



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων ελαιοτριβείων
για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων βιοδιυλιστηρίων**

Κόλλια Άρτεμις-Χριστίνα

Χανιά, 2023



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

**Olive mill waste utilization technologies for the
development of integrated biorefineries**

Kollia Artemis-Christina

Chania, 2023

Βεβαιώνεται πως αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του Προγράμματος Σπουδών του

ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τριμελής Επιτροπή:

- Αλέξανδρος Στεφανάκης (Επικ. Καθηγητής, Επιβλέπων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος)
- Ανέστης Βλυσίδης (Επικ. Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών)
- Πέτρος Γκίκας (Καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σημαντικές ποσότητες αποβλήτων παράγονται από τις βιομηχανίες των ελαιοτριβείων, συντελώντας σε πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Κατά την λειτουργία των ελαιοτριβείων, απομένουν διάφορα κατάλοιπα από τον καρπό της ελιάς, όπως ο ελαιοπυρήνας, τα αιωρούμενα στερεά, τα φύλλα της ελιάς και άλλα. Τα απόβλητα που παράγονται είναι ιδιαίτερα τοξικά, εξαιτίας του υψηλού οργανικού φορτίου και συγκέντρωσης οξέων, καθιστώντας την αποικοδόμηση τους δύσκολη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στις τεχνολογίες αξιοποίησης των αποβλήτων των διφασικών ελαιοτριβείων, λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας εργασιών πάνω στη συγκεκριμένη μέθοδο. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι φαινολικές ενώσεις, των οποίων η ανάκτηση είναι ζωτικής σημασίας χάρη στην αντιοξειδωτική τους δράση και τα πολλαπλά τους οφέλη στην υγεία. Μέσα από ενδελεχή βιβλιογραφική ανασκόπηση, μελετήθηκαν και αναλύθηκαν οι σημαντικότερες τεχνολογίες αξιοποίησης των παραπάνω αποβλήτων. Η εκχύλιση με διήθηση μεμβράνης με στόχο την κλασματοποίηση των φαινολικών ενώσεων, αναδείχθηκε ως η πιο αποδοτική μέθοδος. Διαπιστώθηκε πως η οικολογικότερη μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων ελαιοτριβείων είναι η διφασική, χάρη στη μειωμένη ποσότητα υγρών αποβλήτων όπως και βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους.

Ύστερα, ακολούθησε η μελέτη βιωσιμότητας, με στόχο τον υπολογισμό δεικτών αειφορίας, που αφορούν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα σεναρίων, με τα όρια συστήματος να ξεκινούν από την παραγωγή των αποβλήτων ελαιοτριβείου και θέτοντας ως λειτουργική μονάδα το 1 κιλό αποβλήτων ελαιοτριβείου. Αναλυτικά, ο περιβαλλοντικός δείκτης «Κλιματική Αλλαγή» απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα

σε κάθε σενάριο, με την μέθοδο κατασκευής πέλλετ να αποδίδει καλύτερα συγκρινόμενη με θερμοχημικές μεθόδους και την κομποστοποίηση. Σχετικά με τον δείκτη απόδοσης, η μέθοδος της κομποστοποίησης φαίνεται να παρουσιάζει την καλύτερη τιμή του λόγου προϊόντος ανά πρώτη ύλη. Τέλος, ως προς την κατανάλωση ενέργειας, διαπιστώνεται πως τις λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις συγκεντρώνουν οι μέθοδοι βιολογικής μετατροπής, ακολουθούμενες από την παραγωγή μπρικετών και πέλλετ.

ABSTRACT

Considerable amounts of waste are produced by olive oil mill industries, contributing to many environmental problems. During the operation of the olive mills, various residues remain from the olive fruit, such as the olive pit, the suspended solids, the olive leaves and others. The waste produced is characterized as particularly toxic because of the high organic load and concentration of acids, making their degradation difficult.

The present thesis focused on the utilization technologies of two-phase oil mill waste, due to the greater availability of research on this particular method. In particular, phenolic compounds were studied, the recovery of which is vital thanks to their antioxidant activity and their multiple health benefits. Through a thorough literature review, the most important technologies for the utilization of the above waste were studied and analyzed. Membrane filtration extraction aimed at the fractionation of phenolic compounds emerged as the most efficient method.

It was found that the most ecological method of olive mill waste treatment is the two-phase one, thanks to the reduced amount of liquid waste as well as biochemically required oxygen, compared to other methods.

Then, followed the sustainability study, with the aim of calculating sustainability indicators, concerning the environmental footprint of scenarios, with the system limits starting from the production of olive mill waste and setting 1 kg of olive mill waste as a functional unit.

In detail, the "Climate Change" environmental indicator yielded satisfactory results in each scenario, with the pellet manufacturing method performing better compared to thermochemical methods and composting.

Regarding the performance index, the composting method seems to present the best value of the product per raw material ratio.

Finally, in terms of energy consumption, it is found that the biological conversion methods have the least energy requirements, followed by the production of briquettes and pellets.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πορείας μου στον πολυτεχνικό στίβο, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον κ. Στεφανάκη Αλέξανδρο, επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την άψογη συνεργασία μαζί του κατά το χρονικό διάστημα της εκπόνησής της και κυρίως για το χρόνο που αφιέρωσε στο να την αναγνώσει και να την αξιολογήσει.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ θερμά τον κ. Βλυσίδη Ανέστη για την καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια συγγραφής αυτής της εργασίας, τη συμπαράστασή του σε κάθε βήμα μου, αλλά και την άμεση βοήθειά του στην επίλυση της οποιασδήποτε απορίας μου δημιουργούνταν. Επιπλέον, τον ευχαριστώ για το χρόνο που διέθεσε στην ανάγνωση και την αξιολόγησή της.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Παντελή, για την άριστη συνεργασία που είχαμε στο πλαίσιο της εκπόνησης αυτής της εργασίας, την υπομονή του, την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας, αλλά και για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την ανεκτίμητη και πολυεπίπεδη στήριξη τους τόσο στην παρούσα εργασία αλλά και στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Κατηγορίες ελαιόλαδου	10
1.2 Ελαιοτριβεία και παραγωγικές μονάδες στην Ελλάδα	11
1.3 Παγκόσμια κατανάλωση ελαιόλαδου	14
1.4 Παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου	15
1.5 Μέθοδοι εξαγωγής ελαιόλαδου	16
1.5.1 ΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕ ΠΙΕΣΗ.....	16
1.5.2 ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	17
1.5.3 ΔΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	20
1.6 Παραγωγή αποβλήτων από ελαιοτριβεία	22
1.6 Πρόβλημα παραγωγής αποβλήτων ελαιοτριβείων στην Ελλάδα.....	24
1.7 Τοξικότητα αποβλήτων ελαιοτριβείων.....	25
1.8 Διφασικά και Τριφασικά ελαιοτριβεία.....	28
1.9 Μέθοδοι επεξεργασίας διφασικών και τριφασικών αποβλήτων ελαιοτριβείου στην Ελλάδα	28
1.9.1 Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου.....	29
1.9.2 Στερεά και ημιστερεά απόβλητα ελαιοτριβείου.....	30
1.10 Αξιοποίηση αποβλήτων για παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας	31
1.11 Πρακτικές ανάκτησης πολυφαινόλων	32
1.12 Σκοπός	33
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	33
2.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση για τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων ελαιοτριβείου...34	
2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση για δείκτες αειφορίας και για μελέτες βιωσιμότητας	35
2.3 Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων.....	37
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	38
3.1 Ποσοτικοποίηση αποβλήτων ελαιοτριβείων	38
3.2 Τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων.....	40

3.3 Δείκτες αειφορίας.....	52
3.4 Ανάλυση βιωσιμότητας.....	54
3.4.1 Κλιματική Αλλαγή	58
3.4.2 Απόδοση προϊόντος.....	59
3.4.3 Κατανάλωση ενέργειας.....	60
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	64
ΞΕΝΗ	64
ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....	68
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ	68
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>Πίνακας 1.1:</u> Χώρες που παρήγαγαν ελιές για ελαιόλαδο.....	14
<u>Πίνακας 1.2:</u> Μέση αναμενόμενη αύξηση παραγωγής ελαιόλαδου για το 2021-2022.....	16
<u>Πίνακας 1.3</u> Ισοζύγια μάζας Παραδοσιακών πιεστικών ελαιотριβείων.....	24
<u>Πίνακας 1.4</u> Ισοζύγια μάζας ελαιотριβείων τριών φάσεων.....	24
<u>Πίνακας 1.5:</u> Ισοζύγια μάζας ελαιотριβείων δύο φάσεων.....	24
<u>Πίνακας 1.6:</u> Χαρακτηριστικά αποβλήτων ελαιотριβείου.....	27
<u>Πίνακας 1.7:</u> Χαρακτηριστικά αποβλήτων ελαιотριβείου.....	28
<u>Πίνακας 3.1:</u> Συγκομιδή ελιών για λάδι, σε τυπική υγρασία ΕΕ (t).....	40
<u>Πίνακας 3.2:</u> Τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων ελαιотριβείου.....	43
<u>Πίνακας 3.3:</u> Οικονομικοί δείκτες.....	53
<u>Πίνακας 3.4:</u> Περιβαλλοντικοί δείκτες.....	54
<u>Πίνακας 3.5:</u> Δείκτες μάζας, Ενέργειας, Αποβλήτων.....	55
<u>Πίνακας 3.6:</u> Αξιολόγηση Δεικτών.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<u>Διάγραμμα 1.1:</u> Γεωγραφική κατανομή ελαιοτριβείων στην Ελλάδα.....	13
<u>Διάγραμμα 1.2:</u> Εκτάσεις γης με ελαιόδεντρα.....	14
<u>Διάγραμμα 1.3:</u> Παραγωγή ελαιόλαδου για το 2021.....	15
<u>Διάγραμμα 1.4:</u> Εξαγωγή με πίεση.....	18
<u>Διάγραμμα 1.5:</u> Εξαγωγή τριών φάσεων.....	20
<u>Διάγραμμα 1.6:</u> Εξαγωγή δύο φάσεων.....	22
<u>Διάγραμμα 1.7:</u> Κατανομή ελαιοτριβείων ανά τεχνολογία στην Ελλάδα.....	23
<u>Διάγραμμα 2.1:</u> Μεθοδολογία για βιβλιογραφική ανασκόπηση στο Scopus.....	36
<u>Διάγραμμα 3.1:</u> Παραγωγή ελιάς για λάδι.....	39
<u>Διάγραμμα 3.2:</u> Διάγραμμα ροής Παραδοσιακού πιεστικού συστήματος.....	40
<u>Διάγραμμα 3.3:</u> Διάγραμμα ροής Τριφασικού συστήματος.....	41
<u>Διάγραμμα 3.4:</u> Διάγραμμα ροής Διφασικού συστήματος.....	41
<u>Διάγραμμα 3.5:</u> Τεχνολογίες αξιοποίησης των αποβλήτων και αποδόσεις φαινολικών ενώσεων.....	49
<u>Διάγραμμα 3.6:</u> Είδη αποβλήτων ελαιοτριβείου – Αποδόσεις.....	52
<u>Διάγραμμα 3.7:</u> Αποτελέσματα δείκτη «Κλιματική Αλλαγή».....	59
<u>Διάγραμμα 3.8:</u> Απόδοση προϊόντος.....	60
<u>Διάγραμμα 3.9:</u> Κατανάλωση Ενέργειας ανά πρώτη ύλη.....	61

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κατηγορίες ελαιόλαδου

Το ελαιόλαδο είναι από τα βασικότερα προϊόντα του αγροτικού τομέα. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα καλλιεργούνται περίπου 11,6 εκατομμύρια στρέμματα ελιάς. Το ελαιόλαδο, με βάση με την οξύτητα, δηλαδή την περιεκτικότητα του σε ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα οργανοληπτικά και τα χημικά χαρακτηριστικά που προβλέπονται από τον κανονισμό (ΕΟΚ) Νο 2568/91, διαχωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

1. Εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο: Η οξύτητα του δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.8%, τα χημικά χαρακτηριστικά να ακολουθούν τον κανονισμό (ΕΟΚ) Νο 2568/91. Οφείλει, ακόμα, να μην έχει κανένα οργανοληπτικό ελάττωμα. Αποτελεί την ανώτερη κατηγορία ελαιόλαδου που λαμβάνεται απευθείας από τον καρπό της ελιάς. Σημαντικό είναι να βρίσκεται σε ιδανικές συνθήκες ώστε να μην υποβιβάζεται το προϊόν το οποίο δεν έχει υποστεί κάποια χημική επεξεργασία. Επιπλέον, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες κατηγορίες ελαιόλαδων, διατηρεί το υψηλότερο μη σαπωνοποιήσιμο κλάσμα και συνεπώς τον μεγαλύτερο αριθμό αντιοξειδωτικών.
2. Παρθένο ελαιόλαδο: Ένα έλαιο χαρακτηρίζεται ως παρθένο όταν η οξύτητά του δεν υπερβαίνει το 2%, και τα λοιπά χημικά χαρακτηριστικά του είναι σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΟΚ) Νο 2568/91. Τέλος, τα οργανοληπτικά ελαττώματά του δεν πρέπει να υπερβαίνουν σε ένταση τις 3,5 μονάδες. Λαμβάνεται απευθείας από τον καρπό της ελιάς με μηχανικές μεθόδους, χωρίς να έχει υποστεί κάποια χημική επεξεργασία. Παρ' ολ' αυτά, παρουσιάζει οργανοληπτικά ελαττώματα που ενδέχεται να το υποβιβάσουν ποιοτικά και αυτή είναι η βασική διαφορά του με το εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο.
3. Μειονεκτικό ελαιόλαδο ή λαμπάντε: Ο συγκεκριμένος τύπος ελαιόλαδου απαιτεί οξύτητα μεγαλύτερη των 2%. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του είναι σύμφωνα με αυτά που προβλέπονται στον κανονισμό (ΕΟΚ) Νο 2568/91. Τα οργανοληπτικά ελαττώματά του πρέπει να υπερβαίνουν σε ένταση τις 3,5 μονάδες. Συγκεκριμένα, το ελαιόλαδο λαμπάντε δεν είναι βρώσιμο λόγω της υψηλής οξύτητάς του, αλλά και των οργανοληπτικών ελαττωμάτων που το καθιστούν δυσάρεστο στην γεύση και την όσφρηση. Διαφορετικά θα πρέπει να περάσει από τη διαδικασία του εξευγενισμού (ραφινάρισμα). Τα βιομηχανικά έλαια με υψηλή οξύτητα χρησιμοποιούνται επίσης και στην σαπωνοποιία.
4. Εξευγενισμένο ελαιόλαδο: Με την διαδικασία του εξευγενισμού των μειονεκτικών ελαίων, προκύπτει το εξευγενισμένο ή ραφινέ ελαιόλαδο.
5. Ελαιόλαδο: Για τον χαρακτηρισμό ενός ελαίου σε «ελαιόλαδο», η οξύτητά του οφείλει να μην υπερβαίνει το 1% και τα χημικά χαρακτηριστικά του να ακολουθούν τον κανονισμό (ΕΟΚ) Νο 2568/91. Σύμφωνα με τη νομοθεσία της

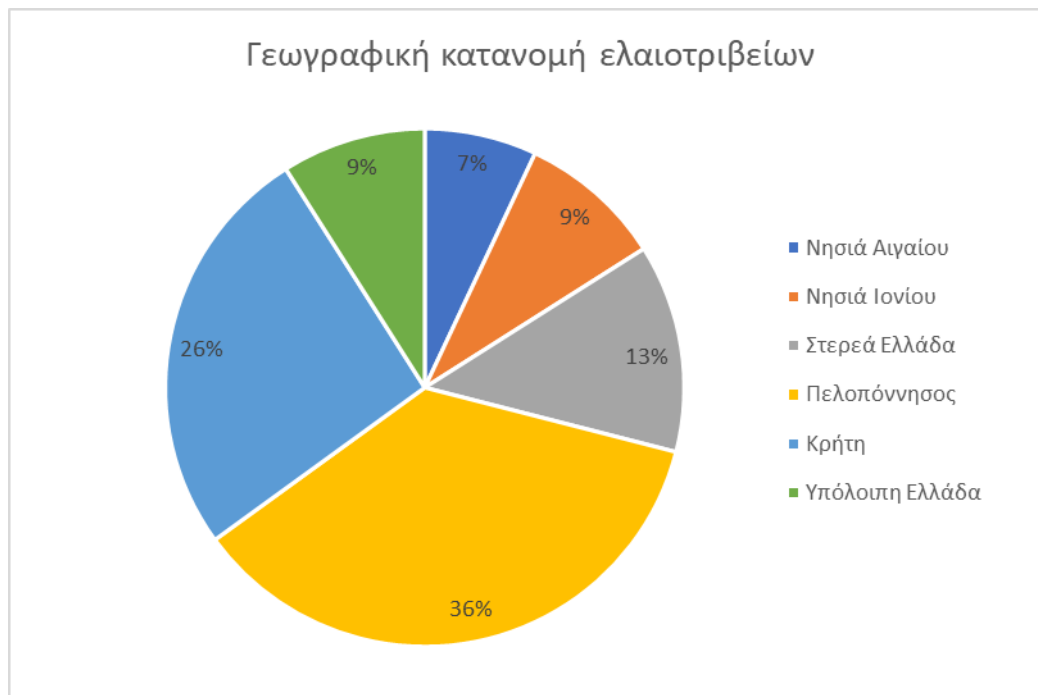
ΕΕ, προκειμένου να κυκλοφορήσει στην αγορά ένα εξευγενισμένο ελαιόλαδο ως «ελαιόλαδο», ένα ποσοστό παρθένου ή εξαιρετικού παρθένου ελαιόλαδου οφείλει να προστεθεί σε αυτό, έτσι ώστε να βελτιωθεί τόσο η γεύση και το χρώμα, όσο και το άρωμά του. Είναι γεγονός ότι είναι κατώτερο ποιοτικά από το παρθένο και παρουσιάζει οργανοληπτικά ελαττώματα, ωστόσο είναι καλύτερο από τα σπορέλαια, καθώς διατηρεί τη χημική σύσταση σε μονοακόρεστα του ελαιολάδου.

