = \text{mmolN}$$

όπου: $A = \text{συγκέντρωση αμμωνιακών}$

Η τιμή της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας της κομπόστας υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$CEC = \left(\frac{\text{mmol}}{25}\right) * 100 = \frac{\text{meq}}{100\text{gr}} \text{compost}$$

Παρακάτω απεικονίζεται η συσκευή μέτρηση της απορρόφησης.



Εικόνα 13. Σκεπτοφωτόμετρο Hitachi 2000 για την μέτρηση τόσο της απορρόφησης όσο και της συγκέντρωσης σε μήκος κύματος 415nm

5. Μέτρηση Υδατοχωρητικότητας (WHC%, Water Holding Capacity)

Τοποθετούνται 40gr ξηρού δείγματος compost σε ένα ποτήρι ζέσεως με 100ml νερό το οποίο καλύπτεται αεροστεγώς με ταινία parafilm και αφήνεται για περίπου 48h μακριά από το φως. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, απομακρύνεται το υπερκείμενο νερό και σημειώνεται το βάρος W (g) του κορεσμένου σε νερό δείγματος.

$$\text{WHC}\% = \frac{W - 40}{40} \cdot 100$$

6. Μέτρηση της φυτοτοξικότητας

Αρχικά ζυγίσαμε 50ml κόμποστ σε ένα ποτήρι ζέσεως (baker) των 150ml και το τοποθετήσαμε στον φούρνο των 105⁰C για μια μέρα για την απομάκρυνση της υγρασίας. Για την συγκεκριμένη μέτρηση απαιτήθηκε αναλογία 1:2 δηλαδή 50ml compost σε 100ml νερού η οποία τοποθετήθηκε σε ένα ποτήρι ζέσεως και το αφήσαμε να αναδευτεί για περίπου 3h με ενδιάμεσες στάσεις. Στη συνέχεια ακολούθησε διήθηση για την απομάκρυνση στερεών. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούσαμε συνολικά 8 τρυβλία petre των 9 cm³ για τα control και 5 για τα compost. Στα τρυβλία τοποθετήσαμε 3 στρώσεις απορροφητικού χαρτιού, 10ml εκχύλισμα compost και 10 σπόροι κάρδαμου. Τα τρυβλία σφραγίστηκαν με ταινία parafilm τοποθετήθηκαν σε σκοτεινό μέρος για 7 μέρες. Την 7^η μέρα μετρούσαμε τους σπόρους που φύτρωναν καθώς και το μέγεθος των ριζών του. Ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης GI έγινε σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{\text{Άθροισμα φυτρωμένων σπόρων στο τυφλό}}{\text{Άθροισμα φυτρωμένων σπόρων στο κόμποστ}} / 100 = A$$

$$\frac{\text{ΜΟ των μέσο όρων του μήκους των ριζών στο τυφλό}}{\text{ΜΟ των μέσο όρων του μήκους των ριζών στο κόμποστ}} * 100 = B$$

$$\frac{A * B}{100} = GI$$

7. Μέτρηση χουμικών (HA) και φουλβικών (FA) οξέων

Ζυγίζονται 20gr ξηρού δείγματος compost και τοποθετούνται σε κωνική φιάλη μαζί με 200 ml HCl 0.1N. Το μίγμα αναδευεται για μία ώρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και κατόπιν διηθείται. Το διήθημα συλλέγεται και αποθηκεύεται στο ψυγείο για την ανάλυση των φουλβικών. Στο ίζημα προστίθεται διάλυμα NaOH 1N μέχρι το pH=7 και στη συνέχεια προστίθεται διάλυμα 0,1N NaOH μέχρι το pH=12 (περίπου απαιτούνται 200ml) και το μίγμα αφήνεται υπό ανάδευση για 24h. Κατόπιν ακολουθεί διήθηση και το ίζημα απορρίπτεται ενώ το υπερκείμενο υγρό αφού ρυθμιστεί σε pH=1 αφήνεται υπό ανάδευση για άλλες 24h. Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας ακολουθεί διήθηση όπου το παραλαμβανόμενο διήθημα προστίθεται στο αρχικό και και το σύνολο αναλύεται ως προς τον περιεχόμενο οργανικό άνθρακα μέσω της συσκευής μέτρησης TOC (βλέπε εικόνα 14). Η μέτρηση αυτή σημειώνεται ως C_{FA}. Έπειτα προστίθεται στο ίζημα NaOH 0.1 N μέχρι τα 200ml και αφήνεται υπο ανάδευση για 15 λεπτά. Στη συνέχεια ακολουθεί διήθηση και μέτρηση του οργανικού άνθρακα (TOC) στο διήθημα. Η μετρηση αυτή σημειώνεται ως C_{HA}.

$$HA = \left[\frac{CHA}{1000} \right] * \left[\frac{Vf}{dc} \right] * 1.49 * 100 : \text{όπου } 1.49 \text{ ο λόγος } HA/C \text{ στο μόριο των χουμικών}$$

$$FA = \left[\frac{C_{FA}}{1000} \right] * \left[\frac{V_h}{d_c} \right] * 1.45 * 100: \text{ όπου } 1.45 \text{ ο λόγος } FA/C \text{ στο μόριο των φουλβικών}$$

Όπου C_{HA} και C_{FA} είναι gr άνθρακα από τις αναλύσεις TOC αντίστοιχα

V_f = όγκος των φουλβικών

V_h = όγκος των χουμικών

D_c = gr ξηρής κομπόστας = 20 gr

$MB_{HA} = 122.1213$

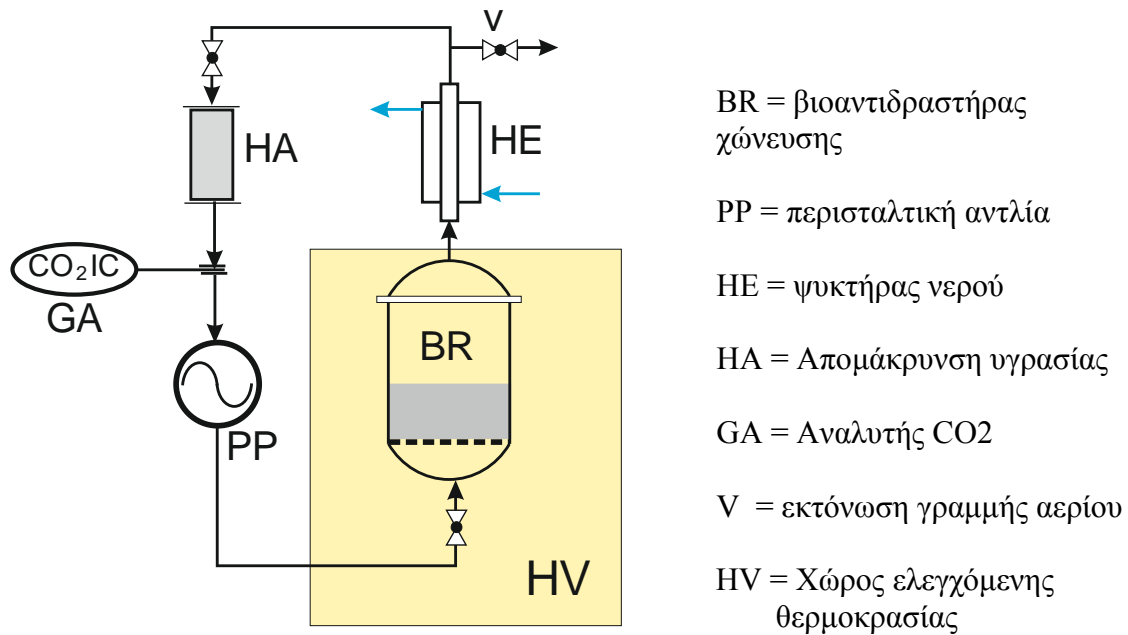
$MB_{FA} = 466.5262$

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του TOC. [75]



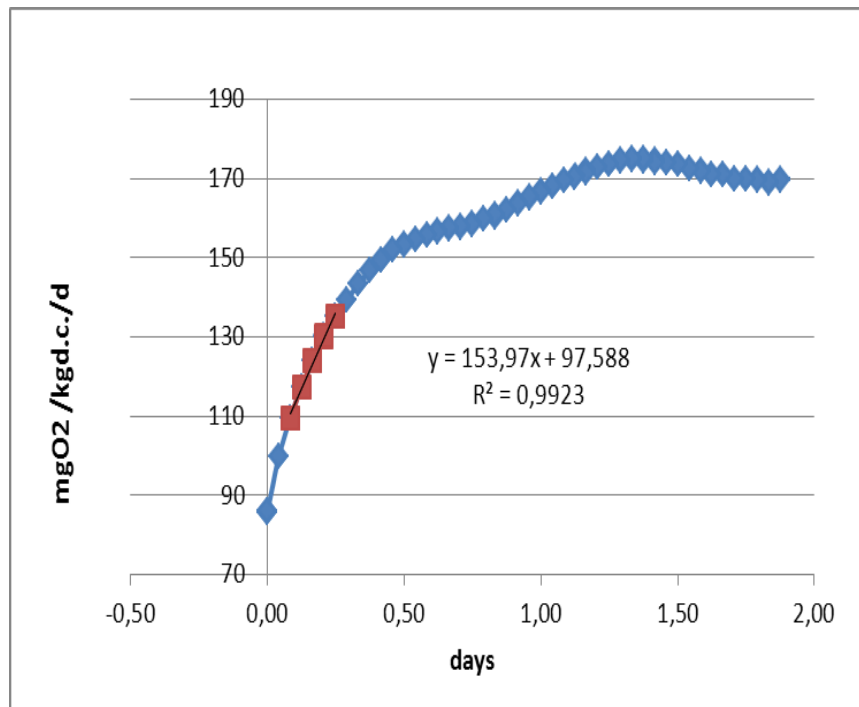
Εικόνα 14. Συσκευή TOC-analyser για την μέτρηση των χουμικών και φουλβικών οξέων

8. Αναπνευσιόμετρο-μέτρηση ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου



Εικόνα 15 :Εργαστηριακό Αναπνευστόμετρο

Στον χωνευτήρα BR όγκου 2 L τοποθετούνται 150 ml υγρής κομπόστας. Ο χωνευτήρας τοποθετείται σε χώρο ελεγχόμενης θερμοκρασίας HV και η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 45°C. Αφού σφραγιστεί αεροστεγώς όλο το σύστημα του αναπνευστομέτρου (γραμμές και δοχεία) ώστε η απορρόφηση του οξυγόνου από την βιομάζα να γίνεται με διαλείπουσα διεργασία, τίθεται σε λειτουργία η αντλία θετικής εκτόπισης PP (περισταλτική αντλία) παροχής 7 L/h και η οποία ανακυκλοφορεί συνεχώς τον αέρα που περιέχεται στο αναπνευστόμετρο. Ο αέρας που ανακυκλοφορεί διέρχεται δια μέσου της βιομάζας εντός του χωνευτήρα και εξερχόμενος διέρχεται από κάθετο ψυκτήρα νερού ώστε η υγρασία που παρασύρθηκε από την βιομάζα να επιστρέφει στον χωνευτήρα BR. Κατόπιν ο αέρας διέρχεται από τον αφυγραντήρα HA με σκοπό την αφύγρανση του αέρα που ανακυκλοφορεί ώστε να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις του CO₂ στον αναλυτή αερίου GA που ακολουθεί. Ο αφυγραντής περιέχει CaCl₂ ως μέσον αφύγρανσης. Ο αναλυτής αερίου βασίζεται στις αρχές της θερμικής αγωγιμότητας και η μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ καταγράφεται σε πραγματικό χρόνο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ένα τυπικό διάγραμμα χρονικής μεταβολής της συγκέντρωσης του CO₂ παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας . Με δεδομένη την υπόθεση ότι για κάθε mol παραγόμενου CO₂ απορροφάται ένα mol οξυγόνου τότε το διάγραμμα απορρόφησης O₂ είναι ισοδύναμο της παραγωγής CO₂. Στο διάγραμμα αυτό η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει τον ρυθμό απορρόφησης οξυγόνου (gr O₂/ kg compost/d. Ένα κατάλληλο λογισμικό υπολογίζει την μεγαλύτερη κλίση και η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ως ο μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου.