6. Ακατέργαστο πυρηνέλαιο: Το ακατέργαστο λαμβάνεται από την ελαιοπυρήνα ύστερα από χημική επεξεργασία και δεν είναι βρώσιμο. Προκειμένου να καταστεί βρώσιμο, θα πρέπει να υποστεί εξευγενισμό (ραφινάρισμα).
7. Εξευγενισμένο πυρηνέλαιο: Το εξευγενισμένο ή ραφινέ πυρηνέλαιο είναι ένα είδος ελαίου χωρίς να είναι βρώσιμο, και λαμβάνεται από τον εξευγενισμό (ραφινάρισμα) των ακατέργαστων πυρηνελαίων.
8. Πυρηνέλαιο: Για τον χαρακτηρισμό ενός ελαίου σε «πυρηνέλαιο», η οξύτητα του δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% και τα υπόλοιπα χημικά χαρακτηριστικά του οφείλουν να ακολουθούν αυτά που προβλέπονται στον κανονισμό (ΕΟΚ) Νο 2568/91. Σε αντίστοιχη διαδικασία με το ελαιόλαδο, προκειμένου να κυκλοφορήσει στην αγορά ένα πυρηνέλαιο, πρέπει να προστεθεί σε αυτό ένα ποσοστό παρθένου ή εξαιρετικού παρθένου προκειμένου να βελτιωθεί η γεύση, το χρώμα και το άρωμα του, σύμφωνα με την νομοθεσία της ΕΕ. Είναι κατώτερο ποιοτικά από το κλασικό «ελαιόλαδο», αλλά προτιμάται από τα σπορέλαια καθώς διατηρεί την σύστασή του, με βασικό χαρακτηριστικό του το μονοακόρεστο λιπαρό οξύ.

1.2 Ελαιοτριβεία και παραγωγικές μονάδες στην Ελλάδα

Ο κλάδος του ελαιόλαδου είναι ευρέως διαδεδομένος στην Ελλάδα, καθώς στην παραγωγή του δραστηριοποιούνται περίπου 450 χιλιάδες αγροτικές οικογένειες, με τον αριθμό των ιδιωτών που διαθέτουν ελαιώνα να είναι απροσδιόριστος. Ο τομέας του ελαιόλαδου αποτελεί για την Ελλάδα όχι μόνο πηγή εισοδήματος, αλλά σχετίζεται και με τον πολιτισμό, το περιβάλλον και την τοπική οικονομία της χώρας. Ο σκοπός της κάθε οικογένειας που ασχολείται με τον τομέα διαφέρει, καθώς μπορεί να είναι είτε για αυτοκατανάλωση, είτε για εμπορία και διακίνηση. Συγκεκριμένα στην χώρα μας, βρίσκονται σε λειτουργία 2150 ελαιοτριβεία, 35-40 πυρηνελαιουργίες, 260 μεταποιητές-συσκευαστές και πολλές επιχειρήσεις. Το μεγαλύτερο ποσοστό

παραγωγής ελαιόλαδου στην χώρα μας βρίσκεται στην Κρήτη, την Πελοπόννησο, την Στερεά Ελλάδα, κυρίως Εύβοια, και στα Νησιά του Ιονίου (Διάγραμμα 1.1) [77]



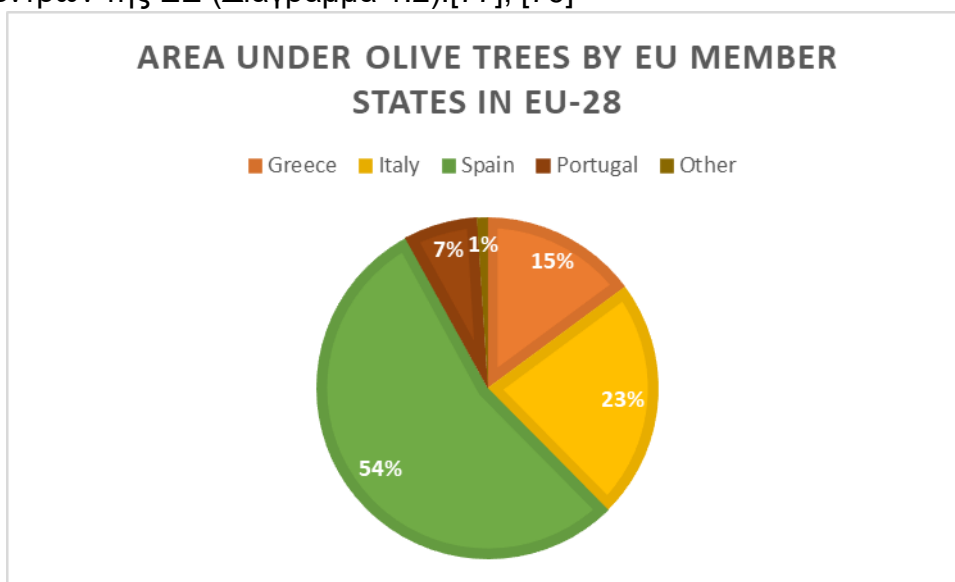
Διάγραμμα 1.1: Γεωγραφική κατανομή ελαιοτριβείων στην Ελλάδα

Αναλυτικότερα, τα ελαιοτριβεία είναι μικρές μονάδες με τη βασική τους δραστηριότητα να πραγματοποιείται τους χειμερινούς μήνες, ύστερα από τη συλλογή των ελαιόκαρπων. Η μέση ετήσια παραγωγή ελαιόλαδου ανά ελαιοτριβείο κυμαίνεται περίπου από 140 έως 200 τόνους ετησίως. Αξιοσημείωτο είναι ότι περίπου το 40% των ελαιοτριβείων αφορούν ατομικές επιχειρήσεις, το 30% είναι Ομόρρυθμες ή Ετερόρρυθμες Εταιρίες, το 1/5 αφορά συνεταιριστικές μονάδες, το 1,2% ΕΠΕ και 2,5% πρόκειται για Ανώνυμες Εταιρίες.

Γενικά, πρώτη σε παραγωγή ελαιόλαδου είναι η Ισπανία, η οποία ξεπερνά τα 300 εκατομμύρια καλλιεργήσιμα δέντρα, σε έκταση 5,2 εκατομμυρίων στρεμμάτων. Συνεπώς παράγονται περίπου 1.313.780 τόνοι ελαιόλαδου κάθε χρόνο. Ακολουθεί η Ιταλία, με μέση ετήσια παραγωγή 354.300 τόνους, με βάση το Διεθνές Συμβούλιο Ελαιόλαδου. Στην Τρίτη θέση παγκοσμίως βρίσκεται η Ελλάδα, η οποία παράγει κατά μέσο όρο 259.000 τόνους ελαιόλαδου ετησίως.

Τα τελευταία αποτελέσματα μιας πενταετούς έρευνας για τους οπωρώνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), δείχνουν ότι η έκταση με ελαιόδεντρα στην ΕΕ αποτελούσε περίπου 4,6 εκατομμύρια εκτάρια για το 2017. Οκτώ κράτη μέλη είχαν εκτάσεις με ελαιόδεντρα, που υπερέβαιναν το όριο των 1.000 εκταρίων. Η Ισπανία (55%) και η Ιταλία (23%) αντιπροσώπευαν πάνω από τα τρία τέταρτα της συνολικής έκτασης της ΕΕ με ελαιόδεντρα, ακολουθούμενες από την Ελλάδα (15 %) και την Πορτογαλία (7 %). Τα υπόλοιπα κράτη μέλη που καλύπτονται από την έρευνα (Γαλλία,

Κροατία, Κύπρος και Σλοβενία) αντιπροσώπευαν μαζί το 1 % της συνολικής έκτασης ελαιόδεντρων της ΕΕ (Διάγραμμα 1.2).[77], [79]



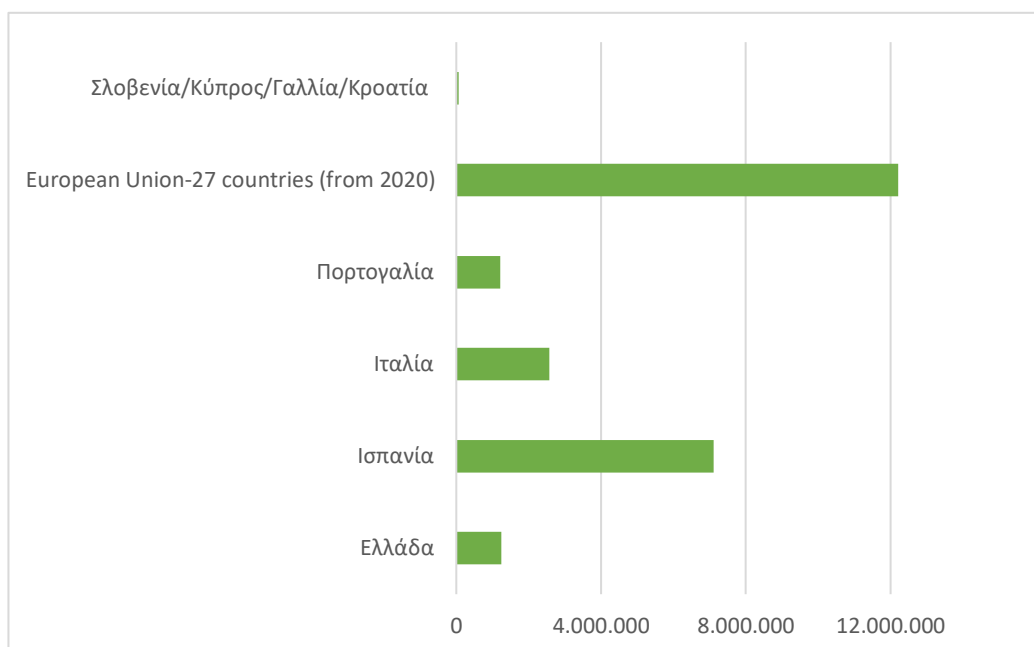
Διάγραμμα 1.2: Εκτάσεις γης με ελαιόδεντρα

Επιπλέον, παρατίθεται ο πίνακας με τις υπόλοιπες χώρες που παρήγαγαν ελιές για ελαιόλαδο:

	2020	2021
Σλοβενία	3,100.00	920.00
Κύπρος	18,980.00	19,060.00
Γαλλία	29,760.00	26,650.00
Κροατία	33,230.00	23,870.00
Αλβανία	108,500.00	–
Τουρκία	803,000.00	–

Πίνακας 1.1: Χώρες που παρήγαγαν ελιές για ελαιόλαδο (t)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται γραφικά η παραγωγή ελιών για ελαιόλαδο για το έτος 2021. Είναι φανερό πως η Ισπανία παρήγαγε περισσότερους τόνους συγκριτικά με τις υπόλοιπες χώρες, πράγμα λογικό λόγω της μεγαλύτερης έκτασης της. Επιπλέον διαπιστώνεται πως οι χώρες Κροατία, Γαλλία, Κύπρος και Σλοβενία παρήγαγαν σχεδόν μηδαμινή ποσότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες.



Διάγραμμα 1.3: Παραγωγή ελαιόλαδου για το 2021 [77]

Επιπλέον, οι χώρες μέλη του Διεθνούς Συμβουλίου Ελαιόλαδου, ένας διακυβερνητικός οργανισμός κρατών που παράγουν ελιές ή προϊόντα που προέρχονται από ελιές (IOC), παρήγαγαν 2.809.500 τόνους ελαιόλαδου το παραγωγικό έτος 2020/21, ποσό που καλύπτει το 93,3% της παγκόσμιας παραγωγής. Συγκεκριμένα, περίπου 2.051.200 τόνοι (+6,8% συγκριτικά με το έτος που προηγήθηκε), προήλθαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ισπανία παρήγαγε 1.389.000 τόνους (+23,4%), η Ιταλία 273.500 τόνους (-25,4%), η Ελλάδα 275.000 τόνους (σταθερός) και η Πορτογαλία 100.000 τόνους (-28,8%).

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, για το παραγωγικό έτος 2022/23 εκτιμάται η παγκόσμια παραγωγή περίπου ίση με 3.098.500 τόνους, δηλαδή 2,9% υψηλότερη συγκριτικά με την προηγούμενη. [66],[67]

Αξίζει να αναφερθεί, όμως, πως οι τιμές που προκύπτουν από την Eurostat δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, καθώς δεν είναι όλα τα εν λειτουργία ελαιουργεία περασμένα στο σύστημα της Eurostat, δημιουργώντας ένα πλασματικό νούμερο.

1.3 Παγκόσμια κατανάλωση ελαιόλαδου

Όσον αφορά το διεθνές επίπεδο, η κατανάλωση ελαιόλαδου, το 2010-2011 υπολογίστηκε σε 2.985 χιλιάδες τόνους, με 2,8% αύξηση συγκριτικά με το έτος που προηγήθηκε. Η κατανάλωση ελαιόλαδου στην Ε.Ε. έφτασε τους 1.830 χιλ. τόνους

χωρίς σημαντική διαφορά σε σχέση με το προηγούμενο έτος, και είναι περίπου το 61% της παγκόσμιας κατανάλωσης (ICAP 2012).

Η παγκόσμια κατανάλωση ελαιόλαδου διπλασιάστηκε σχεδόν τα τελευταία χρόνια με αύξηση 73%, σύμφωνα με έκθεση της ιταλικής ομάδας αγροτών Coldiretti. Η Ιταλία οδήγησε τον κατάλογο των καταναλωτών με 640.443 τόνους, ακολουθούμενη από την Ισπανία με 540.133 τόνους και τις Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες κατανάλωσαν 339.512 τόνους - αύξηση 250 τοις εκατό πριν από 25 χρόνια (Granito, 2016).

Η υγιεινή διατροφή έχει οδηγήσει στην τάση των ανθρώπων να αλλάξουν τον τρόπο διατροφής τους. Για παράδειγμα, στην Ιαπωνία, η κατανάλωση ελαιόλαδου για το έτος 2015 έφτασε τους 66.139 τόνους. Συνεπώς υπήρξε αύξηση κατά 1.400% τα τελευταία 25 έτη. Αντίθετα το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γερμανία κατανάλωναν περίπου 65.000 τόνους. Είχαν δηλαδή αύξηση 763% και 465% αντίστοιχα. Επιπλέον, χώρες όπως η Βραζιλία άρχισαν να αγοράζουν ελαιόλαδο, και η παγκόσμια κατανάλωση πολύ γρήγορα ξεκίνησε να αυξάνεται τα τελευταία 25 χρόνια. Συγκεκριμένα η Βραζιλία έφτασε τους 73.304 τόνους, η Ρωσία με τριπλάσια ανάπτυξη τα τελευταία 25 χρόνια έφτασε τους 23.149 τόνους, και η Γαλλία ξεπέρασε τους 113.538 τόνους, σημειώνοντας αύξηση 268%. Αντίθετα η Ιταλία, τα τελευταία 25 χρόνια εμφάνισε σταθερή κατανάλωση, με μια μικρή αύξηση 8%. Η Ισπανία είχε αύξηση 24% κατά τη διάρκεια αυτή και η Ελλάδα είχε μια πτώση 26%.

Η αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης και κατανάλωσης ελαιόλαδου προκλήθηκε κυρίως από τα οφέλη για την υγεία.

1.4 Παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου

Οι πρόσφατες εκτιμήσεις του IOC σχετικά με την παραγωγή ελαιόλαδου της περιόδου 2021/22, κάνουν λόγο για παραγωγή συνολικά 3.098.500 τόνων ελαιόλαδου παγκοσμίως, εκ των οποίων 1.974.100 τόνοι στην ΕΕ. Συνεπώς υπάρχει αύξηση 2,9% σε σχέση με την εμπορική περίοδο 2020/21.

Στον Πίνακα 2 παρακάτω παρουσιάζεται η παγκόσμια παραγωγή ελαιόλαδου για το έτος του 2021/22, για τους βασικούς παραγωγούς ελαιόλαδου διεθνώς. (Zampounis, 2017).