Εικόνα 16 .Τυπικό διάγραμμα παραγωγής CO₂ ή απορρόφησης O₂ από το αναπνευσιόμετρο και υπολογισμός μέγιστης κλίσης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μέγιστη κλίση αντιστοιχεί στον συντελεστή x της σχέσης προσαρμογής δηλαδή είναι $r_{maxO_2}=153.97 \text{ gr/kg /d}$.



Εικόνα 17. Διάταξη αναπνευσιομέτρου για την μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου

9. Μέτρηση ολικού N (Πέψη)

Η πέψη χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό στοιχείων που δεν θα περάσουν σε αέρια φάση. Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

Μεταφέρεται 0,1g ξηρού δείγματος στην ειδική φιάλη χώνευσης HACH των 100ml. Έπειτα προστίθενται 4ml πυκνού θειικού οξέος και τουλάχιστον δύο πυρήνες βρασμού. Η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 440°C και παραμένει το μείγμα για 4 λεπτά. Σε αυτό το σημείο δίνεται μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να μην εξατμισθεί όλη η ποσότητα του υγρού. Στην συνέχεια προστίθενται 20ml υπεροξειδίου του υδρογόνου χρησιμοποιώντας το ειδικό χωνί στην κορυφή του ψυκτήρα. Μετά την ολοκλήρωση της προσθήκης του υπεροξειδίου ο βρασμός συνεχίζεται μέχρι να φανούν λευκοί ατμοί και για 1 επιπλέον λεπτό. Κατόπιν αφαιρείται η φιάλη χώνευσης από τη συσκευή χρησιμοποιώντας ειδικά γάντια και αφήνεται να κρυώσει για 15 λεπτά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και έπειτα αφαιρείται ο ψυκτήρας. Κατόπιν το υγρό υπόλειμμα αραιώνεται μέχρι τα 100ml με απιονισμένο νερό. Πρέπει το τελικό διάλυμα να είναι διαυγές.

Τοποθετούνται 10ml του διαλύματος αυτού σε ένα ποτήρι ζέσεως και προστίθεται ΝΑΟΗ (3N) μέχρι το pH=8. Το τελικό διάλυμα αραιώνεται με νερό 1/5 και προστίθεται 1 σταγόνα διαλύματος Rochelle και 0,2ml αντιδραστηρίου Nessler. Το διάλυμα ομογενοποιείται υπό ανάδευση στο Vortex και μετά μετريέται η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στο φασματοφωτόμετρο.

$$\%N = \frac{\alpha}{\beta} \cdot 10$$

Όπου α= mg NH₄-N (στα 100 ml προϊόντος πέψης)

Και β=0,1 gr compost



Εικόνα 18. Συσκευή Kjeldahl

Κεφάλαιο 3^ο

Αποτελέσματα

3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις πειραματικές αναλύσεις

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις μετρήσεις που έγιναν κατά την εξέλιξη της κομποστοποίησης.

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κομποστοποίησης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΤΙΜΕΣ												
		1	5	64	72	74	78	80	91	94	98	101	105	195
ΧΡΟΝΟΣ	ημέρες													
WHC	% db	260	256	151	156,5	153	162	151	140	120	124	149	125	118
pH		4,62	7,6	7,1	7,68	7,4	8,4	8,2	8,3	8,45	8,7	8,7	8,8	7,89
EC	mS/cm	985	687	1313	985	1149	1313	1403	1284	1323	1388	1061	1708	764
ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΥΛΗ	% db	82,2	90,36	84,39	84,75	83,83	83,27	83,69	87,82	83,68	83,4	84,14	82,83	80
ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ	% db	45,7	50,2	46,9	47,1	46,6	46,3	46,5	48,8	46,8	46,4	46,7	46	20
ΟΛΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΑΖΩΤΟ	% db	3	5	2	2,4	2	1,24	1,54	1,35	3	2	2,5	2	3
CEC	meq/100g	12,2	21,8	23	19,3	17	29,9	17,8	18,2	35	18,1	34,3	25,4	38
ΦΥΤΟΘΡΕΠΤΙΚΟΤΗΤΑ	%	67,2	42,42	83,28	79	54,66	64,55	79,04	47,9	73	73	65,43	103,45	95
ΧΟΥΜΙΚΑ (HA)	% db	4,2	6,15	4,8	5,5	3,2	6	5,9	4,7	5,3	6,1	5,4	3	3
ΦΟΥΛΒΙΚΑ (FA)	% db	3,1	3,2	4,37	3,4	2,4	4,2	3,4	2,7	2,7	4,7	2,02	1,8	2,4
ΜΕΓ.ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΟΡΟΦ. O ₂ r _{max}	kg/kg OM -d	1,58	2,072	3,066	2,125	2,982	3,253	3,265	2,905	3,285	3,25	2,971	3,266	
C/N	% db	15,2	10,04	23,45	19,62	23,3	37,33	30,19	36,14	15,6	23,2	18,68	23	6,67

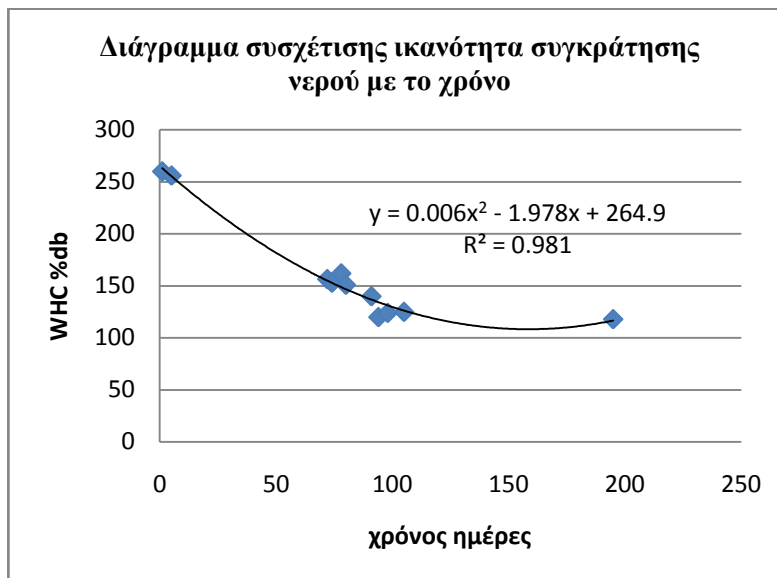
Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν το μέσο όρο δύο ανεξάρτητων δειγμάτων που λαμβάνονταν στον ίδιο σορό την ίδια χρονική στιγμή.

Κεφάλαιο 4^ο

Επεξεργασία αποτελεσμάτων

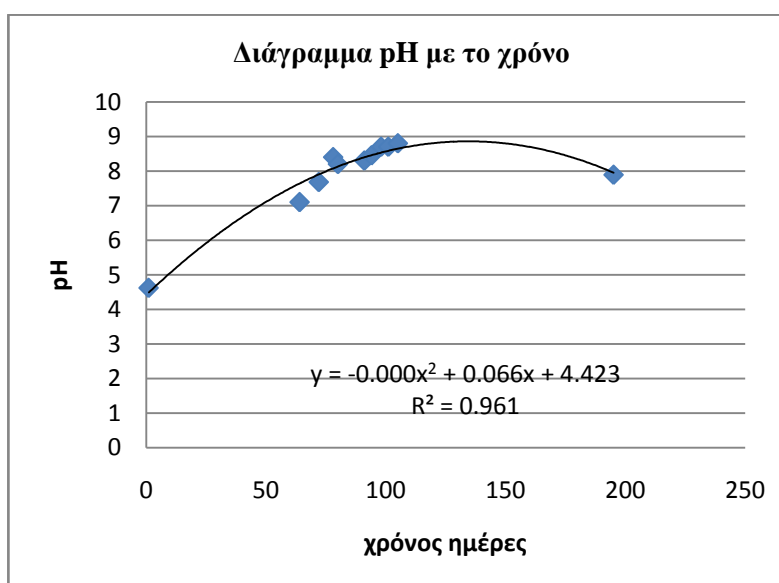
4. Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα χρονικών συσχετίσεων με όλες τις παραμέτρους.



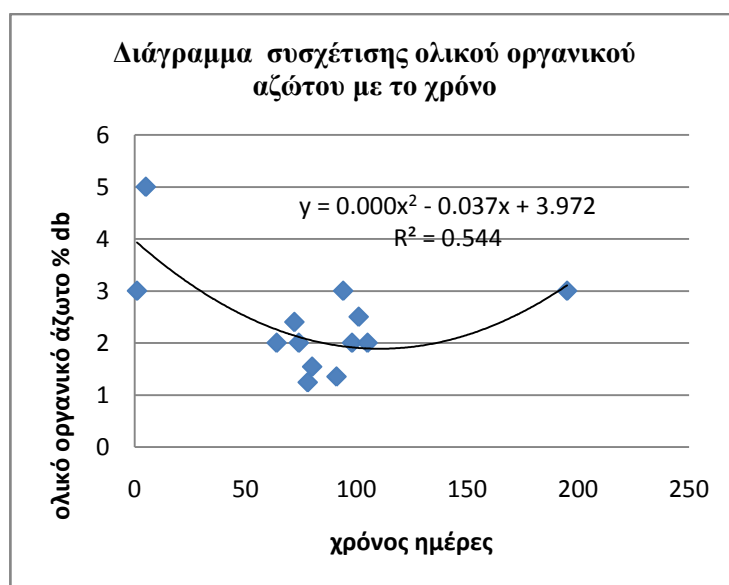
Διάγραμμα 6. Συσχέτισης ικανότητας συγκράτησης νερού με το χρόνο

Από το διάγραμμα 6 παρατηρούμε μια μείωση του WHC που ξεκινά από την τιμή 260% db και καταλήγει στην τιμή 118 % db. Η μείωση αυτή δικαιολογείται από το ότι ο ελεύθερος χώρος που υπάρχει στο κόμποστ αντιστοιχεί στο πορώδες όπου το πορώδες ελαττώνεται με αποτέλεσμα να ελαττώνεται και η ικανότητα συγκράτησης νερού. Η σχέση που εμφανίζεται είναι αρκετά ικανοποιητική και αυτό φαίνεται από τον συντελεστή συσχέτισης που είναι 98%. [3]