Χώρα	Εκτιμώμενη παραγωγή ελαιόλαδου 2021/22 (1000t)	Μεταβολή (%) σε σχέση με την περίοδο 2020/21
Ισπανία	1300	-6.40%

Ιταλία	315	+16.20%
Τυνησία	240	+71.40%
Τουρκία	228	+8.20%
Ελλάδα	225	-10.20%
Πορτογαλία	120	+20%
Μαρόκο	200	+25%
Σύνολο	3098.5	+2.90%

Πίνακας 1.2: Μέση αναμενόμενη αύξηση παραγωγής ελαιόλαδου για το 2021-2022. [77]

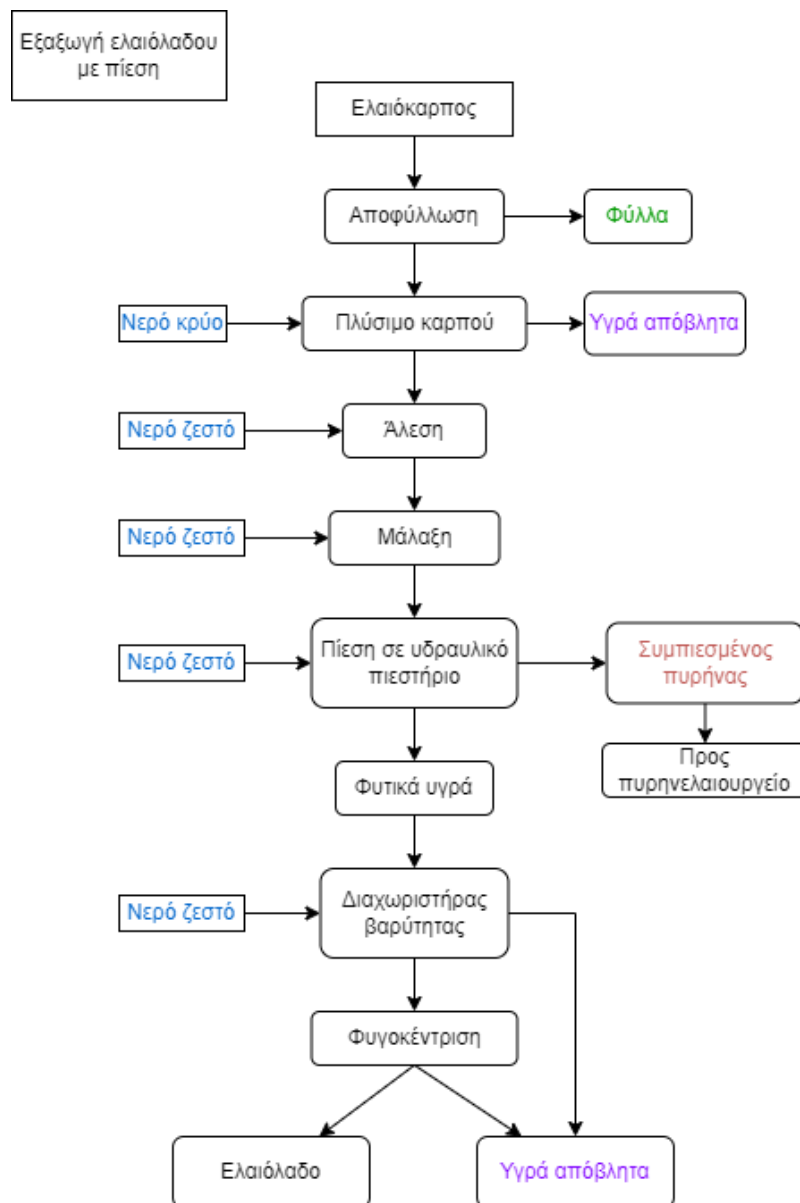
1.5 Μέθοδοι εξαγωγής ελαιόλαδου

1.5.1 ΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕ ΠΙΕΣΗ

Η πιο παραδοσιακή μέθοδος εξαγωγής ελαιόλαδου, η οποία αποτελεί μια ασυνεχή διαδικασία, είναι η εξαγωγή με πίεση. Η ελαιοζύμη μόλις αποκτήσει τις φυσικοχημικές ιδιότητες που απαιτούνται, οδηγείται σε πίεση. Σημαντικό είναι να μην υπάρχουν καθυστερήσεις στην διαδικασία, καθώς υποβαθμίζεται η ποιότητα του ελαιόλαδου, λόγω της έκθεσής του στον ατμοσφαιρικό αέρα καθώς και της ενζυματικής του δράσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της οξύτητας του. Το προϊόν της άλεσης και μάλαξης (ελαιοπολτός), απλώνεται σε τελάρα με βάση από ελαιόπανα και τοποθετούνται σε υδραυλικές πρέσες που δέχονται υψηλές πιέσεις που φτάνουν σταδιακά τα 300-500 κιλά ανά τετραγωνικό εκατοστό, ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά του ελαιόκαρπου (ωριμότητα, είδος ελιάς κ.ά.). Με τη διπλή συμπίεση, πιέζεται διαδοχικά ο ελαιοπολτός σε δύο πιεστήρια, με το δεύτερο να χρησιμοποιεί την διπλάσια περίπου πίεση συγκριτικά με το πρώτο πιεστήριο. Τέτοια πιεστήρια είναι ικανά να κρατήσουν μέχρι και 500 κιλά ελαιοπολτού ανά πίεση. Η διεργασία της πίεσης διαρκεί έως και 2 ώρες.

Στόχος είναι ο διαχωρισμός σε δύο φάσεις, την υγρή και το στερεό υπόλειμμα. Η υγρή φάση αποτελείται από ένα μίγμα νερού και ελαιόλαδου, το οποίο διαχωρίζεται στην συνέχεια, ώστε να ληφθεί το ελαιόλαδο. Αναλυτικότερα, από τη βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι με τη συγκεκριμένη μέθοδο, από 100 τόνους ελιών παράγονται περίπου 20 έως 22 τόνοι ελαιόλαδου, 35 τόνοι ελαιοπυρήνα, το στερεό υπόλειμμα με υγρασία 45%, και περίπου 90 τόνοι υγρών αποβλήτων, είτε απόνερα, είτε κατσίγαρος. Η συγκεκριμένη μέθοδος πίεσης είναι αρκετά δαπανηρή λόγω ανάγκης χειρωνακτικής εργασίας. Όμως, αποτελεί μια ασυνεχή διαδικασία γεγονός που την οδήγησε σε έλλειψη και πλέον τέτοιου τύπου ελαιοτριβεία εντοπίζονται σε ελάχιστες περιοχές της Ελλάδας.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα συνοπτικό διάγραμμα ροής του παραδοσιακού συστήματος παραγωγής ελαιόλαδου. [71], [76]



Διάγραμμα 1.4: Εξαγωγή με πίεση [72]

1.5.2 ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

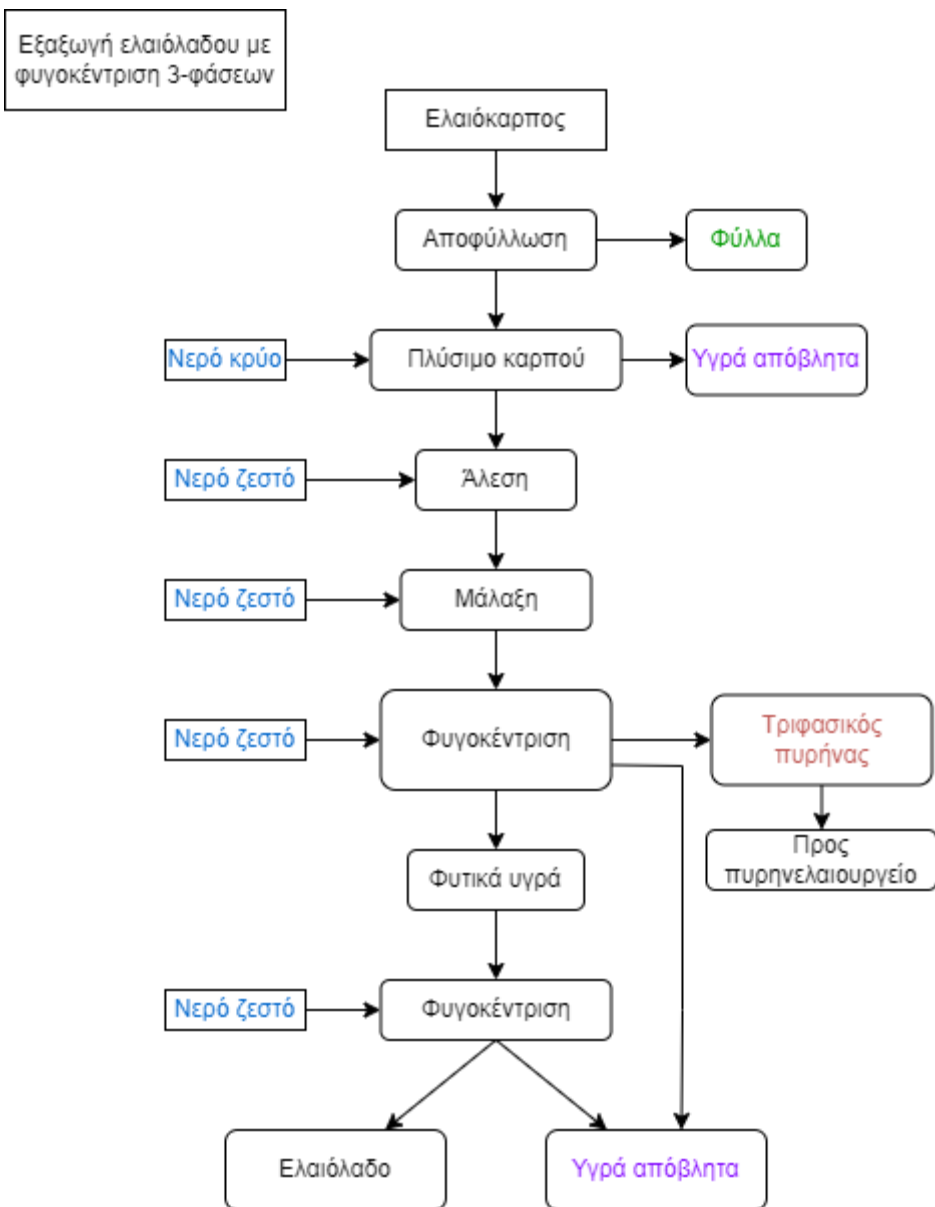
Με βασικό στόχο την αντικατάσταση της παραδοσιακής μεθόδου με πίεση, αναπτύχθηκε μια συνεχής διαδικασία, η τριφασική. Η διαδικασία επεξεργασίας δεν διαφέρει από τις παραδοσιακές τεχνικές, με τη διαφορά της χρήσης της φυγοκέντρωσης. Επιπλέον, αντίθετα με τις παραδοσιακές μεθόδους που επεξεργάζονται περίπου 8-10 τόνους ημερησίως, η φυγοκέντρωση τριών φάσεων

επεξεργάζεται 30-32 τόνους ημερησίως. Συγκεκριμένα, σε έναν φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (decanders) τοποθετούνται οι αλεσμένες ελιές και χάρη στη περιστροφική τους κίνηση, διαχωρίζονται οι φάσεις των συστατικών που έχουν διαφορετικά ειδικά βάρη. Τέτοια είναι το ελαιόλαδο, η υδατική φάση και ο ελαιοπυρήνας. Η συσκευή αποτελείται από ένα πολύστροφο τύμπανο το οποίο τοποθετείται είτε σε κατακόρυφο είτε οριζόντιο άξονα και κινείται σε σύστημα ατέρμονα και οδοντωτού τροχού. Κατά την περιστροφική κίνηση του άξονα και του τυμπάνου, αναπτύσσονται φυγοκεντρικές δυνάμεις, και αυτό προκαλεί τον διαχωρισμό της υγρής φάσης (ελαιόλαδο-νερό) από την στερεή φάση (ελαιοπυρήνα). Απαραίτητη είναι η αραίωση του ελαιοπολτού πριν την διαδικασία της φυγοκέντρισης. Έτσι προστίθεται νερό.

Η έξοδος αποτελείται από διαφράγματα. Από αυτά τα διαφράγματα εξέρχονται η ελαιώδης φάση, η υδατική φάση και η στερεή φάση μετά το διαχωρισμό τους. Ωστόσο, παρόλο που η ποιότητα του ελαιόλαδου που παράγεται κατά την τριφασική διαδικασία, είναι καλύτερης ποιότητας συγκριτικά με την μέθοδο εξαγωγής ελαιόλαδου με πίεση, εντοπίζονται μειονεκτήματα στην διαδικασία, καθώς οι αυξημένες απαιτήσεις σε φρέσκο νερό είναι υψηλές και εντοπίζεται παραγωγή μεγάλου όγκου υγρών αποβλήτων, δημιουργώντας πρόβλημα όσο αφορά στη διάθεσή τους. Τέλος, εντοπίζεται μεγαλύτερη απώλεια πολύτιμων συστατικών, όπως είναι τα φυσικά αντιοξειδωτικά, στην υδατική φάση. Συγκεκριμένα, από 1.000 κιλά ελαιόκαρπου, παράγονται 500 κιλά ελαιοπυρήνα περιεκτικότητας σε υγρασία 50%, και περίπου 1.200 κιλά υγρών αποβλήτων.

Τα παραπροϊόντα των τριφασικών ελαιοτριβείων είναι η στερεή φάση (ελαιοπυρήνας) και η υδατική φάση (κασιόγαρος)[71], [76]

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα συνοπτικό διάγραμμα ροής του τριφασικού συστήματος παραγωγής ελαιόλαδου.



Διάγραμμα 1.5: Εξαγωγή τριών φάσεων [72]

1.5.3 ΔΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

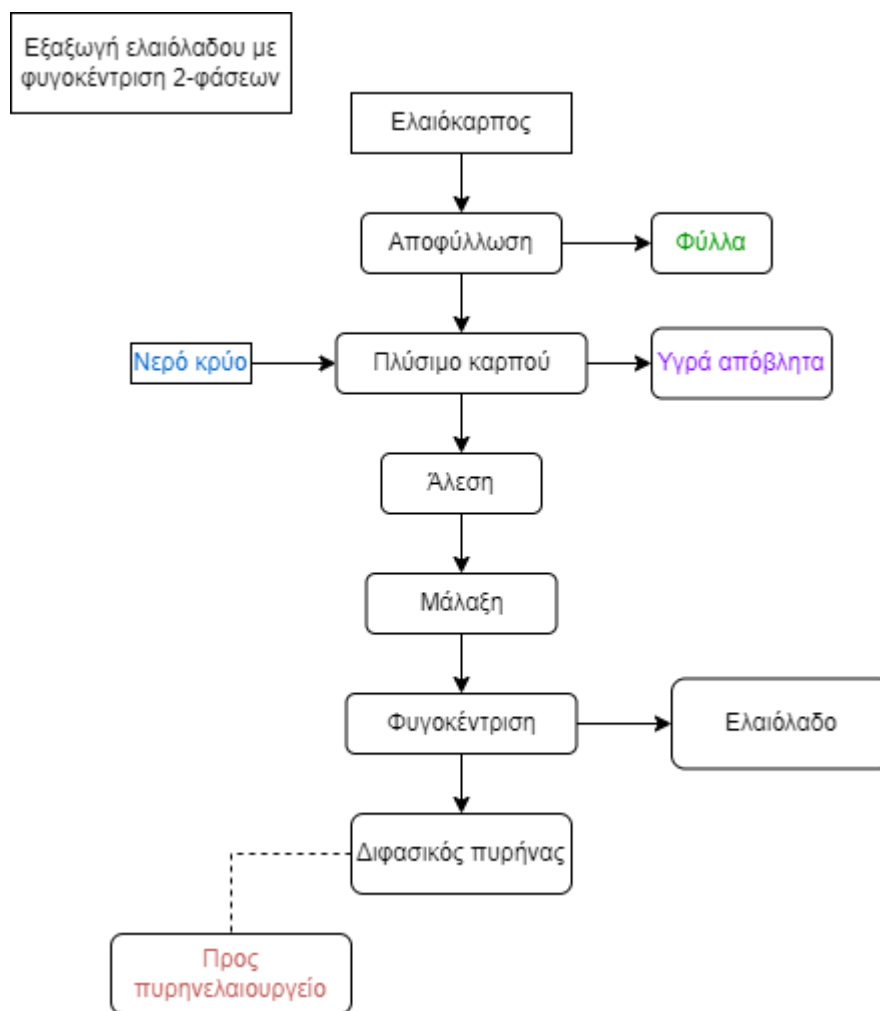
Σε ακολουθία του τριφασικού συστήματος, στις αρχές του 1990 αναπτύχθηκε ένα νέο σύστημα, η φυγοκεντρική διεργασία δύο φάσεων, γνωστό και ως «οικολογικό σύστημα», λόγω της μηδενικής παραγωγής υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, γίνεται χρήση νερού μόνο κατά το πλύσιμο και όχι σε όλη την διαδικασία, σε αντίθεση με την φυγοκέντρωση τριών φάσεων. Με τον διαχωρισμό παράγονται δύο φάσεις. Η υγρή, δηλαδή το ελαιόλαδο, και η ημιστερεή, δηλαδή ο υγρός ελαιοπυρήνας

Σημαντικό είναι όμως, να αναφερθεί ότι κατά το διφασικό σύστημα, το ημιστερεό απόβλητο που παράγεται, λόγω της υγρασίας του και συνδυαστικά με τα σάκχαρα και τα λεπτόκοκκα στερεά που περιέχει, παρουσιάζει υψηλή πυκνότητα, η οποία συντελεί στην δυσκολία τόσο στην μεταφορά και αποθήκευση αλλά και στη διαχείρισή του. Ακόμη, η ξήρανση του γίνεται με αργό ρυθμό και έχει υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Αναλυτικότερα, από 1000 κιλά ελαιοκαρπού, παράγονται περίπου 200 κιλά ελαιόλαδου, και 800 κιλά υδαρούς πυρήνα, με ποσοστό υγρασίας περίπου 60%.

Επιπλέον, σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η ενεργειακή κατανάλωση είναι σημαντικά μειωμένη, λόγω του ότι δεν προστίθεται επιπλέον νερό, και επομένως η ποσότητα είναι αρκετά μικρότερη. Ακόμη το κόστος λειτουργίας είναι χαμηλότερο, και η ποιότητα του παραγόμενου ελαιόλαδου υψηλότερη, αφού έχει υψηλότερη οξειδωτική σταθερότητα και καλύτερα οργανοληπτικά συστατικά. Ωστόσο εντοπίζεται μείωση κατά 7% περίπου στην παραγωγή ελαιόλαδου.

Αξιοσημείωτο είναι ότι πολλά συστήματα, ύστερα από τις απαραίτητες μετατροπές, είναι ικανά να λειτουργήσουν και σαν διφασικά αλλά και σαν τριφασικά. [71], [76]

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα συνοπτικό διάγραμμα ροής του διφασικού συστήματος παραγωγής ελαιόλαδου.



Διάγραμμα 1.6: Εξαγωγή δύο φάσεων [72]

Σημαντικό είναι να αναφερθεί, ότι η διφασική τεχνολογία έχει αυξηθεί την τελευταία δεκαετία. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα, περίπου το 55% των ελαιοτριβείων που δραστηριοποιούνται είναι δύο φάσεων. Τα ελαιοτριβεία τριών φάσεων αποτελούν το 40% του συνόλου, και ένα 5% εκτιμάται ότι αφορά ελαιοτριβεία που λειτουργούν με το σύστημα πίεσης. Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι ότι το ποσοστό των διφασικών ελαιοτριβείων τείνει να αυξηθεί, δεδομένου ότι οι εταιρείες παραγωγής και προμήθειας ελαιοτριβικού μηχανολογικού εξοπλισμού επενδύουν σε μηχανολογικό εξοπλισμό διφασικής τεχνολογίας. [66]

Παρακάτω ακολουθεί η κατανομή των ελαιοτριβείων ανά τεχνολογία στην Ελλάδα.