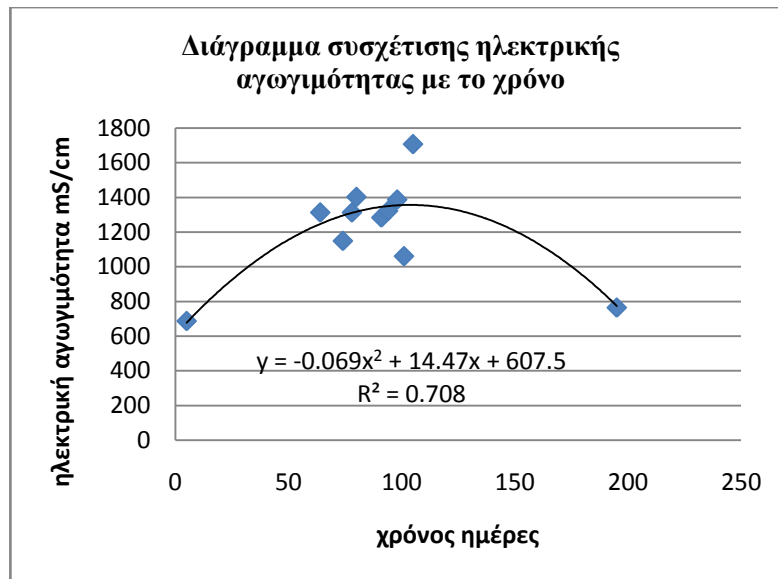
Διάγραμμα 7. Συσχέτισης του pH με το χρόνο

Το pH αναφέρεται στην οξύτητα ή αλκαλικότητα του κόμποστ και αποτελεί εξαιρετικά σημαντική παράμετρο για την διεργασία της κομποστοποίησης. Το pH είναι αυτό που ρυθμίζει ποια είδη μικροοργανισμών θα αναπτυχθούν κατά την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης. Έτσι οι βέλτιστες τιμές pH είναι 6-7,5 για βακτηριακή ανάπτυξη, ενώ οι μύκητες προτιμούν ένα περιβάλλον στην κλίμακα των 5,5-8,0. Από το διάγραμμα 7 παρατηρείται ότι το pH ξεκινά από μια όξινη περιοχή κάτι το οποίο οφείλεται στην πρώτη ύλη. Μετά από 2 περίπου μήνες στο στάδιο της θερμοφιλης περιοχής και περνώντας σιγά σιγά στην αλκαλική περιοχή το pH αυξάνεται και κυμαίνεται σε μια καθαρά αλκαλική περιοχή. Στο παραπάνω διάγραμμα 7 φαίνεται το pH να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου με συντελεστή συσχέτισης 96% από την τιμή 4.62 στην διπλάσια τιμή 8.79 παραμένοντας πάντα σε αλκαλικά επίπεδα και κατά το τέλος της διαδικασίας της κομποστοποίησης παίρνει τιμή 7.89. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο ότι ελαττώνονται τα πτητικά οξέα όπως επίσης και στην μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνία. [3]



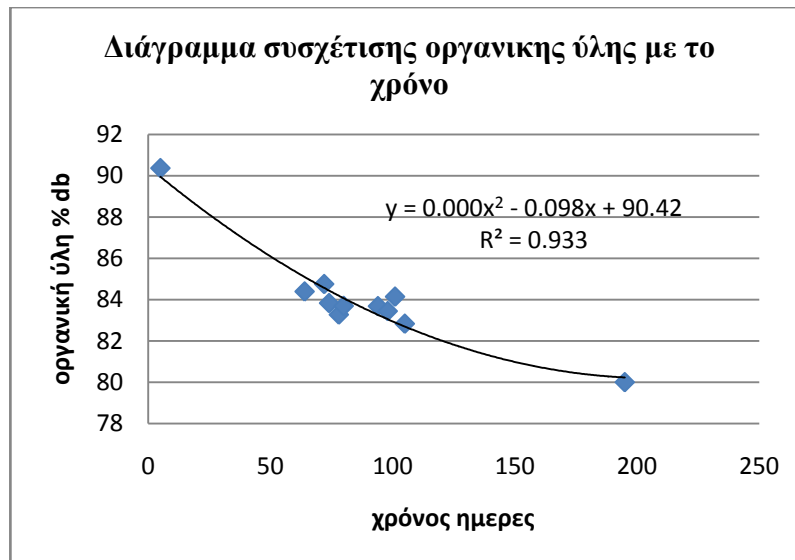
Διάγραμμα 8. Συσχέτιση του ολικού οργανικό αζώτου με το χρόνο

Το ολικό οργανικό άζωτο μειώνεται εξαιτίας της μείωσης των οργανικών λόγω μετατροπής τους σε νιτρικά. Αυτό παρατηρείται και από το διάγραμμα 8 που παρουσιάζεται η μειωτέα συσχέτιση του οργανικού αζώτου με το χρόνο. Αρχικά παίρνει τιμή 3% db, έπειτα μειώνεται με συντελεστή συσχέτισης 54% και στο τέλος της διαδικασίας παίρνει τελική τιμή 3 όπως είχαμε και αρχικά. [3]



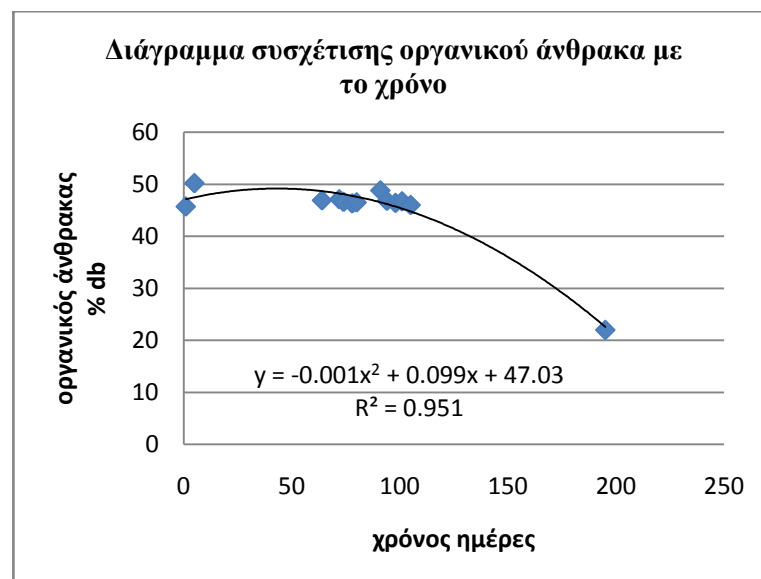
Διάγραμμα 9. Συσχέτισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) με το χρόνο

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο διαλυτού άλατος που περιέχεται στο κόμποστ, όπου τα διαλυτά άλατα αναφέρονται στην συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σε ένα διάλυμα. Η αγωγιμότητα ποικίλει και στα νούμερα και στους τύπους των ιόντων που περιέχονται στο διάλυμα και μπορεί να υποδείξει εάν ένα προϊόν είναι φυτοτοξικό όταν χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό εδάφους. Η υπερβολική υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ελαττώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού από τις ρίζες και συνεπακόλουθα την θρεπτική λήψη αφού τα θρεπτικά συστατικά είναι διαλυμένα στο νερό και με αυτό μπορούν να μεταφερθούν. Αντιθέτως όμως, πολύ χαμηλά επίπεδα σε περιεκτικότητα άλατος ειδικά όπως το κάλιο, το ασβέστιο ή το μαγνήσιο μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλά επίπεδα γονιμότητας. Παρατηρώντας το διάγραμμα 9 αγωγιμότητας (EC) με το χρόνο διαπιστώνουμε ότι η αγωγιμότητα αυξάνεται κατά 74% και ιδιαίτερα στο τέλος της διαδικασίας της κομποστοποίησης, δηλαδή με την έναρξη της κομποστοποίησης πήραμε την τιμή 985 mS/cm και παίρνει τελική 764 mS/cm. Η αυξητική πορεία της αγωγιμότητας οφείλεται στην παραγωγή αμμωνιακών και η πτώση της στα μμωνιακά τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά και κατ'έπекταση τα νιτρικά μετατρέπονται σε άζωτο. Επίσης οφείλεται και στην αυξανόμενη περικετικότητα χουμικών ενώσεων οι οποίες έχουν την δυνατότητα να δεσμεύουν ιόντα. Ο συντελεστή συσχέτισης είναι 57%. [12]



Διάγραμμα 10. Συσχέτιση οργανική ύλη με το χρόνο

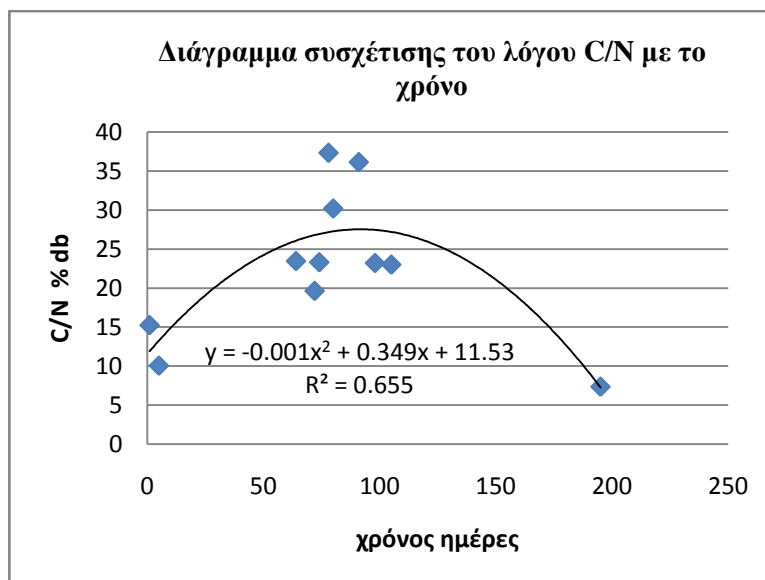
Όσον αφορά τη μελέτη της οργανικής ύλης στο προϊόν μας ξεκινάμε από ένα σχετικά υψηλό επίπεδο. Η τιμή που παίρνει την πρώτες μέρες είναι 82,22 % db ενώ στην τελική μέτρηση που έγινε, δηλαδή στις 195 ημέρες, πήρε τιμή 80. Υπάρχει μια ελάττωση της τιμής με συντελεστή συσχέτισης 93%. Η μείωση αυτή όπως φαίνεται στο διάγραμμα 10 δίνει συντελεστή συσχέτισης 95% και οφείλεται στο ότι τα οργανικά μετατρέπονται σε CO₂ και φεύγουν στην ατμόσφαιρα.



Διάγραμμα 11. Συσχέτιση οργανικός άνθρακα (% db) με το χρόνο

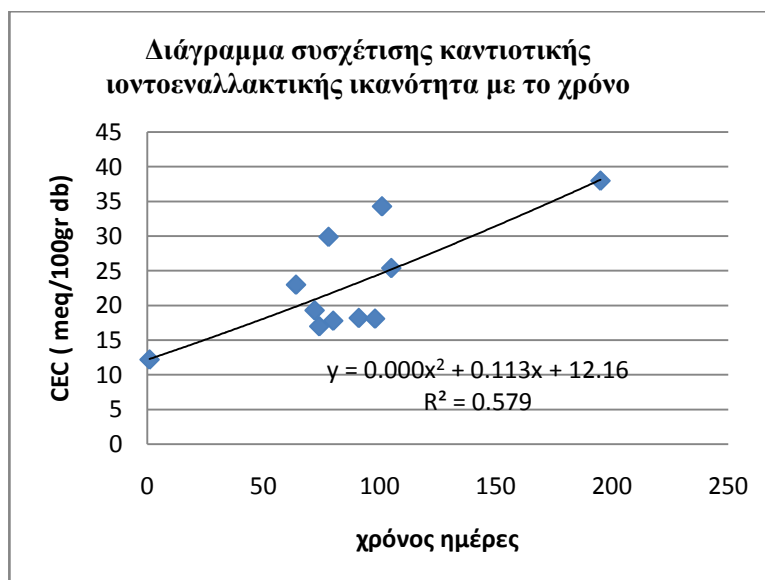
Κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης ένα μέρος της οργανικής ύλης μετατρέπεται σε CO₂, NH₃, και νερό. Η απώλεια σε οργανικό άνθρακα συντελείται κατά την βιοοξείδωση του οργανικού άνθρακα προς CO₂. Το CO₂ μπορεί να ελευθερωθεί με την μορφή αερίου ή να είναι διαλυμένο σε υγρό σχηματίζοντας ανθρακικό οξύ (H₂CO₃), όξινο ανθρακικό άλας (HCO₃⁻) και ανθρακικό άλας (CO₃⁻²). Το υπόλοιπο μέρος του οργανικού άνθρακα μετατρέπεται σε χουμικές

ενώσεις. Αυτή η σειρά γεγονότων αποδεικνύεται παρατηρώντας το διάγραμμα 11 συσχέτισης του άνθρακα με τον χρόνο. Από το παραπάνω διάγραμμα 11 παρατηρείται ότι το κόμποστ έχει αρχικά μια τιμή άνθρακα περίπου 45,7% db στις επόμενες 4 ημέρες αγγίζει την τιμή 50,2db και τελικά φτάνει τη τιμή 20% db, μια τιμή σχεδόν η μισή από την αρχική μέτρηση. [96]



Διάγραμμα 12. Λόγου C/N με το χρόνο

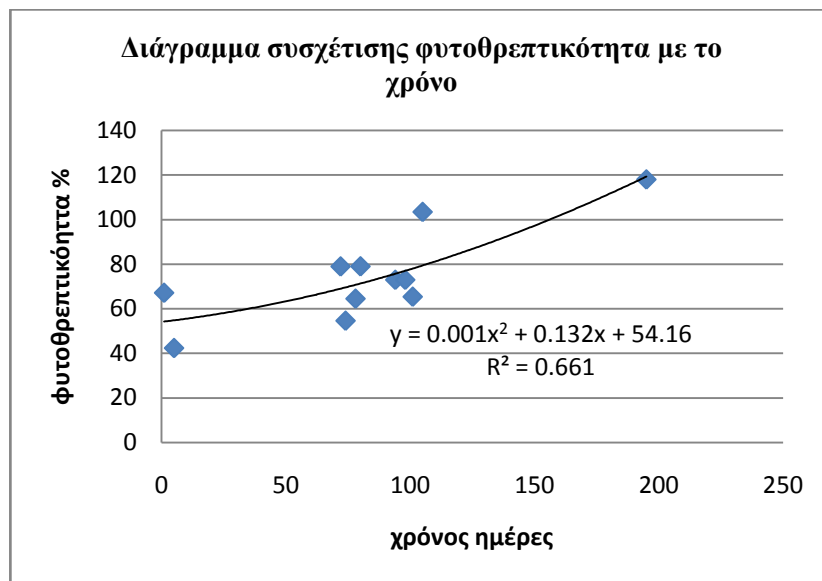
Παίρνοντας το λόγο του C/N παρατηρούμε από το διάγραμμα 12 μια αύξηση της τιμής του λόγου περίπου 65% και έπειτα μια μείωση όπου οφείλεται στις τιμές του N καθώς ο C παίρνει σταθερές σχεδόν τιμές. [25]



Διάγραμμα 13. Συσχέτισης των CEC με το χρόνο

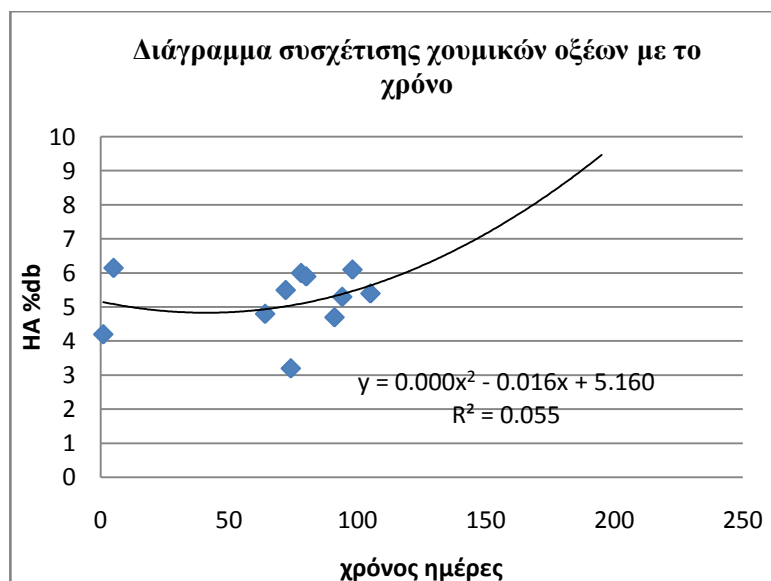
Από το διάγραμμα 13 του CEC (η κατιοντική ιοντοεναλλακτική ικανότητα) με το χρόνο παρατηρούμε ότι τα CEC αυξάνονται μέχρι και τις 105 ημέρες και έπειτα από 3 μήνες δηλαδή

στις 195 ημέρες παρατηρείται παίρνοντας τελική τιμή 38 meq/100 g d.c. Αυτή η αρχική αύξηση οφείλεται στην παραγωγή χουμικών οξέων. [51]

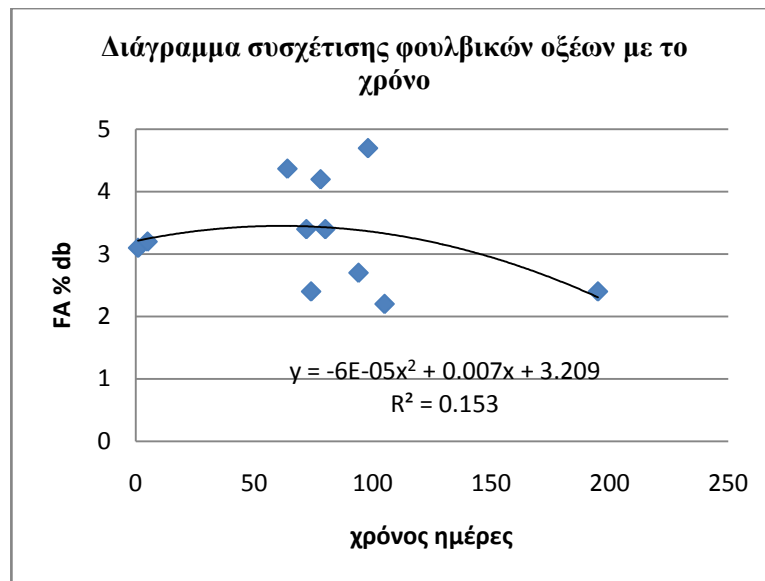


Διάγραμμα 14. Συσχέτισης φυτοθρεπτικότητας με το χρόνο

Η φυτοτοξικότητα στο κόμποστ αποτελεί την ένδειξη του βαθμού αποδόμησής του και είναι ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να αποφευχθούν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον όταν κάποιο κόμποστ προορίζεται σε καλλιεργήσιμο έδαφος. Η μέθοδος με την οποία γίνεται η εκτίμηση της φυτοτοξικότητας είναι χρονοβόρα και απαιτεί ιδιαίτερες συνθήκες. Από την πορεία της μελέτης της φυτοτοξικότητας που στην προκειμένη περίπτωση έχουμε φυτοθρεπτικότητα, παρατηρούμε κάποιες διακυμάνσεις διατηρώντας φυσιολογικές τιμές. Από την μελέτη του pH διαπιστώθηκε ότι κυμαίνεται σε αλκαλικά επίπεδα γεγονός που κάνει το κόμποστ να είναι φυτοθρεπτικό και όχι φυτοτοξικό. Αυτό φαίνεται και από τις τιμές που παίρνει που είναι πάνω από 40% , ξεκινώντας με την τιμή 67.19% και καταλήγοντας μετά από 195 ημέρες στην τιμή 95 %. Επίσης η αύξηση της φυτοθρεπτικότητας που φαίνεται και στο διάγραμμα 14 οφείλεται στο ότι το προϊόν βελτιώνεται και ωριμάζει. [76]

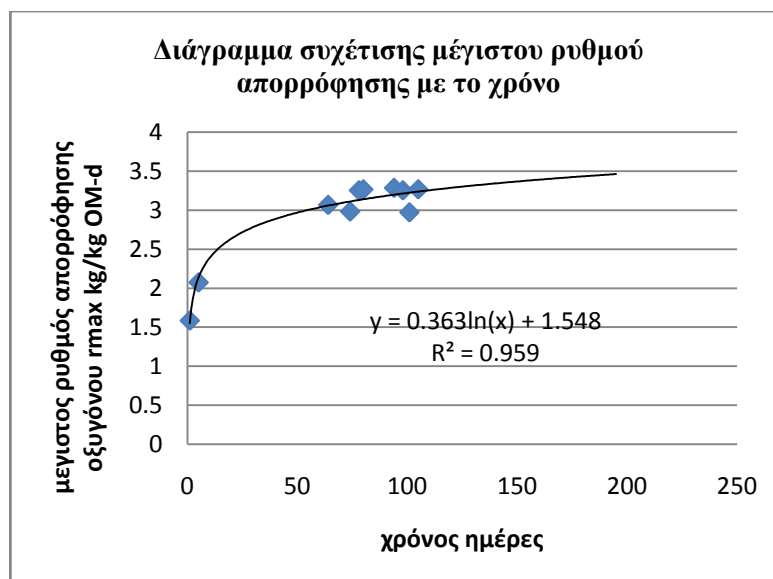


Διάγραμμα 15. Συσχέτισης χουμικών οξέων (HA) με το χρόνο



Διάγραμμα 16. Συσχέτισης φουλβικών οξέων (FA) με το χρόνο

Από τις σημαντικότερες παραμέτρους που μελετάται πάντα κατά την πορεία και ειδικά στο τέλος κάθε κομποστοποίησης είναι η μελέτη των χουμικών και φουλβικών οξέων. Κατά τα διαγράμματα φουλβικών και χουμικών με το χρόνο 15 και 16 αντίστοιχα παρατηρούμε μία αύξηση των χουμικών με συντελεστή συσχέτισης 5% ξεκινώντας από την τιμή 4,2 και τερματίζοντας στο 3 και μια μείωση των φουλβικών κατά το τέλος της διαδικασίας της κομποστοποίησης γεγονός φυσιολογικό, με συντελεστή συσχέτισης 15%, από την τιμή 3,1 στην τελική τιμή 2,4. Αυτή η μείωση των φουλβικών οφείλεται στο ότι αυτά είναι υδατοδιαλυτά και δεν συγκρατούνται στην μάζα του κόμποστ. Αυτό το γεγονός αιτιολογείται και από το χρώμα το οποίο είναι αρκετά σκούρο καφέ. [74]