Διάγραμμα 1.7: Κατανομή ελαιοτριβείων ανά τεχνολογία στην Ελλάδα

1.6 Παραγωγή αποβλήτων από ελαιοτριβεία

Η διάθεση των απόβλητα των ελαιοτριβείων (Olive Mill Waste, OMW)) είναι ένα από τα βασικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Αναλυτικότερα, σχετικά με την βιοχημική επεξεργασία, κυρίως των υγρών αποβλήτων, απαιτούνται μονάδες με υψηλό λειτουργικό κόστος, καθώς τα απόβλητα βρίσκονται με υψηλό οργανικό φορτίο, υψηλό τόσο το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) όσο και το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD). Επιπλέον, είναι πλούσια σε τοξικές οργανικές ουσίες, συνεπώς δεν είναι εφικτή η άμεση βιολογική επεξεργασία. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως τα OMW που παράγονται ως επί το πλείστον, αφορούν μικρομεσαίες μονάδες ελαιοτριβείου, ιδιαιτέρως στην Ελλάδα, συνεπώς υπάρχει έλλειψη οικονομικών πόρων και αδυνατούν να ανταπεξέλθουν στο υψηλό κόστος διαχείρισης των αποβλήτων. Επιπλέον, τα ελαιοτριβεία είναι συνήθως διασκορπισμένα σε όλη την επικράτεια, καθιστώντας δύσκολο τον σχεδιασμό μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων.

Σύμφωνα με μελέτες σχετικά με τα ισοζύγια μάζας των τριών συστημάτων εξαγωγής ελαιόλαδου, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Παραδοσιακό πιεστικό ελαιοτριβείο					
	Ελαιόλαδο (tn)	Υγρασία (%)	Πυρήνας (tn)	Φύλλα (tn)	Κασιίγαρος (tn)
100 tn ελιάς 5 tn φύλλα 45.7 tn νερό	20.22	45	35	5	90.5

Πίνακας 1.3 Ισοζύγια μάζας Παραδοσιακών πιεστικών ελαιοτριβείων[72]

Ελαιοτριβείο τριών φάσεων					
	Ελαιόλαδο (tn)	Υγρασία (%)	Πυρήνας (tn)	Φύλλα (tn)	Κασιίγαρος (tn)
100 tn ελιάς 5 tn φύλλα 134.5 tn νερό	21.4	50	49.6	5	163.4

Πίνακας 1.4 Ισοζύγια μάζας ελαιοτριβείων τριών φάσεων[72]

Ελαιοτριβείο δύο φάσεων				
	Ελαιόλαδο (tn)	Υγρασία (%)	Υδαρής Πυρήνας (tn)	Φύλλα (tn)
100 tn ελιάς 5 tn φύλλα	20	75	80	5

Πίνακας 1.5: Ισοζύγια μάζας ελαιοτριβείων δύο φάσεων[72]

Παρατηρείται, λοιπόν, πως η στερεά φάση που προκύπτει από της μεθόδους 2-φάσεων και 3-φάσεων είναι αρκετά πλούσια σε υγρασία. Στο σύστημα τριών φάσεων η υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 35 -55% και στο σύστημα δύο φάσεων μεταξύ 65 – 75%.

Η τριφασική μέθοδος παράγει περίπου τον τριπλάσιο όγκο αποβλήτων συγκριτικά με την κλασική μέθοδο πίεσης. Με τη μέθοδο των πιεστηρίων παράγονται 0.4-0.6 m³ λυμάτων για έναν τόνο ελαιόλαδου, ενώ η τριφασική μέθοδος παράγει 1.0-1.2 m³ λυμάτων για την ίδια ποσότητα ελαιόλαδου. Στα πιεστήρια, από την άλλη πλευρά, παράγονται υγρά απόβλητα με υψηλότερη περιεκτικότητα σε ρύπους από την τριφασική μέθοδο. Σε αντίθεση με τα διφασικά συστήματα όπου τα απόβλητα είναι πολύ μικρότερα σε όγκο, κυρίως προερχόμενα από της διαδικασίες πλύσης. Συνεπώς, λόγω της μικρότερης απαίτησης σε νερό και ενέργεια, και του χαμηλότερου ρυπογόνου φορτίου, η συγκεκριμένη διεργασία θεωρείται περισσότερη περιβαλλοντικά φιλική.

Με βάση τα παραπάνω είναι δυνατό να εκτιμηθούν τα απόβλητα από κάθε τύπο ελαιοτριβείου.

1.6 Πρόβλημα παραγωγής αποβλήτων ελαιοτριβείων στην Ελλάδα

Κατά τη λειτουργία των ελαιοτριβείων, απομένουν διάφορα κατάλοιπα από τον καρπό της ελιάς, όπως είναι ο ελαιοπυρήνας, τα αιωρούμενα στερεά, τα φύλλα της ελιάς και άλλα [75]. Χώρες, όπου η παραγωγή ελαιόλαδου είναι μεγαλύτερη είναι η μεγαλύτερη, όπως η Ισπανία, η Ιταλία και η Ελλάδα, συγκεντρώνουν τον μεγαλύτερο όγκο των αποβλήτων ελαιοτριβείων. Η αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων αυτών αποτελεί ένα πρωτεύον ζήτημα για τους ιδιοκτήτες των ελαιοτριβείων. Υπάρχει, λοιπόν, ανάγκη για άμεση διάθεση των αποβλήτων αυτών.

Τα απόβλητα αυτά χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα τοξικά και αποικοδομούνται με δυσκολία. Βρίσκονται σε υψηλό οργανικό φορτίο και συγκεντρώσεις οξέων, τα οποία συντελούν στην δυσκολία βιοαποικοδόμησης. Επιπλέον, οι πολυφαινολικές ενώσεις που προκύπτουν και η υψηλή συγκέντρωση λιπιδίων, έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία φυτοτοξικών φαινομένων, που αυξάνουν τις φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες που δεν είναι επιθυμητές και έτσι υποβιβάζεται το φυσικό περιβάλλον. Ωστόσο, αποτελούν και σημαντικές πηγές εκμεταλλεύσιμων ουσιών, όπως είναι διάφορες θρεπτικές ουσίες.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι για κάθε κιλό λαδιού, παράγονται περίπου 5 κιλά υγρών αποβλήτων, γνωστά και ως Olive Mill Wastewater, Τα συγκεκριμένα υγρά απόβλητα είναι πλούσια σε οργανικό φορτίο.[69]

Επιπλέον, τα υγρά απόβλητα είναι το βασικό είδος αποβλήτου, και παρουσιάζουν υψηλούς δείκτες ρύπανσης (BOD₅, COD, TOC κτλ). Συγκεκριμένα, σχετίζονται με τα φυτικά υγρά του ελαιόκαρπου, με αυξημένη συγκέντρωση νερού. Αυτά είναι γνωστά ως κατσίγαρος, ο οποίος προέρχεται από την έκθλιψη, δηλαδή το στάδιο του τελικού διαχωρισμού και της πλύσης του ελαιόκαρπου με καθαρό νερό. Είναι θολά, με

δυσάρεστη οσμή και εμπλουτισμένα με οργανικά και ανόργανα υλικά. Ακόμη είναι πλούσια σε φαινολικές ενώσεις, και επομένως εμφανίζουν υψηλή τοξικότητα.

Στην συνέχεια, άλλο ένα είδος αποβλήτων που παράγεται είναι τα στερεά απόβλητα. Αναλυτικότερα, από τη διαλογή και το στάδιο του καθαρισμού του ελαιοκαρπού προκύπτουν τα φύλλα που αφορούν σχεδόν το 5% του αρχικού βάρους του καρπού. Η διαδικασία εξαγωγής του ελαιόλαδου, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ελαιοπυρήνα, ένα στερεό υπόλειμμα. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο διφασικός ελαιοπυρήνας βρίσκεται σε υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, και απαιτείται η μεταφορά του με βυτιοφόρα και ύστερα το άδειασμά της σε δεξαμενές αποξήρανσης.

1.7 Τοξικότητα αποβλήτων ελαιοτριβείων

Με δεδομένο ότι, ανάλογα την μέθοδο επεξεργασίας που χρησιμοποιείται, από 1 τόνο επεξεργάσιμου ελαιοκαρπού παράγονται 200 κιλά ελαιόλαδο, καθώς και 400-1200 λίτρα υγρά απόβλητα και 400-800 κιλά στερεά απόβλητα, συμπεραίνουμε ότι η ρύπανση που προκαλείται από τα ελαιοτριβεία είναι από τα βασικότερα προβλήματα που επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Έμφαση δίνεται στα υγρά απόβλητα. Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων (ΥΑΕ), παράγονται κυρίως από τα ελαιοτριβεία τριών φάσεων και προέρχονται από το υγρό κλάσμα που προκύπτει, λόγω του χυμού του ελαιοκαρπού και του προστιθέμενου νερού. Πρόκειται για υγρά απόβλητα σκούρου χρώματος, με έντονη οσμή και σχετικά θολά. Αυτά εκχύνονται συχνά σε κοντινούς υδάτινους αποδέκτες, δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα ρύπανσης των υδάτων λόγω της υψηλής τοξικότητάς της. Είναι αρκετά συνηθισμένο να καταστρέφονται τα υδάτινα συστήματα που γίνεται η απόρριψη, λόγω της έλλειψης οξειγόνου το οποίο καταναλώνεται για την οξείδωση οργανικών ουσιών. Γίνεται εύκολα αντιληπτός, λοιπόν, ο κίνδυνος που μπορεί να προκαλέσουν τα ΥΑΕ, αν αναλογιστούμε ότι ο ενδεικτικός όγκος ΥΑΕ 50 m³/day, από τη βιβλιογραφία, ισοδυναμεί με τα βοθρολύματα μιας μικρής πόλης 30.000 κατοίκων από άποψη ρυπογόνου δύναμης. [73]

Τα στερεά απόβλητα των ελαιοτριβείων, εφόσον διατεθούν χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, είναι ικανά να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον. Αναλυτικότερα, το στερεό υπόλειμμα που δημιουργείται, έχει υψηλό οργανικό φορτίο καθώς και αδρανή στοιχεία. Κατατάσσονται στα δύσκολα επεξεργάσιμα παραπροϊόντα λόγω της αυξημένης τιμής του βιοχημικά και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου, της υψηλής περιεκτικότητας σε φαινόλες, καθώς και της μεγάλης συγκέντρωσης λιπαρών οξέων η οποία συντελεί στην αναστολή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Τόσο η αποθήκευση όσο και η διάθεσή τους στο έδαφος δεν αποτελούν λύση, καθώς εντείνουν ακόμα παραπάνω το πρόβλημα.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι χρόνια εντοπίζονταν ελλείψεις στην νομοθεσία σχετικά με την διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Από το 1986 και ύστερα, μπήκε σε εφαρμογή μια οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (74/442/Ε.Ε, 15-6-1975), η οποία ωθεί τα κράτη μέλη να λαμβάνουν ορισμένα μέτρα για την ορθή διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Με αφορμή αυτό, ξεκίνησαν να λειτουργούν τα πρώτα πυρηνελογεργεία, τα οποία συντελούν εν μέρει στην λύση του προβλήματος. Παρόλα αυτά, εξακολουθεί να εντοπίζεται έλλειψη ολοκληρωμένων μεθόδων διαχείρισης των αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία.

Είναι γεγονός πως η απευθείας βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων αυτών δεν είναι δυνατή. [74]

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται ενδεικτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων ελαιοτριβείων που προκύπτουν ανάλογα το σύστημα παραγωγής:

Χαρακτηριστικά	Παραδοσιακή μέθοδος	Τριών φάσεων	Δύο φάσεων
Στερεά απόβλητα (kg/tn ελαιόκαρπου)	330	500	800
Υγρά απόβλητα (L/tn καρπού)	600	1200	250
Φυτικό νερό των υγρών αποβλήτων	94	90	99
BOD5 (g/L) των ΥΑΕ	100	80	10
Πολυφαινόλες στα ΥΑΕ (g/L)	0.203	0.164	0.200
Δείκτης πικρότητας	1.4	0.5	

Πίνακας 1.6: Χαρακτηριστικά αποβλήτων ελαιοτριβείου[68]

Επιπλέον, παρατίθεται ο πίνακας σχετικά με τα χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων των παραδοσιακών και των φυγοκεντρικών ελαιοτριβείων:

Τύπος Ελαιοτριβείου	Παραδοσιακό	Φυγοκεντρικό
---------------------	-------------	--------------

pH	4.5-5.5	4.7-5.2
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (g/L) COD	120-130	45-60
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (g/L)	90-100	35-48
Αιωρούμενα στερεά (%)	0.1	0.9
Ολικά στερεά (%)	12	6
Ολικά οργανικά στερεά (%)	10.5	5.5
Ολικά ανόργανα στερεά (%)	1.5	0.5
Πολυφαινόλες	2-2.4	0.3-0.8

Πίνακας 1.7: Χαρακτηριστικά αποβλήτων ελαιοτριβείου [69]

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι η διφασική μέθοδος παράγει μειωμένη ποσότητα υγρών αποβλήτων, με σημαντικά μικρότερο βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD₅ συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους, γεγονός που την καθιστά την οικολογικότερη επιλογή, καθώς είναι τα δυσκολότερα στην επεξεργασία τους. Ωστόσο, περιέχει το μεγαλύτερο στερεό υπόλειμμα και κατ' επέκταση την υψηλότερη υγρασία, για το οποίο δεν διατίθενται οι απαραίτητες εγκαταστάσεις επεξεργασίας του στην Ελλάδα.

Ακόμη, αξίζει να σημειωθεί ότι το ελαιόλαδο που προκύπτει από το σύστημα τριών φάσεων δεν έχει τόσο μεγάλη περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες. Αυτό οφείλεται, χάρη στα υψηλά ποσά προστιθέμενου νερού.

Στην συνέχεια, γίνεται αντιληπτό πως στα κλασικά ελαιοτριβεία εντοπίζεται αυξημένη περιεκτικότητα σε στερεά στα απόβλητα, σε σχέση με τα φυγοκεντρικά. Αυτό δικαιολογείται, καθώς η διαδικασία της φυγοκέντρισης απαιτεί τόσο προσθήκη νερού στους κατακόρυφους διαχωριστήρες, όσο και συνεχή προσθήκη επιπλέον νερού ίση προς το 30-50% του καρπού που βρίσκεται υπό επεξεργασία. Διαπιστώνεται, λοιπόν, πως με την προσθήκη του νερού προκαλείται αρχικά μια φυσιολογική αραίωση των συστατικών, και επιπλέον αυξάνεται η τελική ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων ανά μονάδα επεξεργαζόμενου καρπού.[74]

1.8 Διφασικά και Τριφασικά ελαιοτριβεία

Τα τελευταία χρόνια, με την εφαρμογή των διαχωριστήρων δύο φάσεων, η παραγωγή ελαιόλαδου επιτυγχάνεται χωρίς την προσθήκη πόσιμου νερού και άρα χωρίς την παραγωγή υγρών αποβλήτων.

Τα διφασικά συστήματα υπερτερούν των τριφασικών για ποικίλους λόγους. Αρχικά, η δυναμικότητα των διφασικών φυγοκεντρικών διατάξεων είναι μεγαλύτερη, δεδομένου ότι δεν χρειάζεται νερό για την παραγωγή του λαδιού. Ο διαχωριστήρας είναι πιο αξιόπιστος κατά τη λειτουργία του και πιο οικονομικός, σε αντίθεση με αυτόν του τριφασικού συστήματος, όπως επίσης και το λειτουργικό κόστος της μονάδας είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό του τριφασικού συστήματος. Επιπλέον, δεν παράγονται υγρά απόβλητα κατά την παραγωγή του ελαιόλαδου και η παραγωγή του είναι λίγο πιο αποτελεσματική συγκριτικά με την τριφασική μέθοδο, παρόλο που ο ελαιοπυρήνας δύο φάσεων συγκρατεί περισσότερο λάδι. Ακόμα, η ποιότητα του ελαιόλαδου είναι υψηλότερη ύστερα από διφασική επεξεργασία, χάρη στη μεγάλη περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες, και κυρίως σε διφαινόλες. Το ελαιόλαδο αυτό είναι υψηλής ποιότητας και σταθερό στην οξείδωση.

Σημαντικό, όμως, είναι να αναφερθούν, και τα μειονεκτήματα της διφασικής λειτουργίας. Έτσι, πρέπει να γίνει αναφορά στον ημιστερεό ελαιοπολτό που παράγεται, ο οποίος απαιτεί ασφαλή τρόπο διάθεσης στο περιβάλλον, καθώς είναι πλούσιος σε οργανικό φορτίο. Ακόμη, η ανάκτηση του ελαιόλαδου που περιέχεται στον πολτό είναι μια ακριβή και δύσκολη διαδικασία, κατά την οποία απαιτούνται υψηλά ποσά ενέργειας. [75]

1.9 Μέθοδοι επεξεργασίας διφασικών και τριφασικών αποβλήτων ελαιοτριβείου στην Ελλάδα

Η διαχείριση των ΥΑΕ στην Ελλάδα, γίνεται κυρίως σε ανοιχτές, αβαθείς δεξαμενές, με στόχο την εξάτμιση τους μέσω των εξατμισοδεξαμενών. Παρ' ολ' αυτά, η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα. Συγκεκριμένα, τα τριφασικά ελαιοτριβεία δεν αποτελούν ένα αειφόρο σύστημα παραγωγής, αν αναλογιστεί κανείς ότι για ένα κιλό ελαιόλαδου παράγονται 5 λίτρα υγρών αποβλήτων. Τα πλούσια σε οργανικά υδατικά απόβλητα, όπως είναι ο κασίγαρος, προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως δυσοσμία κατά την αποθήκευση σε ανοιχτές δεξαμενές, χρωματισμός των φυσικών υδάτων και φυτοτοξικότητα καθώς προκαλούν προβλήματα στις αγροτικές καλλιέργειες και την χλωρίδα, δεδομένου ότι είναι πλούσια σε φαινολικές ενώσεις και φυτοτοξικά πτητικά οξέα.