Διάγραμμα 17. Μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου

Το οξυγόνο μέσα στο κόμποστ σχετίζεται άμεσα με τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται μέσα σε αυτό. Στην αρχή καθώς το κόμποστ ξεκινάει να ωριμάζουν αναπτύσσεται ένας μεγάλος βαθμός μικροοργανισμών και με την ολοκλήρωση της ωρίμανσης του προϊόντος μειώνονται καθώς επικρατούν αερόβιες συνθήκες. Αυτό διαπιστώνεται και από το διάγραμμα 17 συσχέτισης όπου εμφανίζεται η συσχέτιση του μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου με το χρόνο. Στην αρχή παίρνει την τιμή 1,582 kg/kg OM -d και στο τέλος των 105 ημερών παίρνει τελικά τιμή 3,266 kg/kg OM-d. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι 95%. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο ότι αλλάζει η μικροβιακή δομή του συστήματος από βακτήρια σε πρωτόζωα και ότι δεν έχουμε τοξικότητα οπότε τα βακτήρια ρουφούν περισσότερο οξυγόνο. [64]

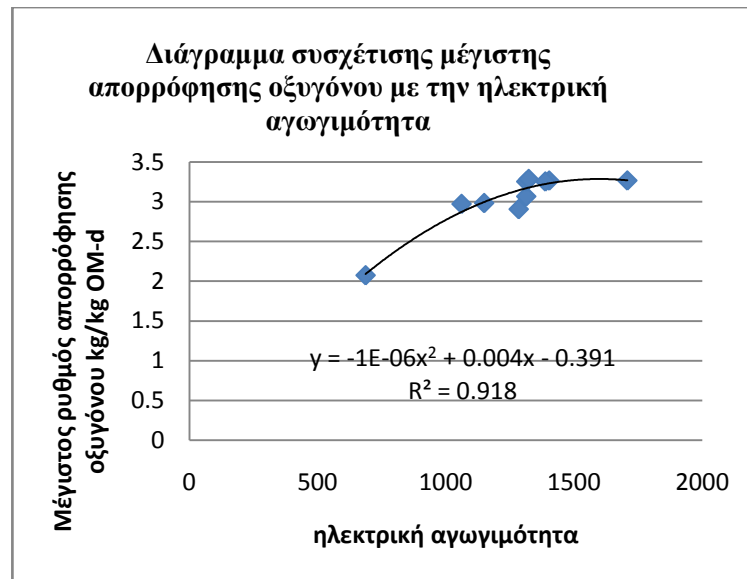
Η συσχέτιση των παραμέτρων υγρασία db, WHCdb, pH, αγωγιμότητας, οργανικών, άνθρακα, αμμωνιακών, CEC, φυτοτοξικότητας, HA,FA, HA/FA κατανάλωση οξυγόνου mg/kg .d.c./d και ο λόγος C/N με το χρόνο σε ημέρες δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 11. Συγκεντρωτικός πίνακας μαθηματικών μοντέλων συσχέτισης των παραμέτρων κομποστοποίησης με το χρόνο εξέλιξης της διεργασίας.

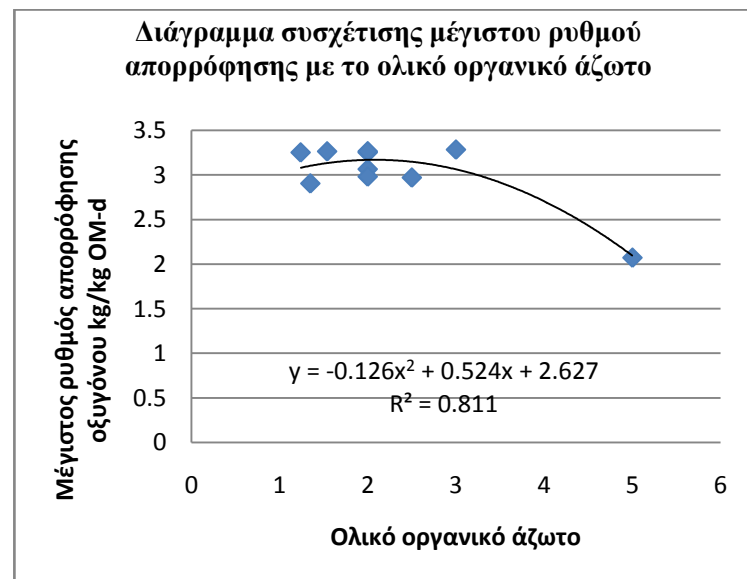
Συσχετιζόμενη παράμετρος	Εξισώσεις	R ²
WHC	$Y=0.0065T^2-1.9788T+264.99$	98.15%
pH	$Y=-0.0002T^2+0.0661T+4.4231$	96.18%
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	$Y=-0.0698T^2+14.47T+607.57$	70.81%
Οργανική ύλη	$Y=0.0002T^2-0.0986T+90.427$	93.3%
Οργανικός άνθρακα	$Y=-0.0012T^2+0.0992T+47.036$	95.11%
Ολικό οργανικό άζωτο	$Y=0.0002T^2-0.0378T+3.9721$	54.46%
CEC	$Y=0.0001T^2+0.1135T+12.162$	57.97%
Φυτοθρεπτικότητα	$Y=0.001T^2+0.1321T+54.163$	66.11%
HA	$Y=0.0002T^2-0.016T+5.1603$	5.51%
FA	$Y=-6E-05T^2+0.0079T+3.2099$	15.39%
Μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου	$Y=0.363\ln(T)+1.5488$	95.96%
C/N	$Y=-0.0019T^2+0.349T+11.538$	65.57%

*όπου T ο χρόνος σε ημέρες

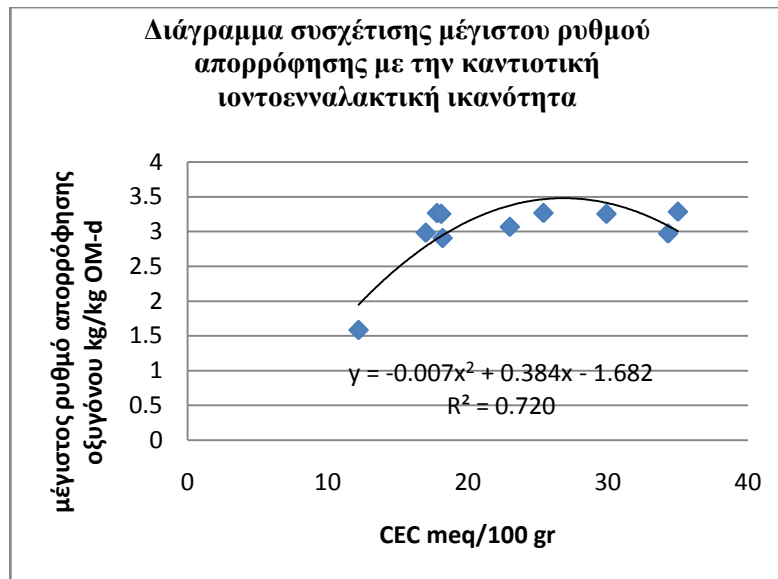
Σύμφωνα με το διάγραμμα 17 υπάρχει μια υψηλή συσχέτιση R²= 95% μεταξύ της χρονικής εξέλιξης του μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου και του χρόνου. Λόγω του ότι το οξυγόνο θεωρείται βιολογική παράμετρος τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν τον κατά προσέγγιση μέγιστο ρυθμό απορρόφησης οξυγόνου με μερικές από τις λοιπές φυσικοχημικές παραμέτρους για τις οποίες δεν βρέθηκε ικανοποιητική συσχέτιση.



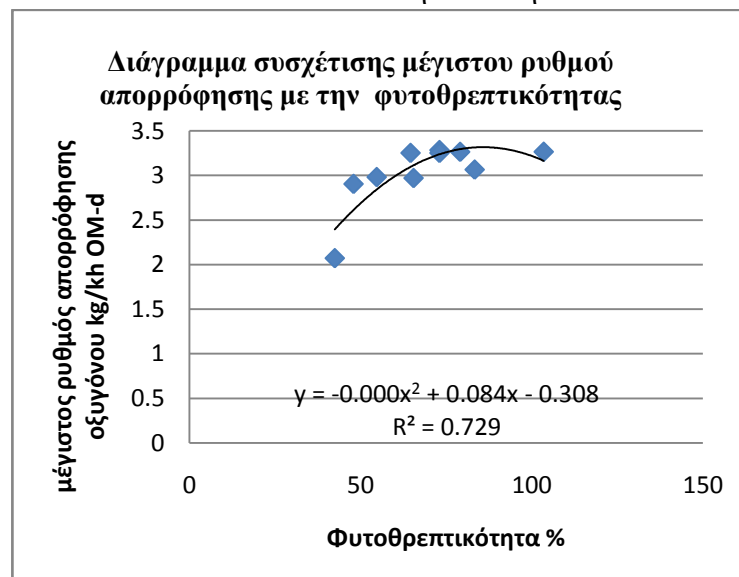
Διάγραμμα 18. Διάγραμμα συσχέτισης μέγιστης απορρόφησης οξυγόνου με την ηλεκτρική αγωγιμότητα.



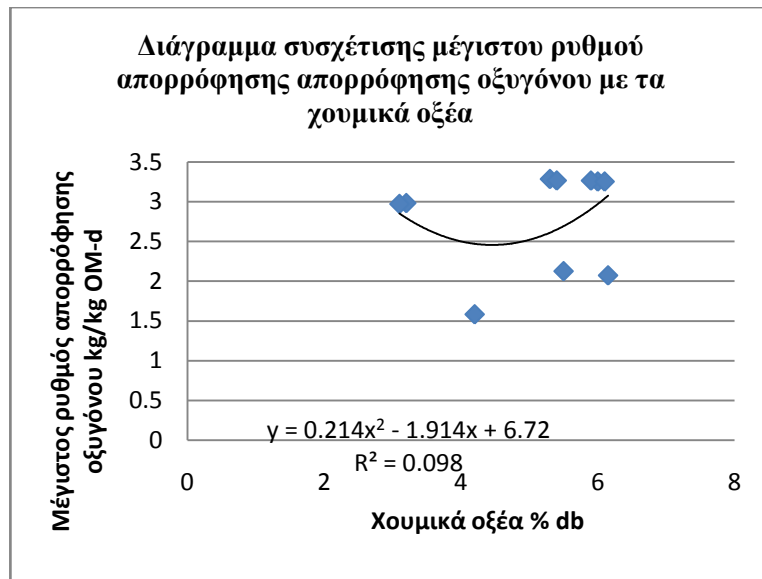
Διάγραμμα 19. Διάγραμμα συσχέτισης μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου με το ολικό οργανικό άζωτο.