Η επιλογή της καλύτερης μεθόδου επεξεργασίας αποβλήτων ελαιοτριβείων βασίζεται στην ανάλυση της ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης των αποβλήτων που βρίσκονται

υπό επεξεργασία. Οι μέθοδοι που έχουν μελετηθεί ποικίλουν, και ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες. [71]

- Μέθοδοι αποτοξικοποίησης
 - Φυσικές μέθοδοι
 - Θερμικές μέθοδοι
 - Φυσικοχημικές μέθοδοι
 - Βιολογικές μέθοδοι
 - Συνδυασμός των παραπάνω
- Μέθοδοι ανακύκλωσης και ανάκτησης προϊόντων προστιθέμενης αξίας

Αναλυτικότερα, τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου (ΥΑΕ), τα οποία παράγονται κυρίως στα ελαιοτριβεία τριών φάσεων, και προέρχονται από το νερό που χρησιμοποιείται κατά τη φυγοκέντρωση. Εξαιτίας της χημικής τους σύστασης αλλά και του πλούσιου οργανικού φορτίου, αποτελούν το βασικότερο πρόβλημα κατά τη λειτουργία των ελαιοτριβείων τριών φάσεων, όσο αφορά στη διαχείρισή τους.

Σχετικά με την ελαιοπυρήνα τριφασικών ελαιοτριβείων, συνήθως οδηγείται στα πυρηνελαιουργεία, από τα οποία γίνεται εκχύλιση για τον διαχωρισμό του λαδιού που έχει απομείνει και ύστερα αξιοποιείται με ποικίλους τρόπους. Αντίθετα, η ελαιοπυρήνα των διφασικών ελαιοτριβείων παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες κατά την διαχείρισή της, με τρόπο παρόμοιο με αυτή των τριφασικών, λόγω της αυξημένης υγρασίας της. Το συγκεκριμένο απόβλητο απαιτεί ξήρανση προτού συμβεί η δεύτερη εκχύλιση λαδιού, η οποία αυξάνει το κόστος παραγωγής σημαντικά, λόγω των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων. Ωστόσο έχουν εντοπιστεί ορισμένες μέθοδοι αρκετά αποτελεσματικές για την εκμετάλλευση των αποβλήτων από ελαιοτριβεία δύο φάσεων, όπως είναι η κομποστοποίηση, η αεροποίηση κλπ.

1.9.1 Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο συχνές μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων:

- Βιολογική επεξεργασία: Γίνεται χρήση μιας αναερόβιας διαδικασίας, με στόχο την μετατροπή των οργανικών ενώσεων σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα (βιοαέριο). Το παραγόμενο βιοαέριο είναι ένα προϊόν που μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι γίνεται χρήση της αναερόβιας χώνεψης σε μικρότερες συγκεντρώσεις για μείωση της υπολειμματικής οργανικής ύλης, καθώς και θρεπτικών συστατικών. Η αναερόβια διαδικασία υπερτερεί της αερόβιας, καθώς έχει υψηλότερη απόδοση με λιγότερη παραγωγή ιλύος (έως και 20 φορές μικρότερη) και χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις χώρου.

- Ανακύκλωση-Κομποστοποίηση: Αποτελεί μια ελεγχόμενη αερόβια και θερμόφιλη διαδικασία, που σχετίζεται με την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών, μετατρέποντάς τις σε σταθερές οργανικές ενώσεις. Το κομπόστ που προκύπτει, χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό (λίπασμα), συντελώντας στον εμπλουτισμό της καλλιεργήσιμης γης με θρεπτικά συστατικά.
- Διαχωρισμός με μεμβράνες: Η διεργασία αυτή συντελεί στην βέλτιστη μείωση του COD, δεδομένου ότι η κλασική μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας δεν είναι πάντα αρκετή. Μπορούν να εφαρμοστούν στα απόβλητα μικροδιήθηση, υπερδιήθηση, νανοδιήθηση και αντίστροφη ώσμωση. Τελικά, το συμπύκνωμα δύναται να οδηγηθεί για αποτέφρωση είτε για υγειονομική ταφή.
- Φυσικοχημική επεξεργασία: Είναι μια διαδικασία απομάκρυνσης μη βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ρύπων, με προσρόφηση, κροκίδωση, καθίζηση, είτε με την προσθήκη χημικών. Αποτελεί διαδικασία υψηλής απόδοσης απομάκρυνσης, με χαμηλά κόστη επένδυσης και λειτουργίας. Είναι πιο προσιτή σε μικρά ελαιοτριβεία.
- Χρήση των ΥΑΕ για άρδευση: Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι περιέχουν θρεπτικά συστατικά, όπως σε κάλιο, ασβέστιο, φώσφορο, και είναι ικανά να ενισχύσουν το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία. Όμως, η ανεξέλεγκτη διασπορά μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο έδαφος, τόσο εξαιτίας της χημικής τους σύστασης αλλά και της περιεκτικότητάς τους σε πολυφαινόλες. Βασική προϋπόθεση για την διασπορά των αποβλήτων στο έδαφος είναι να πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις όσον αφορά τη σύσταση του εδάφους και των υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, από την ΚΥΑ 14511/8-3-2011, έχει θεσπιστεί ότι τα απόβλητα για άρδευση οφείλουν να έχουν τιμή BOD₅ μικρότερη των 5mg/L, που είναι αρκετά μικρότερη τιμή συγκριτικά με την ποσότητα των ΥΑΕ των ελαιοτριβείων τριών φάσεων.[70], [69]

1.9.2 Στερεά και ημιστερεά απόβλητα ελαιοτριβείου

Συμπληρωματικά με τα υγρά απόβλητα των ελαιοτριβείων, παράγονται και στερεά και ημιστερεά παραπροϊόντα. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει μελέτες πάνω στα στερεά απόβλητα, καθώς η χρήση τους έχει οικονομική και κοινωνική σημασία, ειδικά στην λεκάνη της Μεσογείου, καθώς εντοπίζονται μεγάλες ποσότητες κατά τη διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου.

Συγκεκριμένα, τα παραπροϊόντα αυτά είναι τα εξής:

- Τα φύλλα προερχόμενα από την αποφύλλωσης
- Η τριφασική ελαιοπυρήνα προερχόμενη από την φυγοκέντρωση τριών φάσεων, και έχει περιεκτικότητα υγρασίας 45-55%
- Η διφασική ελαιοπυρήνα, είτε υγρή είτε ημιστερεή, προερχόμενη από την φυγοκέντρωση δύο φάσεων, έχει περιεκτικότητα υγρασίας 65-75%

Στα πυρηνελαιουργεία συνήθως γίνεται η επεξεργασία της ελαιοπυρήνας. Ανάλογα το είδος της ελαιοπυρήνας, ύστερα από την επεξεργασία προκύπτουν τα παρακάτω:

Από διφασική και τριφασική ελαιοπυρήνα:

- Πυρηνέλαιο
- Πυρηνόξυλο

Από διφασική ελαιοπυρήνα:

- Λάδι repaso
- Καθαρό πυρηνόξυλο, ξυλώδες μέρος

Ακόμη, η ελαιοπυρήνα μπορεί να διατεθεί και για κομποστοποίηση, αναερόβια χώνεψη, ακόμα και για ζωοτροφή ή συνδυασμό όλων των προ αναφερόντων.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέθοδοι επεξεργασίας των στερεών και ημιστερεών αποβλήτων ελαιοτριβείων:

- Ξήρανση: μέσω των ξηραντήρων τυμπάνων, ξηραντήρων ζωνών και ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης, μεταφέρεται θερμότητα στα απόβλητα με τη βοήθεια θερμών αερίων. Ύστερα, το αποξηραμένο απόβλητο διατίθεται προς καύση για την παραγωγή ενέργειας, για επαναχρησιμοποίηση σε καλλιέργεια ή σε χώρους υγειονομικής ταφής. Οι αέριες εκπομπές που δημιουργούνται οφείλουν να έχουν την κατάλληλη επεξεργασία.
- Θερμική επεξεργασία: Συντελεί στην ανάκτηση ενέργειας. Επιπλέον δύναται να αποτεφρωθούν και αναμειγμένα απόβλητα με άλλα οργανικά απόβλητα. Το τελικό προϊόν χρησιμοποιείται εν μέρει για την παραγωγή είτε θερμικής είτε ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της καύσης.
- Βιολογική επεξεργασία: μπορεί να αξιοποιηθούν και αερόβιες και αναερόβιες διεργασίες, όπως η κομποστοποίηση και η ζύμωση αντίστοιχα. Αναλυτικά, υλικά με μεγάλο όγκο (ξύσματα ξύλων) πρέπει να προστίθενται κατά την διαδικασία της κομποστοποίησης των αποβλήτων, με στόχο την δημιουργία κατάλληλων επιπέδων υγρασίας και κατάλληλο αερισμό του πολτού. Ο υγρός ελαιοπυρήνας προστίθεται εξ αρχής της διαδικασίας της κομποστοποίησης, σε αντίθεση με τα υγρά απόβλητα. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει χαμηλές αέριες εκπομπές και μικρή κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, οι απαιτήσεις σε χώρο είναι μικρές και η παραγωγή βιοαερίου συντελεί στην ανάκτηση ενέργειας.[66]

1.10 Αξιοποίηση αποβλήτων για παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας

Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων αποτελούν πηγή χρήσιμων προϊόντων, και με την κατάλληλη διαχείριση, ενδείκνυνται για την ανάκτηση και αξιοποίησή τους.

Συγκεκριμένα, οι φαινολικές ενώσεις είναι υδατοδιαλυτές οργανικές ουσίες και βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες στα ελαιουργικά απόβλητα. Οι φαινόλες είναι γνωστές και σαν πολυφαινόλες. Στα απόβλητα των ελαιοτριβείων έχουν εντοπιστεί πάνω από τριάντα φαινολικές ενώσεις. Η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 50μg έως 1000μg ανά γραμμάριο ελαίου, ανάλογα την ποικιλία της ελιάς. Οι φαινόλες έχουν αντιοξειδωτικές ικανότητες, βοηθώντας έναντι των ασθενειών που πλήττουν τους ανθρώπους. Ωστόσο, είναι ικανές να προκαλέσουν προβλήματα στην υγεία. Συγκεκριμένα έχουν εντοπιστεί παθήσεις, όπως προβλήματα στο συκώτι και αρρυθμίες στην καρδιά. Η μικρότερη αναφερόμενη δόση που καταναλώθηκε και είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο είναι 4,8g μέσα σε 10 λεπτά ύστερα από κατάποση. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι οι φαινολικές ενώσεις αυξάνονται κάτω από συνθήκες στρες του φυτού. Παραδείγματα τέτοιων συνθηκών είναι η μόλυνση από παθογόνα παράσιτα η έκθεση σε ακτινοβολία UV, σε ακραίες θερμοκρασίες και στην ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Οι φαινολικές ενώσεις που βρίσκονται στο λάδι προέρχονται από τον καρπό και τα φύλλα της ελιάς και η μεγαλύτερες ποσότητες αφορούν την τυροσόλη και την υδροxyτυροσόλη.

Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί ότι τα υγρά ελαιουργικά απόβλητα αποκτούν μαύρο χρώμα όταν αποθηκεύονται για ορισμένο χρονικό διάστημα. [69],

1.11 Πρακτικές ανάκτησης πολυφαινολών

Στην βιβλιογραφία γίνονται αρκετές μελέτες που υποδεικνύουν την παραγωγή αντιοξειδωτικών ενώσεων υψηλής καθαρότητας. Επιπλέον, έχουν μελετηθεί διάφορες μέθοδοι αξιοποίησης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, όπως η αντίστροφη ώσμωση, η φυτοχημική αποικοδόμηση φαινολών, η ηλεκτρόλυση κ.λπ. Όμως, δεν φαίνεται να συνιστούν μια ρεαλιστικά βιώσιμη λύση. Ακόμα, έχουν αναπτυχθεί πολλές έρευνες που χρησιμοποιούν την εκχύλιση υγρού - υγρού, τις προσροφητικές ρητίνες, την εκχύλιση με υπερκρίσιμο ρευστό σε στήλη, ή την υπερδιήθηση και την προσρόφηση σε μη ιοντικές ρητίνες από τα εξεταζόμενα απόβλητα. Ακόμη έχουν δημοσιευθεί μέθοδοι σύνθεσης και εκχύλισης (εκχύλιση στερεού-υγρού, εκχύλιση υγρού - υγρού ή η τεχνική προσρόφησης που χρησιμοποιεί ρητίνες) από τα απόβλητα ελαιοτριβείου.

Η ανάκτηση των πολυφαινολών είναι ζωτικής σημασίας, λόγω της υψηλής αντιοξειδωτικής τους δράσης. Ακόμα, είναι εφικτό να αξιοποιηθούν εμπορικά, καθώς έχουν σημαντικό ρόλο στην ιατρική, στην βιομηχανία των τροφίμων και σε πολλούς άλλους τομείς. [70]

1.12 Σκοπός

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση των φυσικοχημικών και βιολογικών τεχνολογιών που γίνεται χρήση τους για την αξιοποίηση των αποβλήτων των διφασικών και τριφασικών ελαιοτριβείων, με έμφαση στην ανάκτηση φαινολικών ενώσεων. Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί ότι μελετήθηκαν οι φαινολικές ενώσεις σε μεγαλύτερο βάθος συγκριτικά με άλλα παραπροϊόντα, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη έρευνα και τα περισσότερα ακαδημαϊκά άρθρα βασίζονται σε αυτές.

Στην συνέχεια, γίνεται σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών ανάκτησης, χρησιμοποιώντας ορισμένους από τους πιο σημαντικούς δείκτες αειφορίας (τεχνοοικονομικούς και περιβαλλοντικούς δείκτες). Οι δείκτες αειφορίας είναι ουσιαστικά δείκτες προόδου. Αφορούν ορισμένα επιτεύγματα ή αλλαγές που σηματοδοτούν την πρόοδο για την επίτευξη ενός αποτελέσματος ή στόχου. Οι δείκτες που θα επιλεγούν είναι κατάλληλοι για τη συγκεκριμένη μελέτη, ώστε να παρθούν ορισμένα συμπεράσματα. Πρόκειται, λοιπόν, για συγκεκριμένες, επαληθεύσιμες και μετρήσιμες πτυχές που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία αξιολόγησης. [64], [65]

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση για τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων ελαιοτριβείου

Αρχικά, αξιοποιήθηκε η υπηρεσία της Eurostat, δηλαδή η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία. Συγκεκριμένα, είναι μια υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, με βασικό καθήκον της την συλλογή και δημοσίευση στατιστικών στοιχείων που σχετίζονται με τις Ευρωπαϊκές χώρες.

Επιπλέον, με βάση την βιβλιογραφία, εκτιμήθηκαν τα απόβλητα από κάθε τύπο ελαιοτριβείου και παρουσιάστηκαν αναλυτικά σε διαγράμματα ροής.

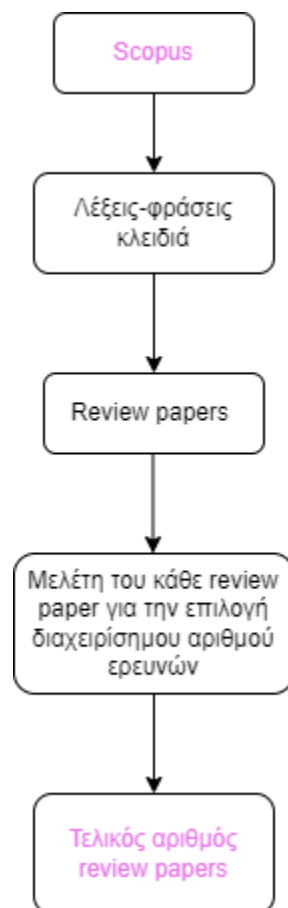
Στην συνέχεια, με την κατάλληλη έρευνα που διεξήχθη, μέσω της βιβλιογραφίας και της διαδικτυακής βάσης δεδομένων «Scopus», προέκυψαν ορισμένα ακαδημαϊκά άρθρα, τα οποία βοήθησαν στον εντοπισμό και την ανάλυση των τεχνολογιών που έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία και αξιοποίηση των αποβλήτων ελαιοτριβείου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες λέξεις «κλειδιά», ώστε να επικεντρωθούν τα review papers στην συγκεκριμένη θεματολογία που μας αφορά. Οι λέξεις-φράσεις που χρησιμοποιήθηκαν σχετικά με την αξιοποίηση αποβλήτων ελαιοτριβείου είναι οι εξής:

- Olive mill waste (απόβλητα ελαιοτριβείου)
- Olive mill waste water (υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου)
- Two-phase olive mill waste (απόβλητα διφασικών ελαιοτριβείων)
- Three-phase olive mill waste (απόβλητα ελαιοτριβείων τριών φάσεων)
- Utilization (Αξιοποίηση)
- Valorization methods (μέθοδοι αξιοποίησης)
- Technology - technologies (τεχνολογίες)
- By-product-s (παραπροϊόντα)
- Phenolic – phenolic compounds – polyphenols
- Bioactive compounds (βιοδραστικές ουσίες)
- Biorefinery – biorefineries (βιοδιυλιστήριο)
- Organic compounds (Οργανικά προϊόντα)
- Olive mill waste composting (κομποστοποίηση αποβλήτων ελαιοτριβείου)
- Solid olive mill waste (στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου)
- Liquid olive mill waste (υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου)
- Olive pomace oil (πυρηνέλαιο)
- Biophenols (βιοφαινόλες)

Τα ακριβή στοιχεία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης μέσω του scopus αναφέρονται στα Παραρτήματα (Π1).

Από τις παραπάνω λέξεις κλειδιά, εντοπίστηκε ένας αριθμός εργασιών (review papers) ίσος με 72, από τις οποίες επιλέχθηκαν αρχικά 64 review papers. Στη συνέχεια, διαβάζοντας τις περιλήψεις αυτών των εργασιών, αφαιρέθηκαν όσες θεωρήθηκαν ότι δεν θα ήταν τόσο χρήσιμες για το θέμα της αξιοποίησης των αποβλήτων των ελαιοτριβείων. Έτσι, ο τελικός αριθμός review papers που προέκυψε και μελετήθηκε σε βάθος ήταν 20. Η μεθοδολογική προσέγγιση φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

Διάγραμμα 2.1: Μεθοδολογία για βιβλιογραφική ανασκόπηση στο Scopus



2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση για δείκτες αειφορίας και για μελέτες βιωσιμότητας

Αρχικά, η επιλογή των δεικτών αιφορίας έγινε ύστερα από βιβλιογραφική ανασκόπηση για μελέτες τεχνοοικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Συγκεκριμένα, η βιβλιογραφία που αξιοποιήθηκε είναι η παρακάτω:

- Safe and Sustainable by Design chemicals and materials Review of safety and sustainability dimensions, aspects, methods, indicators, and tools, Carla Caldeira et al. (2022)
- Definition of techno-economic sustainability criteria and LCC indicators for bio-based products (Internal Report: Selection of techno-economic sustainability principles, criteria and indicators of conversions routes for bio-based products) (2018)

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που όφειλαν να έχουν οι δείκτες αιφορίας είναι αρχικά η λειτουργικότητά τους, δηλαδή να μετριοούνται σε κατάλληλη κλίμακα ώστε να διασφαλίζεται και η διαθεσιμότητα των πληροφοριών. Επιπλέον, απαιτείται ομοιογένεια, ώστε σε κάθε ομάδα κατηγορίας να επιτευχθεί συμφωνία σχετικά με το σύνολο των ομάδων δεικτών, με στόχο την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση οικονομικών δεικτών, περιβαλλοντικών δεικτών και δεικτών μάζας, ενέργειας και αποβλήτων.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι αρχικοί επιθυμητοί δείκτες για ανάλυση ήταν επτά. Ωστόσο, λόγω των ελλিপών αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την έρευνα στο Scopus, τελικό ποσό δείκτες που αναλύθηκε τελικά είναι τρεις περιβαλλοντικοί δείκτες.

Στην συνέχεια, έγινε έρευνα πάνω στις μελέτες βιωσιμότητας οι οποίες θα βοηθήσουν στον υπολογισμό ορισμένων δεικτών από αυτούς που επιλέχθηκαν. Το συγκεκριμένο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας δεν ήταν ιδιαίτερα καρποφόρο, καθώς βρέθηκε ότι έχουν πραγματοποιηθεί μόνο λίγες μελέτες πάνω στην ανάλυση αιφορίας σχετικά με τα απόβλητα των ελαιοτριβείων.. Ωστόσο, ακολουθήθηκε η αντίστοιχη μεθοδολογία με αυτή που προαναφέρθηκε. Μέσω της βιβλιογραφίας και της διαδικτυακής βάσης δεδομένων «Scopus», προέκυψε ένας αριθμός από ακαδημαϊκά άρθρα. Συγκεκριμένα, ο αρχικός αριθμός των μελετών που επιλέχθηκαν είναι 21. Όμως, ύστερα από την μελέτη αυτών, προέκυψε ο αριθμός των ερευνών που μελετήθηκαν σε βάθος και αξιοποιήθηκαν, καθώς θεωρήθηκαν τα πιο χρήσιμα, που ήταν τελικά ίσος με 12.

Οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο κομμάτι είναι οι εξής:

- Life cycle assessment (Αξιολόγηση κύκλου ζωής)
- Olive mill waste (απόβλητα ελαιοτριβείου)
- Life cycle analysis (Ανάλυση κύκλου ζωής)
- Techno-economic analysis (Τεχνοοικονομική ανάλυση)
- Economic analysis (Οικονομική ανάλυση)

- Environmental assessment (Περιβαλλοντική εκτίμηση)
- Circular economy (Κυκλική οικονομία)
- Energy recovery (ανάκτηση ενέργειας)
- Sustainability analysis (ανάλυση βιωσιμότητας)
- Energy valorization (Αξιοποίηση ενέργειας)
- Sustainable environmental management (Περιβαλλοντική βιώσιμη διαχείριση)
- Management (Διαχείριση)

Τα ακριβή στοιχεία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης μέσω του scopus αναφέρονται στα Παραρτήματα (Π2).

2.3 Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων

Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω ήταν η δημιουργία συγκεντρωτικών πινάκων μέσω υπολογιστικών φύλλων του Excel, που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο. Οι πίνακες αυτοί περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα των μελετών που εξέτασαν τα ζητούμενα, και η συγκέντρωση όλων αυτών των δεδομένων διευκόλυνε την διαδικασία της οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων μέσω του προγράμματος του Excel και την δημιουργία γραφημάτων.

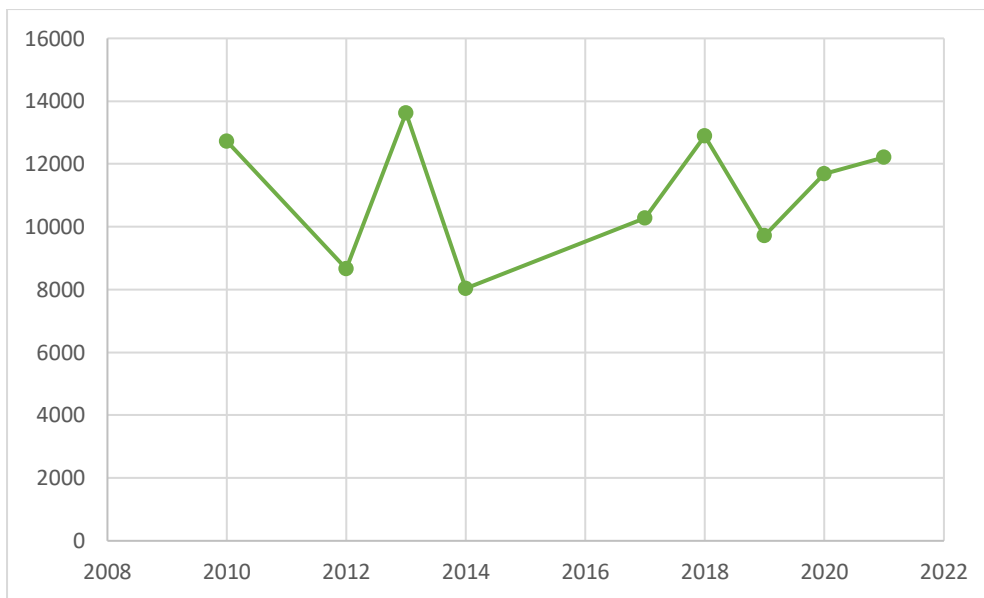
Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως, για την καλύτερη παρουσίαση και σύγκριση των σεναρίων αξιοποίησης των αποβλήτων, τα οποία προέκυψαν από τις μελέτες της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, χρειάστηκε να γίνουν κάποιες αναγωγές και παραδοχές. Αρχικά, επιλέχθηκε σαν λειτουργική μονάδα (Functional Unit, FU), το 1 κιλό αποβλήτων ελαιολιτριβείου, και έγινε αναγωγή των αποτελεσμάτων σε αυτό σε όσες εργασίες είχαν χρησιμοποιήσει διαφορετικό FU. Ακόμα, επιλέχθηκαν οι εργασίες που χρησιμοποιούσαν τα απόβλητα ως εισροή (input) στο υπό μελέτη σύστημά τους μη συμπεριλαμβάνοντας τις διαδικασίες παραγωγής του αποβλήτου (upstream processes), μία προσέγγιση που είναι γνωστή ως «zero-burden approach». Στις μελέτες όπου, δε συνέβαινε το παραπάνω, και τα δεδομένα το επέτρεπαν. Έγινε αναγωγή των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τα όρια συστήματος που επιλέχθηκαν.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Ποσοτικοποίηση αποβλήτων ελαιοτριβείων

Αρχικά, μέσω της Eurostat, συλλέχθηκαν ορισμένα δεδομένα, και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει την εξέλιξη παραγωγής ελιών για ελαιόλαδο ανά τα χρόνια.

Διάγραμμα 3.1: Παραγωγή ελιάς για λάδι



Παρατηρείται μείωση από το 2010 έως το 2012 και από το 2013 έως το 2014, όμως φαίνεται να βαίνει αυξανόμενη η παραγωγή ελιάς για λάδι από το 2014 και έπειτα.

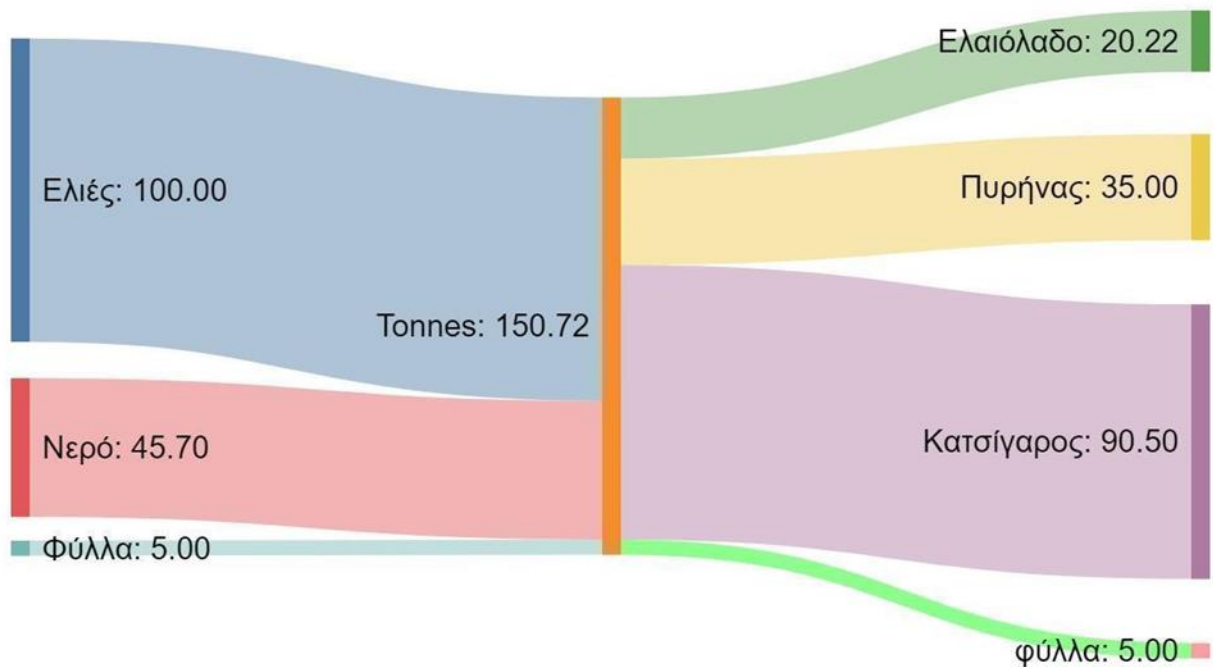
Στην συνέχεια, από τα δεδομένα της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat), προκύπτουν τα ακόλουθα δεδομένα σχετικά με τη συγκομιδή ελιών για παραγωγή λαδιού και καρπού, σε τυπική υγρασία, σε μονάδες τόνων (t).

Πίνακας 3.1: Συγκομιδή ελιών για λάδι, σε τυπική υγρασία ΕΕ (t)

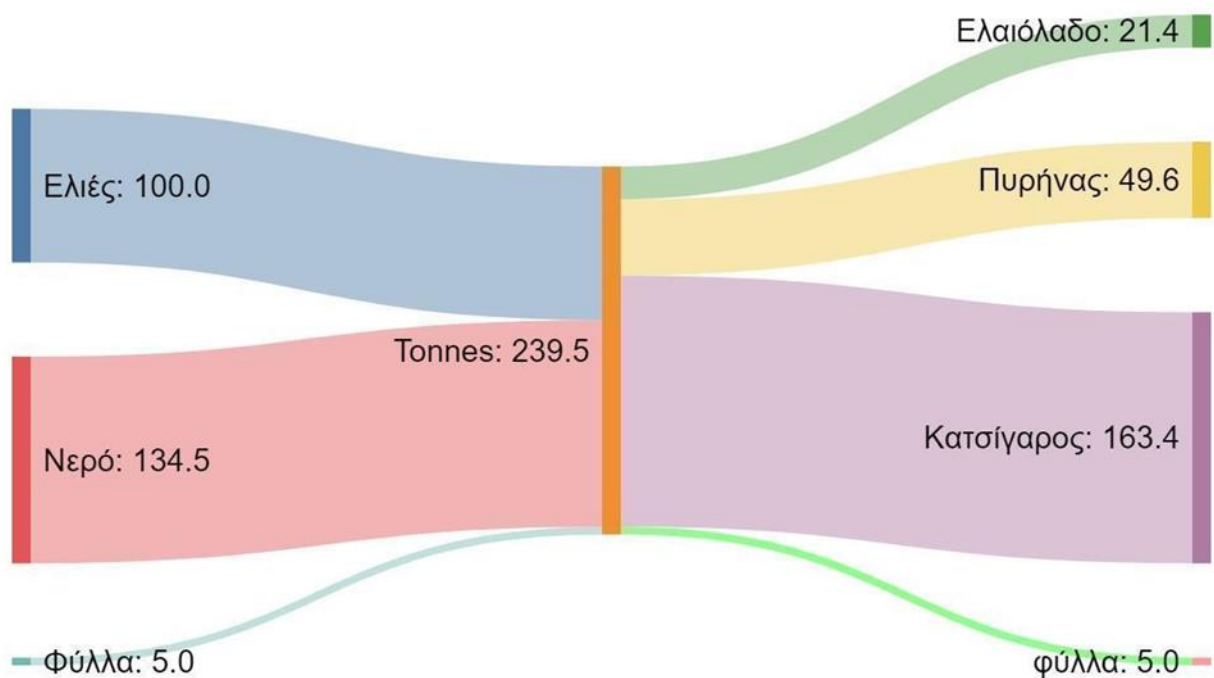
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ελλάδα	958,310	775,640	935,890	1,000,953	1,001,110	1,240,700
Ισπανία	6,571,430	6,030,870	9,264,540	5,643,060	7,750,670	7,104,610
Ιταλία	1,944,790	2,537,610	1,889,050	2,118,130	2,126,160	2,574,410
Πορτογαλία	476,000	858,410	725,370	916,730	715,180	1,215,800
Ευρωπαϊκή Ένωση (27 χώρες) (2020)	-	10,271,570	12,888,750	9,709,880	11,678,170	12,206,010

Από την έρευνα που διεξήχθη, έγινε εφικτή η εκτίμηση των αποβλήτων από κάθε τύπο ελαιοτριβείου, και ολοκληρώθηκαν τα διαγράμματα ροής των τριών συστημάτων.

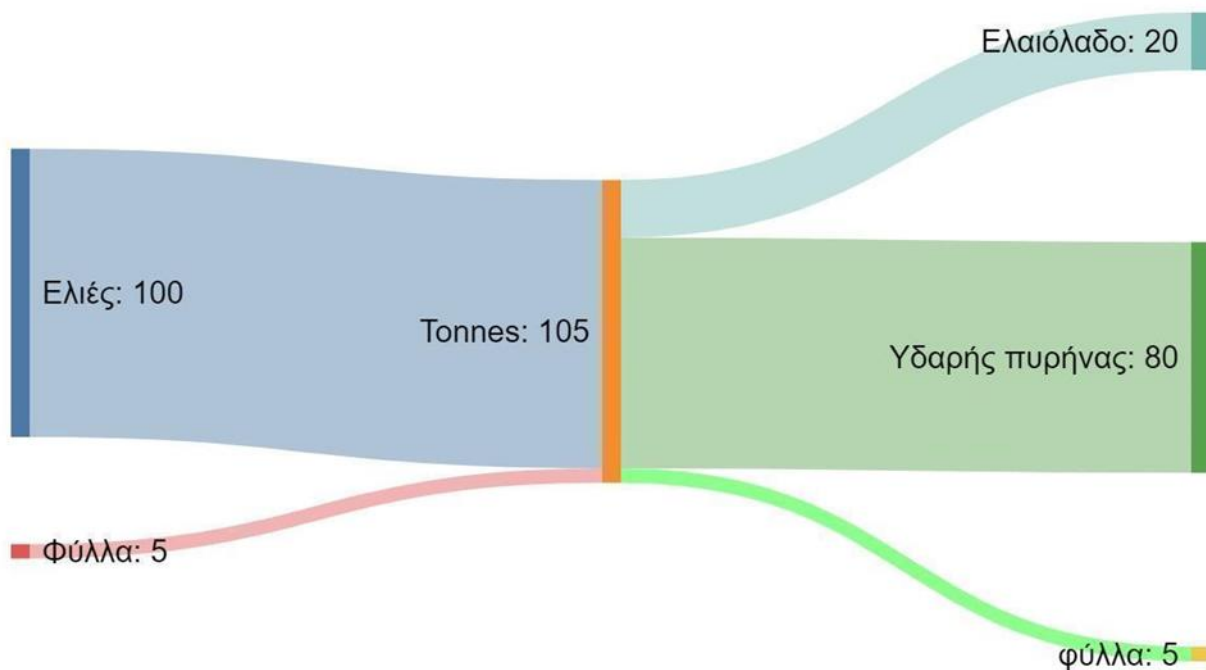
Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα ροής Παραδοσιακού πιεστικού συστήματος



Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα ροής Τριφασικού συστήματος



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα ροής Διφασικού συστήματος



3.2 Τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων

Στην συνέχεια, με βάση την βιβλιογραφία προέκυψαν τα αποτελέσματα σχετικά με τις τεχνολογίες αξιοποίησης των αποβλήτων ελαιотριβείου.