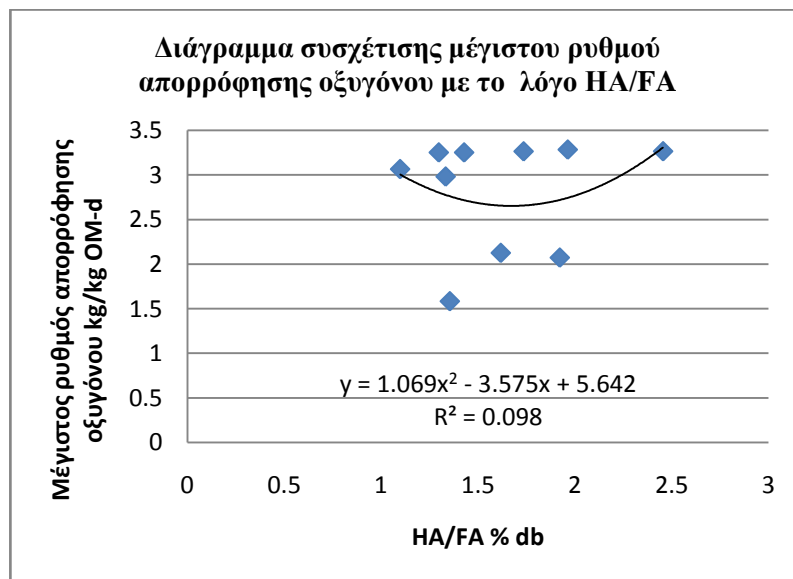
Διάγραμμα 20. Διάγραμμα μέγιστης απορρόφησης οξυγόνου με την καντιοτική ιοντοεναλλακτική ικανότητα



Διάγραμμα 21. Διάγραμμα συσχέτισης μέγιστου ρυθμού απορρόφησης με την φυτοθρεπτικότητα



Διάγραμμα 22. Διάγραμμα συσχέτισης μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου με τα χουμικά οξέα.



Διάγραμμα 23. Διάγραμμα συσχέτισης μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου με το λόγο χουμικά/φουλβικά

Πίνακας 12. Συγκεντρωτικός πίνακας μαθηματικών μοντέλων συσχέτισης του μέγιστου ρυθμού απορρόφησης του οξυγόνου με κάποιες παραμέτρους που δεν είχαν αρκετά καλό συντελεστή συσχέτισης με το χρόνο

Συσχετιζόμενη παράμετρος	Εξισώσεις	R ²
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	$Y = -1E-06X^2 + 0.0046X - 0.3911$	91.85%
Ολικό οργανικό άζωτο	$Y = -0.126X^2 + 0.524X + 2.6273$	81.16%
CEC	$Y = -0.007X^2 + 0.384X - 1.6824$	72,05%
Φυτοθρεπτικότητα	$Y = -0.0005X^2 + 0.0846X - 0.3088$	72.91%
HA	$Y = 0.2149X^2 - 1.9144X + 6.72$	9.8%
HA/FA	$Y = 1.0694X^2 - 3.5759X + 5.6428$	9.8%

*όπου Y ο μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου και X η κάθε παράμετρος αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα - Προτάσεις

5. Συμπεράσματα- Προτάσεις

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η καταγραφή της παραμετρικής εξέλιξης μιας κομποστοποίησης με πρώτη ύλη τον πυρήνα ενός τριφασικού ελαιοτριβείου καθώς και την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση είναι μια αερόβια βιολογική διαδικασία σταθεροποίησης οργανικών στερεών υποστρωμάτων (αποβλήτων ή γεωργικών παραπροϊόντων). Η κομποστοποίηση έχει την ικανότητα να μετατρέψει τον οργανικό άνθρακα σε προϊόντα που μπορούν να βελτιώσουν την γονιμότητα του εδάφους όπως είναι οι χουμικές και φουλβικές ενώσεις. Ένα ώριμο κόμποστ χαρακτηρίζεται από σταθεροποιημένο οργανικό υπόστρωμα που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις ανόργανου αζώτου και χουμικών και φουλβικών ενώσεων. Επίσης χαρακτηρίζεται από υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού, θρεπτικών συστατικών (N,P,K και ιχνοστοιχείων) για την φυτική ανάπτυξη συστατικών καθώς και υψηλή ιοντοεναλλακτική ικανότητα (CEC).

Στη παρούσα εργασία παρακολουθήσαμε την εξέλιξη μιας κομποστοποίησης μετρώντας την χρονική μεταβολή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της κομπόστας (pH, EC, CEC, WHC, HA και FA) καθώς επίσης και των βιολογικών χαρακτηριστικών της κομπόστας (μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου).

Μετά την συλλογή των αναλύσεων έγινε μία προσπάθεια μαθηματικής έκφρασης των προαναφερομένων χαρακτηριστικών σε συνάρτηση τον χρόνο εξέλιξης της κομποστοποίησης. Τα αποτελέσματα αυτής της μαθηματικής προσαρμογής των πειραματικών αποτελεσμάτων παρουσιάστηκαν στον πίνακα 10. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 εκφράζει την στατιστική αποτελεσματικότητα της προσαρμογής. Από όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους την καλύτερη προσαρμοστικότητα παρουσίασαν οι : Η ικανότητα συγκράτησης νερού ($R^2=98.15\%$), pH ($R^2=96.18\%$), ο μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου rmax_{O_2} ($R^2=95.96\%$), ο ολικός οργανικός άνθρακας ($R^2=95.11\%$). Οι υπόλοιποι παράμετροι έδειξαν μικρή συσχέτιση με το χρόνο. Τα αποτελέσματα αυτά αποδεικνύουν ότι η τέσσερις προαναφερόμενοι παράμετροι μπορούν να εκφράσουν ικανοποιητικά την εξέλιξη της συγκεκριμένης κομποστοποίησης.

Από τις παραπάνω παραμέτρους η μεγαλύτερης σπουδαιότητας παράμετρος, από θεωρητικής άποψης, εκτιμάται ότι είναι ο μέγιστος ρυθμός απορρόφησης οξυγόνου rmax_{O_2} . Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να διερευνηθεί η πιθανότητα στατικής συσχέτισης των παραμέτρων που δεν μπορούν να εκφράσουν αξιόπιστα την εξέλιξη της κομποστοποίησης (δηλαδή οι παράμετροι CEC, HA, FA, T KN και GI όπως ξεχώρισαν στον πίνακα 10) με τον μέγιστο ρυθμό απορρόφησης οξυγόνου. Οι συσχετίσεις αυτές παρουσιάστηκαν συγκεντρωτικά στον πίνακα 12. Από τα αποτελέσματα του πίνακα 12 εμφανίζεται μια αρκετά καλή συσχέτιση μεταξύ των τιμών του CEC και του rmax_{O_2} . Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να γίνει μια «χονδρική» εκτίμηση της τιμής του CEC ενός δείγματος από την τιμή μέτρησης του μέγιστου ρυθμού απορρόφησης οξυγόνου από το δείγμα αυτό. Έτσι θα μπορούσε να «εξοικονομηθεί» χρόνος κατά την ανάλυση των δειγμάτων σε μια βιομηχανική εφαρμογή.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

1. Επανάληψη πειραματικών μεθόδων για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.
2. Περισσότερες συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων ώστε να απλοποιηθούν οι αναλύσεις ποιότητας της διεργασίας.
3. Να επιβεβαιωθούν αν ισχύουν οι σχέσεις που προέκυψαν και σε άλλα υποστρώματα.

Κεφάλαιο 6^ο

Βιβλιογραφία

6. Βιβλιογραφία

A. ΑΓΓΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]Abid N., Sayadi S. (2006). Detrimental effects of olive mill wastewater on the composting process of agricultural wastes. *Waste Management*. 26: 1099 - 1107.

[2]A. Vlyssides, Ch. Tsiodra, E. M. Barampouti, S. Mai and M. Loizides, (2015), « Olive stone wooden residues and olive pomace characterization - potential uses in co-composting with olive mill wastewater», School of Chemical Engineering Athens, National Technical University of Athens, Athens

[3]A.G.Vlyssides, D.L.Bouranis, M.Loizidou, G. Karvouni,1996, “Study of a demonstration plant for the co-composting of olive oil processing wastewater and solid residue”, *Bioresource Technology* 56, 187-193.

[4]Al-Malah, K., Azzam, M. O. J., Abu-Lail, N. I., (2000). Olive mills effluent (OME) wastewater posttreatment using activated clay. *Separation and Purification Technology* 20, 225–234.

[5]Amaral, C., Lucas, M.S., Coutinho, J., Crespi, A.L., do Rosario A.M., Pais, C., (2008). Microbiological and physicochemical characterization of olive mill wastewaters from a continuous olive mill in Northeastern Portugal. *Bioresource Technol.* 99, 7215–7223.

[6]Azbar, N., Bayram, A., Filibeli, A., Muezzinoglu, A., Sengul, F., Ozer, A., (2004). A review of waste management options in olive oil production. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 34, 209–247.

[7]Albuquerque J.A, Gonzalez J., Garcia D. & Cegarra J. (2005a) Composting of a solid olive-mill by-product (‘alperujo’) and the potential of the resulting compost for cultivating pepper under commercial conditions. *Waste Management* .

[8]Albuquerque J.A, Gonzalez J., Garcia D. & Cegarra J. (2005b) Measuring detoxification and maturity in compost made from ‘alperujo’, the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*.

[9]Albuquerque, J.A., J. Gonzalvez, D. Garcia, J. Cegarra (2004) ‘Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction’, *Bioresource Technology* 91: 195–200.

- [10]Arjona R., Ollero P. & Vidal F. B. (2005) Automation of an olive waste industrial rotary dryer. *Journal of Food Engineering* **68**: 239-247.
- [11]A.C. Barbera, C. Maucieri, V. Cavallaro, A. Ioppolo, G. Spagna, 2013, «Effects of spreading olive mill wastewater on soil properties and crops, a review», *Agricultural Water Management* 119 , 43– 53.
- [12]Abu Khayer Md Muktadirul Bari Chowdhury , Michail K. Michailides , Christos S. Akrotos , Athanasia G. Tekerlekopoulou , Stavros Pavlou , Dimitrios V. Vayenas, (2014). Composting of three phase olive mill solid waste using different bulking agents. *International Biodeterioration & Biodegradation* 91, 66-73.
- [13]Abu Khayer. Muktadirul Bari Chowdhury, Christos S. Akrotos, Dimitrios V.Vayenas, Stavros Pavlou, (2013). “Olive mill waste composting: A review.” *International Biodetermination & Biodegradation* 85: 108-119.
- [14]Alfano G., C.Belli, G.Lustrato and Ranalli, 2008, “Pile composting of two phase centrifuged olive husk residues, Technical solutions and quality of cured compost”, *Bioresource Technology* 99, 4694-4701.
- [16]A.Roig , M.L. Cayuela, M.A. Sa´nchez-Monedero, 2006, « An overview on olive mill wastes and their valorisation methods», *Waste Management* 26 960–96.
- [17]Ana Robles, Rosario Lucas, Gerardo Alvarez de Cienfuegos, Antonio G_alvez, 2000, «Biomass production and detoxication of wastewaters from the olive oil industry by strains of Penicillium isolated from wastewater disposal ponds», *Bioresource Technology* 74, 217-221.
- [18]Christina Tsiodra, Elli Maria Mparampouti, Sofia Mai, Apostolos, 2015, « Effect of liquid feeding on co-composting process of OMWW with OSWR», School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Greece.
- [19]Composting Factsheet, “The composting process”, Ministry of Argiculture and food, British Columbia, September, 1996.
- [20]Dimitris P. Komilis, Robert K. Ham, 2003, « The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes», *Waste Management* 23 , 419–423.
- [21]Dr. Chris Starbuck, “Processes in Compost Making”. University of Missouri.