Αναλυτικότερα, έγινε χρήση 8 διαφορετικών στηλών, με στόχο την πλήρη εικόνα της κάθε μελέτης. Αρχικά, ως πρώτη στήλη ορίστηκαν οι συγγραφείς (Review paper) της κάθε έρευνας και στη συνέχεια η χρονολογία (Year) της έκδοσης της. Ακολουθεί το είδος του αποβλήτου ελαιотριβείου (Type of olive mill waste) που επικεντρώνεται η κάθε μελέτη και στην συνέχεια το προϊόν (Product) που παράγεται αλλά και η τεχνολογία (Technology) που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του αποβλήτου. Τέλος, σημειώνεται η απόδοση (yield) της κάθε τεχνολογίας και οι μονάδες της (Units).

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι για την διαμόρφωση του πίνακα, εντοπίστηκαν και μελετήθηκαν οι εργασίες πάνω στις οποίες βασίστηκαν τα review papers που επιλέχθηκαν, με στόχο την ολοκληρωμένη συμπλήρωσή του. Έτσι, η τελευταία στήλη του πίνακα σχετικά με τις τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων ελαιотριβείου είναι η ειδική αναφορά (Specific reference), δηλαδή η έρευνα πάνω στην οποία βασίστηκε το κάθε review paper ξεχωριστά.

Έτσι, με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκε ο πίνακας που ακολουθεί (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2: Τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων ελαιотριβείου

Review paper	Χρονιά	Είδος αποβλήτου ελαιотριβείου	Προϊόν	Τεχνολογία	Απόδοση	Μονάδες	Ειδική αναφορά
<u>Nicola Caporaso et al</u>	2017	Φύλλα ελιάς	Φαινολικές ενώσεις	Εκχύλιση με διαλύτη	0.0273	g-Caffeic acid equivalent / g-dry olive leaves	<u>Lafka et al.</u>
<u>Paulina Tapia-Quirós et al [29]</u>	2022	Φύλλα ελιάς	Φαινολικές ενώσεις	PLE	0.0647	g GAE/g	<u>Putnik, P. et al.</u>

Review paper	Χρονιά	Είδος αποβλήτου ελαιολιτριβείου	Προϊόν	Τεχνολογία	Απόδοση	Μονάδες	Ειδική αναφορά
Kontos et al.[4]	2017	Υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου	Φαινολικές ενώσεις	Τεχνολογία μεμβρανών (UF, NF, RO) + προσρόφηση/εκρόφηση με ρητίνες	0.74	g-hydroxytyrosol/g-hydroxytyrosol	Dimitris P. Zagklis[13]
Charis M. Galanakis et al.[3]	2017	Υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου	Φαινολικές ενώσεις	Διαδικασία προσρόφησης/εκρόφησης συνεχούς ροής	0.65	g-PC extracted/g-PC initial	Dario Frascar
Paulina Tapia-Quirós et al[29]	2022	Υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου	Φαινολικές ενώσεις	Εκχύλιση υγρού-υγρού	0.67	g-GAE extracted/g-GAE initial	Reda Elkacmi et al.
		Υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου	Φαινολικές ενώσεις	Εκχύλιση υγρού-υγρού	0.55	g-GAE extracted/g-GAE initial	AbdelilahEl-Abbassi et al.
		Υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου	Φαινολικές ενώσεις	Εκχύλιση υγρού-υγρού	0.57	g-TP extracted/g-TP initial	NicolasKalogera kis et al.
Paulina Tapia-Quirós et al[29]	2022	Υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου	Φαινολικές ενώσεις	UF, NF και RO	0.378	g/g	Zagklis, D.P.et al.
Pablo M. Ahmed et al.[8]	2019	Υγρά απόβλητα ελαιολιτριβείου	Αιθανόλη	Βιοτεχνολογικές μέθοδοι	0.0149	g/g production from omw	Massadeh and Modallal (2008) et al.

<u>Marianna Dourou et al.[6]</u>	2016	Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου	Μικροβιακό λιπίδιο	Τεχνολογία ζύμωσης	0.07	g/g in the presence of OMW	
<u>Ghilardi, Carolina et al.[5]</u>	2020	Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου	Καροτενοειδή	Από ένα στέλεχος <i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	0.00078	g/g of biomass	

Review paper	Χρονιά	Είδος αποβλήτου ελαιοτριβείου	Προϊόν	Τεχνολογία	Απόδοση	Μονάδες	Ειδική αναφορά
<u>Paulina Tapia-Quirós et al[29]</u>	2022	OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	Solvent extraction	0.0149	g-Caffeic acid equivalents / g- dry OMW	<u>Theodora-Ioanna Lafka et al.</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	SLE	0.00437	g/g	<u>Alu'datt, M.H. et al.</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	SLE	0.12	g/g	<u>Lafka, T.I. et al.</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	SLE	0.45	g/g	<u>Aliakbarian, B. et al.</u>
<u>Paulina Tapia-Quirós et al[29]</u>	2022	OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	UAE	0.55	g/g	<u>Xie, P. et al.</u>

		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	UAE	0.278	g/g	<u>Abdel- Razek, A.G. et al.</u>
<u>Dora Klisovic[12]</u>	2021	OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	MAE	0.0110	g GAEg-1	<u>Tapia- Quiroset al. (2020)[29]</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	MAE	0.0295	g GAEg-1 dw	<u>Chanioti & Tzia (2018)</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	MAE	0.0032	g GAEg-1 dw	<u>Tapia- Quiroset al. (2020)</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	MAE	0.0300	g GAEg-1 dw	<u>Chanioti & Tzia (2018)</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	PLE	0.0095	g GAEg-1 dw	<u>Tapia- Quiroset al. (2020)</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	MAE	0.1570	g GAEg-1 dw	<u>da Rosaet al. (2019)</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	PLE	0.0532	g GAEg-1 dw	<u>Putniket al. (2017)</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	HPAE	0.0736	g/g	<u>Dobrincicet al. (2020)</u>
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	HVED	0.0660	g GAEg-1	<u>Zuntaret al. (2019)</u>

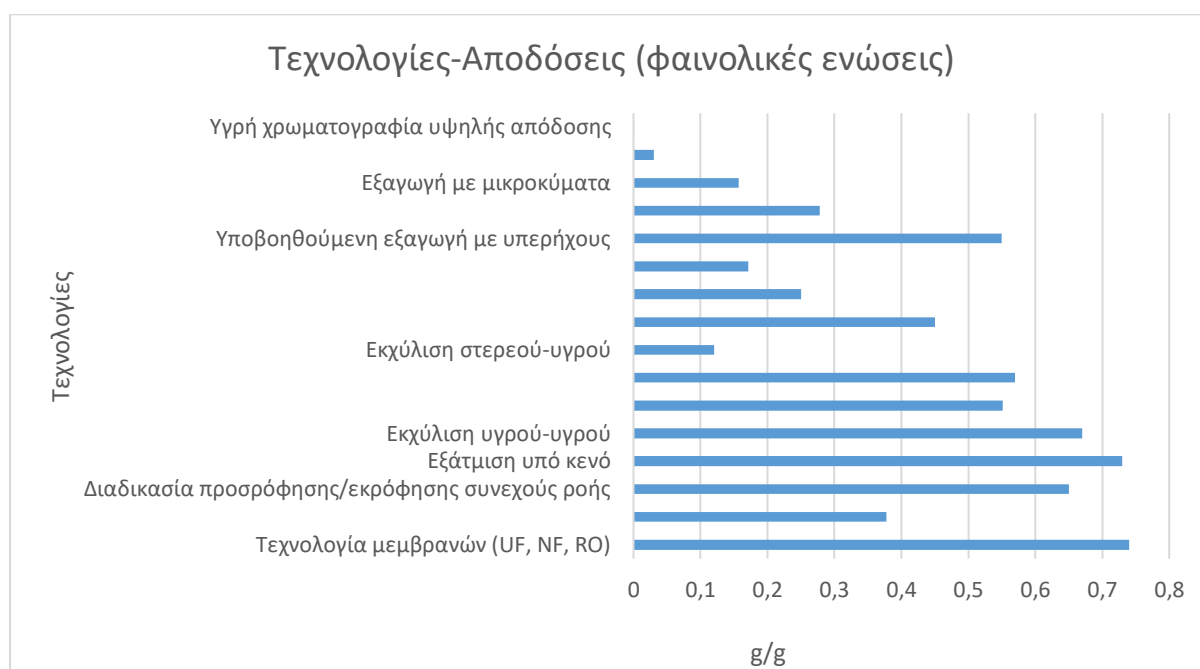
		OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Φαινολικές ενώσεις	HPLC	0.0004	g/g	<u>Abi- Khattaret al. (2019)</u>
<u>G. Rodríguez- Gutiérrez et al.[47]</u>	2012	OMW από διφασικά ελαιοτριβεία	Σάκχαρα (μονοσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες όπως η μαννιτόλη)	Υδροθερμική επεξεργασία	0.256	g/g	<u>Juan Fernández- Bolaños</u>

Review paper	Χρονιά	Είδος αποβλήτου ελαιοτριβείου	Προϊόν	Τεχνολογία	Απόδοση	Μονάδες	Ειδική αναφορά
<u>Dimitris P. Zagklis et al.[13]</u>	2015	OMW	Φαινολικές ενώσεις	Εξάτμιση υπό κενό	0.7395	g/g	<u>C.A. Paraskeva et al</u>
<u>Andrea Schievano et al.[11]</u>	2015	OMW	Βιο-έλαιο	Πυρόλυση	0.776	g/g of freeze-dried extract per raw OMW	<u>Ersan Pütün et al.</u>
<u>Cristina del Pozo et al[10]</u>	2018	OMW	Βιο-έλαιο	Πυρόλυση	0.75	g/g	<u>A.V.Bridgwater</u>
<u>Nait M'Barek, Hasna et al.[7]</u>	2020	OMW	Βιοαιθανόλη	Ενοποιημένη βιοεπεξεργασία (CBP)	0.84	g/g	
<u>S.Dermeche et al.[2]</u>	2013	Olive mill Solid residue: olive pomace	Υδροτυροσόλη	Αναερόβια ζύμωση	0.1	g/g of dry alperujo	<u>Fernández-Bolaños J</u>
<u>J.M. Romero-García et al.[9]</u>	2014	Olive stones	Αιθανόλη	Ενζυματική υδρόλυση	0.171	g/g ethanol/ OTP biomass	<u>Toledano et al. (2013)</u>

<u>Charis M. Galanakis et al.</u>	2017	Olive Mill Solid Residues	Αιθανόλη	Οξύ υδρόλυση και θέρμανση στους 160°C	0.448	g-EtOH/g-sugars	<u>Abdelghani El Asli</u>
<u>Paulina Tapia-Quirós et al[29]</u>	2022	Olive Mill Solid Residues	Φαινολικές ενώσεις	UAE	0.0197	g GAE g ⁻¹	<u>Goldsmith, C.D. et al.</u>
<u>Marianna Dourou et al.[6]</u>	2016	Μικροοργανισμοί που καλλιεργούνται σε OMW (Y. lipolytica)	Κιτρικό οξύ	OMW ως υπόστρωμα για κιτρικό οξύ	0.62	g/g of citric acid produced per unit of substrate (glycerol+reducing sugars)	<u>Sarris et al.,2011</u>

Από τα δεδομένα που εξήχθησαν από τη βιβλιογραφία, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα, το οποίο παρουσιάζει τις αποδόσεις της κάθε διαδικασίας που είχε ως παραπροϊόν τις φαινολικές ενώσεις.

Διάγραμμα 3.5: Τεχνολογίες αξιοποίησης των αποβλήτων και αποδόσεις φαινολικών ενώσεων



Από το διάγραμμα παρατηρείται πως μια τεχνολογία η οποία παρουσιάζει αυξημένη απόδοση είναι η τεχνολογία διήθησης με μεμβράνες. Αυτή η τεχνολογία επικεντρώνεται στον διαχωρισμό των διαφόρων σωματιδίων τα οποία βρίσκονται στην ίδια φάση. Οι μέθοδοι που σχετίζονται με την επεξεργασία των ΥΑΕ είναι η μικροδιήθηση (Micro-Filtration (MF)), η υπερδιήθηση (Ultra-Filtration (UF)), και η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis (RO)). Με την μικροδιήθηση διαχωρίζονται σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 2μm και άρα τα κολλοειδή συστατικά απομακρύνονται ολοκληρωτικά.

Στη συνέχεια, με την υπερδιήθηση απομακρύνονται οι αιωρούμενοι ρυπαντικοί παράγοντες, όπως είναι στην προκειμένη περίπτωση τα φαινολικά συστατικά. Με την υπερδιήθηση παράγεται ένα μικρό ποσοστό αποβλήτων, καθώς η υγρασία που παρέμεινε στο συμπύκνωμα είναι αρκετά χαμηλή, με το ξηρό στερεό υλικό να βρίσκεται κοντά στο 10%. Ωστόσο η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, καθώς συμβαίνουν ορισμένα φραξίματα των μεμβρανών, που μειώνουν την απόδοσή της.

Τέλος, η αντίστροφη ώσμωση αποτελεί μια διαδικασία διαχωρισμού που συντελεί στην ποιότητα του νερού και την επαναχρησιμοποίηση του. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και πειράματα που έχουν γίνει πάνω στον καθαρισμό των ΥΑΕ με την αντίστροφη ώσμωση, διαπιστώθηκε μείωση του COD κατά 91,5% και του BOD₅ κατά 98,2%. Σημαντικό είναι να αναφερθεί όμως, πως η ποσότητα αποβλήτων που παράγονται με αυτή τη διαδικασία είναι αρκετά υψηλή.

Έτσι έγινε χρήση εφαρμογής μιας ακολουθίας μονάδων μεμβράνης για την κλασματοποίηση των φαινολικών ενώσεων, σύμφωνα με την μελέτη των Kontos et al.[4], και προέκυψε απόδοση ίση με 0.74 g-hydrotyrosol/g-hydrotyrosol.

Ακόμα, από τη μελέτη των Paulina Tapia-Quirós et al.[29], διαπιστώνεται πως μια καλή τεχνολογία η οποία έχει αρκετά υψηλή απόδοση φαίνεται να είναι η εκχύλιση στερεού υγρού (SLE). Η εκχύλιση ή έκπλυση στερεού-υγρού είναι μια διαδικασία διαχωρισμού που επηρεάζεται από ένα ρευστό που περιλαμβάνει τη μεταφορά διαλυμένων ουσιών από μια στερεή φάση σε έναν διαλύτη. Είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη λειτουργία μονάδας για την ανάκτηση πολλών σημαντικών συστατικών τροφίμων: σακχαρόζη σε ζαχαροκάλαμο ή τεύτλα, λιπίδια από ελαιούχους σπόρους, πρωτεΐνες, φυτοχημικά από φυτά και λειτουργικά υδροκολλοειδή από φύκια, μεταξύ άλλων. Η εκχύλιση στερεού-υγρού, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων ρύπων και τοξινών που υπάρχουν σε τρόφιμα και ζωοτροφές.

Έτσι και στη συγκεκριμένη μελέτη, διαπιστώνεται ότι από τα διφασικά απόβλητα ελαιοτριβείου υπάρχει μεγάλη απόδοση στην απόκτηση φαινολικών ενώσεων και συγκεκριμένα ίση με 0,67 g/g.

Ακόμη, μια τεχνολογία που είχε εξίσου υψηλή απόδοση είναι η τεχνολογία της εξάτμισης υπό κενό. Αφορά τη διαδικασία μείωσης της πίεσης σε ένα δοχείο γεμάτο με υγρό, προκαλώντας την εξάτμιση του υπό συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας από τη κανονική. Έτσι, η μελέτη των Dimitris P. Zagklis et al.[13], παρουσιάζει την μέθοδο ανάκτησης φαινολικών ενώσεων από απόβλητα ενός ελαιοτριβείου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα κλάσμα προερχόμενο από διήθηση σε μεμβράνη. Το συμπύκνωμα της αντίστροφης ώσμωσης, ύστερα από νανοδιήθηση (Nano-Filtration (NF)), υποβλήθηκε σε περαιτέρω επεξεργασία με προσρόφηση/εκρόφηση ρητίνης. Χρησιμοποιήθηκαν μη ιονικές ρητίνες XAD4, XAD16 και XAD7HP για την ανάκτηση των φαινολικών ενώσεων και τον διαχωρισμό τους από τους υδατάνθρακες. Ύστερα, οι ανακτημένες φαινολικές ενώσεις συμπυκνώθηκαν μέσω εξάτμισης υπό κενό. Η απόδοση της μεθόδου βρέθηκε ίση με 0.731 g/g.

Αμέσως επόμενη βέλτιστη απόδοση, σύμφωνα με το διάγραμμα, παρατηρείται πως είναι η τεχνολογία υγρής εκχύλισης (Liquid-Liquid extraction). Η μελέτη διεξήχθη από τους Paulina Tapia-Quirós et al.[29] Η υγρή εκχύλιση αποτελεί μία γρήγορη φθηνή και απλή τεχνική, με χαμηλή σχετικά απόδοση ανάκτησης όταν πρόκειται για υψηλά και καθαρά λιπαρά οξέα. Αναλυτικότερα, έγινε χρήση οξικού αιθυλεστέρα και μετά από

ανάδευση, τοποθετήθηκε σε διαχωριστική χοάνη για τον διαχωρισμό. Έτσι λήφθηκαν δύο φάσεις. Η πρώτη είναι η οργανική που αντιπροσωπεύει το ανώτερο στρώμα, και κυρίως τον οξικό αιθυλεστέρα και η δεύτερη φάση αφορά το κάτω μέρος που περιέχει το υπόλοιπο OMW. Το διαχωρισμένο διάλυμα συμπυκνώθηκε σε περιστροφικό εξατμιστή υπό κενό, με στόχο την ανάκτηση των πολυφαινόλων. Η διαδικασία επαναλήφθηκε διαδοχικά τέσσερις φορές για την μέγιστη ανάκτηση των φαινολικών ενώσεων. Η συγκεκριμένη μελέτη για αυτή την τεχνολογία έδωσε απόδοση ίση με 0.67 g/g, αποτέλεσμα που υπερβαίνει τα αποτελέσματα από άλλους συγγραφείς που χρησιμοποίησαν τον ίδιο διαλύτη.