[22]Epstein E. (1997). The science of composting. CRC Press. Boca Raton, Florida.

[23]Ermanno Federici a, Milva Pepi, Alessandro Esposito, Silvia Scargetta, Laura Fidati, Simone Gasperini, Giovanni Cenci, Roberto Altieri, (2011). Two-phase olive mill waste composting: Community dynamics and functional role of the resident microbiota. *Bioresource Technology* 102,10965-1097.

[24]Evagelia Tsagaraki, Harris N. Lazarides, and Konstantinos B. Petrotos, «Olive Mill Wastewater Treatment», Aristotle University of Thessaloniki, *Department of Food Science and Technology*, Thessaloniki.

[25]E.Madejon, E.Galli, and U.Tomati, 1998, “Composting of wastes produced by low water consuming olive mill technology”, *Agrochimica*, vol XLII-N. 3-4.

[26]Fiorentino, A., Gentili, A., Isidori, M., Monaco, P., Nardelli, A., Parrella, A., Temussi, F., 2003. Environmental effects caused by olive Mill wastewaters: toxicity comparison of low-molecular-weight phenol components. *J. Agr. Food Chem.* 51, 1005–1009.

[27]Fiorentino, A., Gentili, A., Isidori, M., Lavorgna, M., Parrella, A., Temussi, F., (2004), “Olive Oil Mill Wastewater Treatment Using a Chemical and Biological Approach”, *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 52 Issue 16, pp. 5151 – 5154.

[28]Farid Barje, Loubna El Fels, Houda El Hajjouji ,Soumia Amir, Peter Winterton, Mohamed Hafidi, (2012). Molecular behaviour of humic acid-like substances during co-composting of olive mill waste and the organic part of municipal solid waste. *International Biodeterioration & Biodegradation* 74: 17-23.

[29]Francisco J. Fernandez , Virginia Sanchez-Arias, Lourdes Rodrvuez , Jost Villasepor, 2010, «Feasibility of composting combinations of sewage sludge, olive mill waste and winery waste in a rotary drum reactor», *Waste Management* 30, 1948–1956.

[30]Francesca Parati , Roberto Altieri , Alessandro Esposito , Arianna Lobianco , Milva Pepi ,Lorenzo Montesi , Tan Nair, (2011).” Validation of thermal composting process using olive mill solid waste for industrial scale cultivation of *Agaricus bisporus*”. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65 :160-163.

[31]German Tortosa, Jose Antonio Alburquerque, Ghita Ait Baddi, Juan Cegarra (2011). The production of commercial organic amendments and fertilizers by composting of two-phase olive mill waste (“alperujo”). *Journal of cleaner production* 26, 48-55.

[32] Germán Tortosa , José Antonio Alburquerque , Ghita Ait-Baddi , Juan Cegarra, 2012, « The production of commercial organic amendments and fertilisers by composting of two-phase olive mill waste (“alperujo”)», *Journal of Cleaner Production* 26, 48-55.

[33] Ghita Ait Baddi, Jose Antonio Alburquerque, Jose Gonzalvez, Juan Cegarra, Mohamed Hadi, (2004). Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting of olive mill wastes. *International Biodeterioration & Biodegradation* 5, 39 – 44.

[34] G. Ait Baddi, J. Cegarra, G. Merlina , J.C. Revel , M. Hafidi,,2009, “Qualitative and quantitative evolution of polyphenolic compounds during composting of an olive-mill waste–wheat straw mixture”, *Journal of Hazardous Materials* 165 , 1119–1123.

[35] Giovanni Gigliotti , Primo Proietti a Daniel Said-Pullicino , Luigi Nasini , Daniela Pezzolla , Laura Rosati, Pier Riccardo Porceddu, (2012).” Co-composting of olive husks with high moisture contents: Organic matter dynamics and compost quality”. *International Biodeterioration & Biodegradation* 67: 8-14.

[36] Gharsallah, N., (1993), “Production of single cell protein from olive mill wastewater by yeasts”, *Food processing and preservation*, Vol. 14, Issue 4, pp. 391 –395.

[37] Gray K.R., Sherman and A. J Biddlestone 1971 b. A review of composting Part 2-The practical process. *Process biochemistry*,

[38] G. Alfano, C. Belli, G. Lustrato, G. Ranalli,2008, «Pile composting of two-phase centrifuged olive husk residues: Technical solutions and quality of cured compost, *Bioresource Technology* 99 ,4694–4701.

[39] I. Aviani, Y. Laor, Sh. Medina, A. Krassnovsky, M. Raviv, (2010). Co-composting of solid and liquid olive mill wastes: Management aspects and the horticultural value of the resulting composts. *Bioresource Technology* 101 :6699–6706.

[40] Justino C.I.L., R. Pereira, A.C. Freitas, T.A.P. Rocha-Santos, T.S.L. Panteleitchouk and A.C. Duarte (2012). Olive oil mill wastewaters before and after treatment: a critical review from the ecotoxicological point of view, *Ecotoxicology* 21, 615-29.

[41] J. Cegarra, J.A. Alburquerque , J. Gonza´lvez , G. Tortosa , D. Chaw, 2006, «Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) managed by mechanical turning», *Waste Management* 26 ,1377–1383.

[42] J.A. Alburquerque, J. Gonza´lvez, D. Garcí’a, J. Cegarra, (2007). Effects of a compost made from the solid by-product (“alperujo”) of the two-phase centrifugation system for olive

oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass. *Bioresource Technology* 98 :940–945.

[43]Jose Antonio Alburquerque, Jose Gonza'lvez, Diego Garc'ia, Juan Cegarra, (2006). Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* 64 :470–477.

[44]Kavvadias V., M. Doula, K. Komnitsas and N. Liakopoulou (2010). Disposal of olive oil mill wastes in evaporation ponds: Effects on soil properties, *J Hazard Mater* 182, 144-55.

[45]Lina Baeta-Hall , M. C_eu S_a_agua , M. Lourdes Bartolomeu , Ana M. Anselmo, M. Fernanda Rosa,2005, "Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles", *Bioresource Technology* 96 ,69–78.

[46]Lungisa Mayende, Brendan S. Wilhelmi, Brett I. Pletschke, 2006, «Cellulases (CMCases) and polyphenol oxidases from thermophilic Bacillus spp. isolated from compost», *Soil Biology & Biochemistry* 38, 2963–2966.

[47]M. de Bertoldi, G. Vallini and A. Pera, 1983, "The biology of composting: A review", *Waste Management & Research* 1, 157-176.

[48]Michael Michailides , Gerasimos Christou , Christos S. Akkratos , Athanasia G. Tekerlekopoulou , Dimitrios V. Vayenas, (2011). "Composting of olive leaves and pomace from a three-phase olive mill plant". *International Biodeterioration & Biodegradation* 65 560-564.

[49]M.S. Fountoulakis, S.N. Dokianakis, M.E. Kornaros, G.G. Aggelis, G. Lyberatos, 2002, « Removal of phenolics in olive mill wastewaters using the white-rot fungus *Pleurotus ostreatus*», *Water Research* 36 , 4735–4744.

[50]Maria Luz Cayuela , Miguel A. Sa'nchez-Monedero, Asuncio'n Roig, (2010). "Two-phase olive mill waste composting: enhancement of the composting rate and compost quality by grape stalks addition". *Biodegradation* 21:465–473.

[51]M.P. Bernal, J.A. Alburquerque , R. Mora, 2009, "1 Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review" *Bioresource Technology* 100 5444– 5453.

[52]M. Tuomela, M. Vikman, A. Hatakka, M. It□avaara, 2000, "Biodegradation of lignin in a compost environment: a review", *Bioresource Technology* 72, 161-183.

[53]Niaounakis, M. and Halvadakis, C.P. (2004), “Olive Mill Waste Management.Literature Review and Patent Survey” Typothito-George Dardanos, Athens,Greece.

[54]Paraskeva, P. & Diamadopoulos, E. (2006), Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Volume 81, pp 1475 – 1485.

[55]Paredes C., Roig A., Bernal M.P., Sánchez-Monedero M.A., Cegarra J. (2000). Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive-mill wastewater with solid organic wastes. *Biol Fertil Soils*. 32: 222 - 227.

[56]Paredes C., Bernal M.P., Roig A. & Cegarra J. (2001) Effects of olive mill wastewater addition in composting of agroindustrial and urban wastes. *Biodegradation* 12 : 225-234

[57]Paredes C., Bernal M.P., Roig A. & Cegarra J. & Roig A. (2002) Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. *Bioresource Technology* 85 : 1-8.

[58]Paredes C., Cegarra J., Bernal M.P. & Roig A. (2005) Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. *Environment International* 31 : 305-312.

[59]Paredes C., Bernal M.P., Roig A. & Cegarra J. & Sanchez-Monedero M.A. (1996) Influence of the Bulking Agent on the Degradation of Olive-Mill Wastewater Sludge During Composting. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 205-210.

[60]Roberto Altieri , Alessandro Esposito , Tan Nair, (2011) “Novel static composting method for bioremediation of olive mill waste”. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65: 786-789.

[61]Roger Tim Haug, (1980).Compost engineering Principles and Practice.

[62]Robert Rynk, Maarten van de Kamp, George B. Willson, Mark E. Singley, Tom L. Richard, John J. Kolega, Francis R. Guin, Lucien Laliberty, Jr, David Kay, Dennis W. Murphy,Harry A.J. Hoitink,William F.Brinton.(1987). On- Farm Composting Handbook.

[63]Roig A., Cayuela M.L. & Sánchez-Monedero M.A., 2006. An overview on olive mill wastes and their valorization methods. *Waste Management*, 26(9): 960-969.

[64] S. M. Tiquia, N. F. Y. Tam & I. J. Hodgkiss", 1996, «Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contentsicrobial» *Bioresource Technology* 55, 201-206

[65]Salma Hachicha, Fatma Sallemi, Khaled Medhioub, Ridha Hachicha, Emna Ammar, (2008). Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes. *Waste Management* 28, 2593–2603.

[66]Salma Hachicha, Juan Cegarra, Fatma Sellami, Ridha Hachicha, Nouredine Drira, Khaled Medhioub, Emna Ammar, 2009, «Elimination of polyphenols toxicity from olive mill wastewater sludge by its co-composting with sesame bark», *Journal of Hazardous Materials* 161 ,1131–1139.

[67]S. Dermeche , M. Nadour, C. Larroche, F. Moulti-Mati, P. Michaud, (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry*. Volume 48, Issue 10, p 1532-1552.

[68]Sellami F., S. Hachicha, M. Chtourou, K. Medhioub and E. Ammar (2008) ‘Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters’, *Bioresource Technology*, 99: 6900–6907.

[69]Thrassyvoulos Manios, Konstantinos Maniadakis, Maria Kalogeraki, Eirini Mari, Emmanouil Stratakis, Stelios Terzakis, Panagiotis Boytzakis, Yiannis Naziridis & Leonidas Zampetakis, (2006). “Efforts to explain and control the prolonged thermophilic period in two-phase olive oil mill sludge composting”. *Biodegradation* 17: 285–292.

[70]Tomati, U., (1995), “Bioremediation of Olive – mill wastewater”, *Waste Management & Research*, Vol. 13, No. 6, pp. 509 – 518.

[71]Vlyssides, A.G., Loizidou, M., Gimouhopoulos, K., Zorpas, A., (1998), “Olive oil processing wastes production and their characteristics in relation to olive oil extraction methods” *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 7, pp. 308-313.

[72]Vlyssides A.G., Loukakis H.N., Karlis P.K., Barampouti E.M., Mai S., 2004b. Olive mill wastewater detoxification by applying pH related Fenton’s oxidation process, *Fresenius Envir. Bull.* 13, 501-504.

[73]Vlyssides, A.G., Loizides, M.J., Karlis, P.K., Simonetis S.I., (2002), “Olive stone oil production wastes and their characteristics”, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 1, pp. 1- 5.

[74]Weber, Jerzy. Undated. Definition of soil organic matter. Available online at: http://www.humintech.com//articles/article_definition_of_soil_organic_matter.html

Last accessed: January 10, 2006.

[75] Zomeran, A., Comans R., (2007). "Measurement of humic and fulvic acid concentrations and dissolution properties by a rapid batch procedure". *Environmental Science Technology*, No 41, pp 6755-6761.

B. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[76] Α. Βλυσίδης, Α. Ζορπάς, Γ. Χίου, Δ. Αράπογλου, 2001, «Συσχέτιση φυσικοχημικών παραμέτρων κομποστοποιημένων υποστρωμάτων με τη φυσικοτοξικότητα», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εργαστήριο οργανικής χημικής τεχνολογίας, Αθήνα.

[77] Βλυσίδης Α., (2007) Επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων με οξειδωτικές και βιολογικές διεργασίες με παράλληλη παραγωγή υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού, ΣΥΜΠΟΣΙΟ «Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας».

[78] Βλυσίδης Α., Λυμπεράτος Γ., Χαλουλάκου Α., Γρηγοροπούλου Ε., «Σημειώσεις Περιβαλλοντικής Μηχανικής», Εθνικό Μετσόβιο Πόλυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αθήνα 2013.

[79] Βλυσίδης Α. «Η τεχνολογία της συγκομποστοποίησης στην επεξεργασία υγρών απόβλητα ελαιοτριβείων» Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ Εργαστήριο Τεχνολογιών Περιβάλλοντος και Καθαρών Τεχνολογιών.

[80] Β. Μανιός, Γ. Κριτσωτάκης και Θ. Μανιός, «Εφαρμογές Κομπόστ στην Γεωργία», Εισήγηση στην 2^η συνάντηση εργασίας του Δικτύου, Ξάνθη, Οκτώβριος 2000.

[81] Γκουτσίδης Ε. Πασχάλης, Πετρωτός Β. Κωνσταντίνος, Γούλας Παναγιώτης. «Μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων ελαιοτριβείων με υπερδιήθηση και αναδύμενη εφαρμογή της στην παραγωγή ζωοτροφών», Εργαστήριο Μηχανικής Μεταποίησης, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας.

[82] Γιαννόπουλος Γιώργος, (2014). «Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων και εφικτές λύσεις διαχείρισής». Περιβαλλοντικό παρατηρητήριο Ελλάδος- Greek envirometal watch.

[83] Δημήτρης Κανακόπουλος, "Η κομποστοποίηση ως μέθοδος επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων", ΗΜΕΡΙΔΑ, 2011, Λάρισα.

[84] Γεωργακάκης Δ. (1998), "Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων Πτηνοκτηνοτροφικών Μονάδων & Γεωργικών Βιομηχανιών", Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

[85] Κουτσερής Ε., «Φυσικό-μηχανική διαδικασία οργανικής αποικοδόμησης υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων στο νομό Μαγνησίας», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος.

[86]Κ. Λαζαρίδη, Π. Κουλουμπής, Σ. Σκουλάξινου, Δ. Κανακόπουλος και Γ. Λώλος. «Προδιαγραφές ποιότητας και διάθεση κόμποστ: Η Ελληνική και Διεθνής Εμπειρία».

[87]Κ. Ι. Ισραηλίδης , «Αξιοποίησης κομποστοποιημένου πυρηνόξυλου και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων σαν εδαφοβελτιωτικό».

[88]Κατσίρη Α, (2003). «Λιπασματοποίηση απορριμάτων». Σημειώσεις για το μάθημα “Διαχείριση στερεών απορριμάτων και ιλύος”, ΕΜΠ.

[89]Λοιζίδου Μ., «Σημειώσεις: Υγρά Απόβλητα», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Αθήνα 2013.

[90]Λυμπεράτος Γεράσιμος, Βαγενάς Δημήτριος «Διαχείριση υγρών αποβλήτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2012.

[91]Μουτσάτσου Α., «Ισχύουσα Νομοθεσία για την Επεξεργασία των Αποβλήτων των Ελαιοτριβείων», Εργαστήριο ανόργανης και αναλυτικής χημείας. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

[92]Μπαλατσούρας Γ, 1986, Ελαιόλαδο Σπορέλαια Λίπη, Εκδόσεις Λυμπερόπουλος Α.Ε.

[93]ΝΑΙΑΣ, Απόβλητα ελαιουργείων και μέθοδοι επεξεργασίας, Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

[94]Ντούλα Κ.Μαρία, Καββαδίας Α. Βίκτωρ, Σαρρής Απόστολος, Θεοχαρόπουλος Σιδέρης, Tinivella Federico, Lose Luis Moreno Ortego, Miguel A. Sanchez-Monedero, « Ορθές Πρακτικές Διαχείρισης Αποβλήτων Ελαιοτριβείων», στρατηγικές για την προστασία και την βελτίωση της ποιότητας του εδάφους από την διάθεση αποβλήτων, 2012.

[95]Οικιακή κομποστοποίηση «μια εναλλακτική πρόταση διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων/ Οφέλη- Εφαρμογές στην χώρα μας και σε άλλες χώρες.

[96]Τζιόδρα Χ, Βλυσίδης Α, 2015, «Μαθηματικό μοντέλο συγκομποστοποίησης υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου», 10^ο Πανελλήνιο επιστημονικό συνέδριο χημικής μηχανικής, Πάτρα.

[97]Χρήστου Γ., Μιχαηλίδης Μ., Τεκερλεκοπούλου Α., Ακράτος Χ., Βαγενάς Δ.Β. «Κομποστοποίηση στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων». Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

[98]Χαρά Ευαγγελία, 2014, «Blomberg: Η Ελλάδα θα καλύψει την διεθνή ζήτηση για το ελαιόλαδο, Εφημερίδα Οικονομία.

Γ. ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΕΣ-ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΕΣ-ΠΤΥΧΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

[99]Αναγνωστόπουλος- Πολίτης Η., Χατζηδημητρίου Α., 2010, «Επίδραση του λόγου C/N και πρόσθετων στην κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών.

[100]Δανελλάκης Δ., 2012, «Απόβλητα ελαιοτριβείου και βιολογικές επιπτώσεις τους σε ιστούς του κοινού μυδίου *Mytilus galloprovincialis*», Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Ζώων.

[101]Βολινάκη Χ., 2008, « Μέθοδοι επεξεργασίας υγρών και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων», Μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτη, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

[102]Γαζή Α., «Κομποστοποίηση πράσινων απορριμάτων του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου», Διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής οικονομίας και οικολογίας.

[103]Γεωργακαράκος Κ., 2013, «Επεξεργασία και αξιοποίηση υγρών λυμάτων ελαιουργείου», Πτυχική εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας.

[104]Ζορπάς Α., 1999, «Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την κομποστοποίηση της λύος με χρήση ζεολίθων», Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών.

[105]Λουκάκης Χ., 2010, «Αποτοξικοποίηση αποβλήτων ελαιοτριβείων με οξειδωτικές διαδικασίες fenton», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών.

[106]Ντόλια Σ., 2007, «Διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών.

[107]Σκιαδά Β., 2011, «Μελέτη της μικροβιακής ποικιλότητας κατά τη συγκομποστοποίηση στερεών και υγρών αγροτοβιομηχανικών υποπροϊόντων με την χρήση μοριακών τεχνικών», Μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.

[108]Χρυσιβαλάντου Ν., 2010, «Αξιολόγηση τριφασικής και διφασικής μεθόδου ελαιοποίησης του ελαιοκάρπου», Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ.

Δ. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

[109]<http://www.kevio.gr/>

[110]http://compost-tea.blogspot.gr/p/blog-page_12.html

[111]<http://www.sek-hellas.gr/index.php/texnologies-kompostopoiisis/dhmotiki-kompost/75-h-kompostopoihsh-lush-gia-klademata>

[112]<http://www.gcex.gr/wp-content/uploads/2012/02/olive-oil.pdf>

- [113]http://kpe-kastr.ark.sch.gr/site/images/seminars/OliveMill/Blysidess_03.pdf
- [114]<http://www.prosodol.gr/?q=el/node/479>
- [115]<http://www.bio-olea.eu/sites/default/files/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A7%CE%95%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%97%20%CE%A5%CE%93%CE%A1%CE%A9%CE%9D%20%CE%91%CE%A0%CE%9F%CE%92%CE%9B%CE%97%CE%A4%CE%A9%CE%9D%20%CE%95%CE%9B%CE%91%CE%99%CE%9F%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%92%CE%95%CE%99%CE%A9%CE%9D.pdf>
- [116]<http://www.calrecycle.ca.gov/organics/compostmulch/CompostIs.htm>
- [117]http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html
- [118]http://whatcom.wsu.edu/ag/compost/fundamentals/benefits_benefits.htm
- [119]<http://web.extension.illinois.edu/homecompost/benefits.cfm>
- [120]<http://www.haniotika-nea.gr/55922-oikologiko-elaiourgeio/>
- [121]<http://agrotax.gr/%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%B1-%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B2%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B5%CE%AF%CF%89%CE%BD-%CE%BC%CE%B5-%CE%BC%CE%AF%CE%B1-%CE%AC%CE%BB/>
- [122]www.oliveoilsource.com
- [123]http://library.tee.gr/digital/larlib/ekdiloseis/3688/3688_kanakopoulos
- [124]www.agronews.gr
- [125] <http://www.elinyae.gr/el/keywords.jsp?keyword=87>