Την τεχνολογία της υγρής εκχύλισης ακολουθεί η εξαγωγή με την βοήθεια υπερήχων (Ultrasonic-assisted extraction (UAE)). Αναλυτικότερα, η διαδικασία εξαγωγής ενισχύεται με την χρήση κυμάτων υπερήχων. Βασικοί παράγοντες που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης κυμάτων υπερήχων είναι η διαταραχή των κυττάρων και η αποτελεσματική μαζική τους μεταφορά. Είναι μια απλή, οικονομική, οικολογική και αποδοτική διαδικασία, καθώς συχνά οδηγεί σε μικρότερο χρόνο εκχύλισης και υψηλότερη απόδοση. Έτσι, σε ένα ποτήρι ζέσεως που περιείχε την σκόνη αποξηραμένου πυρηνέλαιου και τον διαλύτη εκχύλισης, υποβλήθηκε σε UAE και έγινε η ανάκτηση των φαινολικών ενώσεων. Η απόδοση που προέκυψε είναι ίση με 0.55 g/g (hydroxytyrosol).

Από τις υπόλοιπες τεχνολογίες δεν προέκυψαν ικανοποιητικές αποδόσεις.

Στην συνέχεια, αναλύθηκαν τεχνολογίες που δεν έχουν ως προϊόντα τα φαινολικά. Συγκεκριμένα, μια τεχνολογία που μελετήθηκε από τους Marianna Dourou et al.[6], η οποία εφαρμόστηκε στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων, είναι η τεχνολογία της ζύμωσης, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικροβιακών λιπιδίων με απόδοση 0.07 g/g παρουσίας αποβλήτων ελαιοτριβείου. Η συγκεκριμένη τεχνολογία πραγματοποιήθηκε κάνοντας χρήση του στελέχους ζυμομύκητα *Lipomyces starkeyi* NRRL Y- 11557.

Στην ίδια μελέτη, έγινε χρήση των αποβλήτων ελαιοτριβείου εμπλουτισμένο με γλυκερόλη, με αποτέλεσμα την παραγωγή κιτρικού οξέος, με απόδοση 0.62 g/g

Ακόμα, μια μελέτη που διεξήχθη από τους S.Dermeche et al.[2], πραγματοποιήθηκε πάνω σε στερεά υπολείμματα διφασικού ελαιοτριβείου (ελαιοπυρήνα). Αναλυτικότερα, με χρήση αναερόβιας ζύμωσης προέκυψε μια υψηλή ποσότητα υδροξυτυροσόλης, η οποία δαλυτοποιήθηκε και αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η απόδοση αυτής της τεχνολογίας βρέθηκε ίση με 0,1 g/g ξηρού αλπερϋο.

Ακόμη, από τις μελέτες των Andrea Schievano et al.[11] και Cristina del Pozo et al.[10], οι οποίες επικεντρώνονται στην πυρόλυση αποβλήτων ελαιοτριβείου με στόχο την παραγωγή βιοελαίου (bio-oil) δύο φάσεων, που αποτελείται από προϊόντα προστιθέμενης αξίας. Η πυρόλυση είναι μια θερμική αποσύνθεση που πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες απουσία οξυγόνου. Ο τύπος της διαδικασίας πυρόλυσης, κυρίως η θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής στον

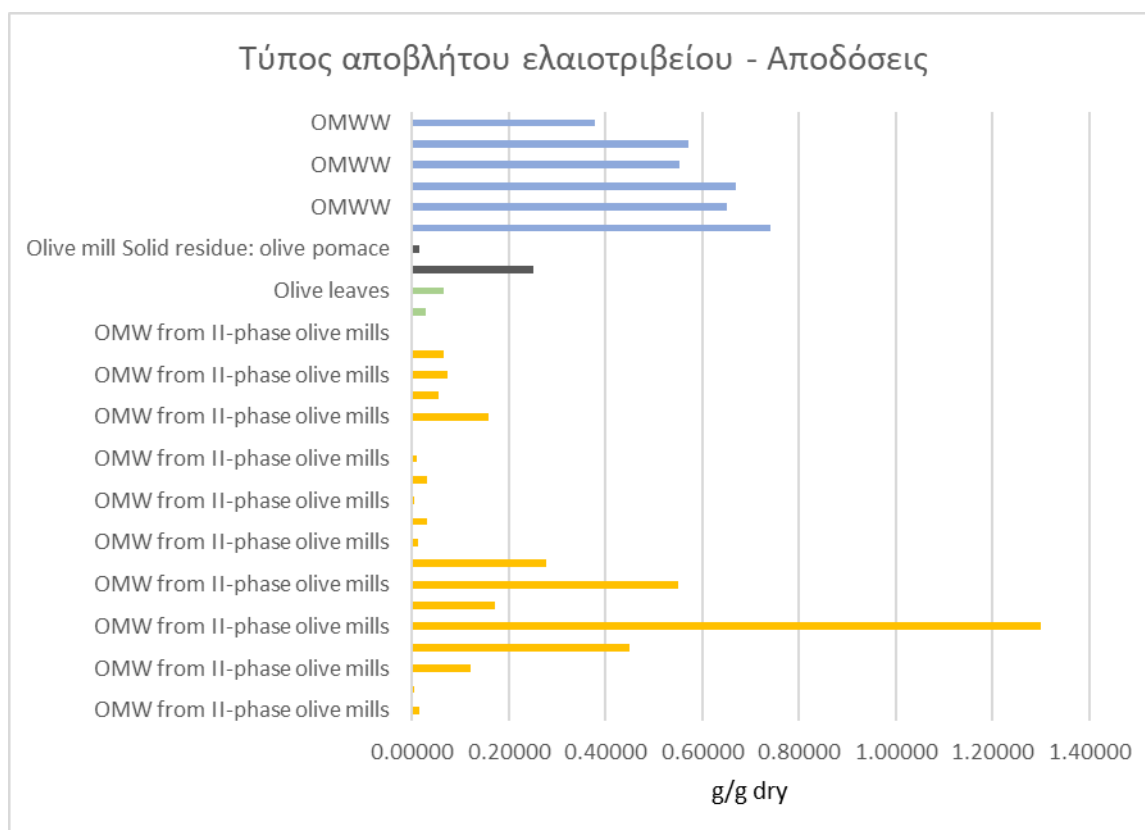
αντιδραστήρα, καθορίζουν τις ιδιότητες και την αναλογία των κλασμάτων. Οι δύο μελέτες έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα αποδόσεων: 0.78 η πρώτη και 0.75 g/g ακατέργαστου αποβλήτου ελαιотριβείου.

Μια ακόμα τεχνολογία που μελετήθηκε από τους J.M. Romero-García et al.[9] είναι η ενζυματική υδρόλυση. Σκοπός της ενζυματικής υδρόλυσης είναι η διάσπαση των δεσμών των μορίων, με την προσθήκη νερού. Η τεχνολογία αυτή είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή αιθανόλης από την υδρόλυση σε κουκούτσια ελιάς, με απόδοση 0.17 g/g.

Η παραγωγή αιθανόλης επιτεύχθηκε με υδρόλυση οξέος με απόδοση ίση με 0.45 g/g, σε μελέτη των Charis M. Galanakis et al.[3], η οποία φορά μια διαδικασία κατά την οποία ένα οξύ χρησιμοποιείται για την διάσπαση ενός χημικού δεσμού.

Επόμενο βήμα ήταν η βιβλιογραφική ανασκόπηση και η σύγκριση των αποδόσεων εκχύλισης φαινολικών ενώσεων, συγκριτικά με τον κάθε τύπο αποβλήτου ελαιотριβείου. Έτσι, κατασκευάστηκε διάγραμμα των αποδόσεων σε σχέση με τα διφασικά απόβλητα, των φύλλων ελιάς, των στερεών υπολειμμάτων ελαιотριβείου και των υγρών αποβλήτων ελαιотριβείου.

Διάγραμμα 3.6: Είδη αποβλήτων ελαιотριβείου – Αποδόσεις εκχύλισης φαινολικών ενώσεων



Διαπιστώθηκε ότι η βέλτιστη απόδοση προέκυψε στα διφασικά απόβλητα ελαιοτριβείου και ύστερα στα υγρά απόβλητα.

3.3 Δείκτες αιεφορίας

Οι δείκτες αιεφορίας είναι ουσιαστικά δείκτες προόδου. Αφορούν ορισμένα επιτεύγματα ή αλλαγές που σηματοδοτούν την πρόοδο για την επίτευξη ενός αποτελέσματος ή στόχου. Οι δείκτες που θα επιλεγούν είναι οι κατάλληλοι για τη συγκεκριμένη μελέτη, ώστε να παρθούν ορισμένα συμπεράσματα. Πρόκειται, λοιπόν, για συγκεκριμένες, επαληθεύσιμες και μετρήσιμες πτυχές που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία αξιολόγησης.

Η επιλογή των δεικτών αιεφορίας έγιναν ύστερα από βιβλιογραφική ανασκόπηση για μελέτες τεχνοοικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, με στόχο την εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί μέσω του υπολογισμού δεικτών.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που όφειλαν να έχουν οι δείκτες αιεφορίας είναι αρχικά η λειτουργικότητά τους, δηλαδή να μετρούνται σε κατάλληλη κλίμακα ώστε να διασφαλίζεται και η διαθεσιμότητα των πληροφοριών. Επιπλέον, απαιτείται ομοιογένεια, ώστε σε κάθε ομάδα κατηγορίας να επιτευχθεί συμφωνία σχετικά με το σύνολο των ομάδων δεικτών, με στόχο την σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Συγκεκριμένα, έγινε χρήση οικονομικών δεικτών, περιβαλλοντικών δεικτών και δεικτών μάζας, ενέργειας και αποβλήτων. Οι πίνακες παρακάτω παρουσιάζουν τους δείκτες που επιλέχθηκαν. [64], [65]

Πίνακας 3.3: Οικονομικοί δείκτες

Δείκτης	Μονάδα	Ορισμός
Κόστος επένδυσης ανά μονάδα βιοενέργειας	€/kWel	Η ανάπτυξη της μονάδας αποτελείται από το κόστος αγοράς εξοπλισμού και την εγκατάσταση του εξοπλισμού
Καθαρό κέρδος	€/ year	Επίπεδο κέρδους λαμβάνοντας υπόψη φόρους και αποσβέσεις.
Συνολική προστιθέμενη αξία στην οικονομία	€/ unit	Ετήσια βάση-εισόδημα εργασίας συν το φορολογούμενο κέρδος σε ετήσια βάση ανά μονάδα βιοενέργειας
Συνολικό κόστος παραγωγής	€/product unit	Το (συνολικό) κόστος παραγωγής συμπεριλαμβανομένων τόσο του σταθερού όσο και του μεταβλητού κόστους (Al Ghatta et al., 2021)
Κερδοφορία	Net profit/kg	Η ανάπτυξη της μονάδας αποτελείται από το κόστος αγοράς του εξοπλισμού και την εγκατάσταση του εξοπλισμού
Κόστος Κύκλου Ζωής (LCC)	€	Το συνολικό κόστος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής

Προστιθέμενη αξία	€	Η προστιθέμενη αξία αντιστοιχεί στη διαφορά μεταξύ της αξίας του προϊόντος και του κόστους των πρώτων υλών (Narváez Rincón et al., 2020)
Περίοδος απόσβεσης	yr	Χρόνος απόσβεσης της επένδυσης που υπολογίζεται διαιρώντας το ποσό της επένδυσης με την ετήσια ταμειακή ροή (Smith et al., 2015)
Εξωτερικό κόστος Externality cost	€	Το κόστος εξωτερικής χρήσης αναφέρεται στο κόστος που σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές εκπομπές, την ασφάλεια και την προστασία της υγείας και την οικολογική αποκατάσταση της γης (Govind Kharat et al., 2019)
Απόβλητα	€	Κόστος επεξεργασίας απορριμμάτων
Εσωτερικό ποσοστό απόδοσης	%	Ο εσωτερικός συντελεστής που δίνει NPV ίσο με μηδέν

Πίνακας 3.4: Περιβαλλοντικοί δείκτες

Δείκτης	Μονάδα	Ορισμός
Δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη	100 (kg CO ₂ eq)	Η θερμότητα που απορροφάται από οποιοδήποτε αέριο του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ως πολλαπλάσιο της θερμότητας που θα απορροφηθεί από την ίδια μάζα διοξειδίου του άνθρακα. Οι υπολογισμοί εξαρτώνται από τη χρονική κλίμακα, συνήθως 100 χρόνια, αφού τα αέρια διασπώνται στην ατμόσφαιρα ή απορροφώνται φυσικά, με διαφορετικούς ρυθμούς
Λεπτά σωματίδια	(mg PM 2.5)	Ποσότητα λεπτών σωματιδίων που εκπέμπονται
Οικοτοξικότητα του γλυκού νερού	g 1,4DCB-eq	Συνολική πιθανότητα πρόκλησης τοξικής βλάβης στο περιβάλλον
Θαλάσσια οικοτοξικότητα	g 1,4DCB-eq	Συνολική πιθανότητα πρόκλησης τοξικής βλάβης στο θαλάσσιο περιβάλλον
Οικοσυστήματα	species.yr	Επίπτωση στον κύκλο ζωής στην κατηγορία ζημιών "ποιότητα οικοσυστημάτων"
Ολικός οργανικός άνθρακας	kg	Ολική διαλυτή και αδιάλυτη οργανική ύλη που εισέρχεται σε υδάτινα σώματα
Δυνατότητα ευτροφισμού	kg of phosphate	Πιθανές επιπτώσεις σε χερσαία και υδάτινα περιβάλλοντα λόγω περίσσειας θρεπτικών συστατικών
Δυνατότητα ευτροφισμού (γλυκού) νερού	kg P eq	Δυνατότητα πρόκλησης ευτροφισμού (αύξηση φωσφόρου) του νερού
Δυνατότητα θαλάσσιου ευτροφισμού	mol N eq	Αύξηση διαλυμένου ανόργανου αζώτου στο θαλάσσιο νερό
Επίγειος ευτροφισμός	kg N equivalents	Πιθανές επιπτώσεις στο χερσαίο περιβάλλον λόγω περίσσειας θρεπτικών συστατικών
Δυνατότητα εξάντλησης πόρων	kg Sb eq	Εξάντληση μεταλλικών και ορυκτών πόρων

Δυνατότητα εξάντλησης του νερού	m ³ eq	Σχεδίαση γλυκού νερού που χαρακτηρίζεται από προσαρμοσμένη στη σπανιότητα ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται από το Swiss Ecoscarcity 2006
---------------------------------	-------------------	--

Πίνακας 3.5: Δείκτες Μάζας, Ενέργειας, Αποβλήτων

Δείκτης	Μονάδα	Ορισμός
Παραγωγή απορριμμάτων	kg/year	Ο δείκτης αναφέρεται στην παραγωγή υποπροϊόντων πίσσας, τέφρας και σωματιδίων
Απόδοση νερού	kg/kg	Η μάζα του νερού που καταναλώνεται στη συνολική μάζα του προϊόντος που παράγεται από τη διαδικασία
Ενεργειακή απόδοση	kWh/kWh or %	Η ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις εξωτερικές όσο και τις εσωτερικές πηγές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) στη συνολική κατανάλωση ενέργειας
Μαζική απόδοση πόρων (αναφορά στην πρωτογενή πρώτη ύλη)	kg/kg	Η συνολική μάζα των προϊόντων που προέρχονται από τη διαδικασία στη συνολική μάζα των ανανεώσιμων πηγών που χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτη ύλη (πρώτες ύλες) στη διαδικασία
Κατανάλωση νερού	m ³	Ποσότητα νερού που καταναλώνεται από μια διαδικασία, προϊόν ή σύστημα
Ποσότητα αποβλήτων (στερεών/νερού).	kg or %	Μάζα απορριμμάτων που δημιουργείται π.χ. στερεά απόβλητα ή λύματα
Καθαρή μάζα υλικών που καταναλώθηκαν	Kg	Μάζα υλικών που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής (Curzons et al., 2007)
E-factor	%	Ο λόγος της μάζας των απορριμμάτων ανά μάζα προϊόντος (Sheldon, 2018)
Απαίτηση ενέργειας	MJ/kg	Ενέργεια που καταναλώνεται σε μια διαδικασία
Απόδοση εκχύλισης	%	Απόδοση ή αποτελεσματικότητα μιας διαδικασίας εκχύλισης
Κατανάλωση ενέργειας	kWh or MJ	Μέτρο της ενέργειας που καταναλώνεται από μια διαδικασία, προϊόν ή σύστημα

3.4 Ανάλυση βιωσιμότητας

Στη συνέχεια, ακολούθησε η μελέτη βιωσιμότητας, με στόχο τον υπολογισμό ορισμένων από τους επιλεγμένους δείκτες.

Με την κατάλληλη έρευνα που διεξήχθη, η οποία αναλύθηκε περαιτέρω παραπάνω, και με βάση τις μελέτες που προέκυψαν, επιτεύχθηκε ο εντοπισμός και η ανάλυση της βιωσιμότητας των τεχνολογιών που έχουν χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τους δείκτες που επιλέχθηκαν. Έτσι, σύμφωνα με τον αριθμό των ακαδημαϊκών άρθρων που εντοπίστηκαν, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα, έγινε χρήση 5 διαφορετικών εργασιών, από τις συνολικά 11 εργασίες, λόγω είτε ελλιπών δεδομένων, είτε αδυναμίας αναγωγής δεδομένων στις προαναφερθείσες τιμές αναφοράς. Στόχος αυτού είναι η πιο άμεση σύγκριση των δεδομένων. Έτσι δημιουργήθηκε ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 3.6). Αρχικά, ως πρώτη στήλη ορίστηκαν οι μελέτες της κάθε έρευνας, όπου αναγράφεται και η χρονολογία της έκδοσης. Ακολουθεί το είδος του αποβλήτου ελαιοτριβείου που εισήχθη σαν πρώτη ύλη (Feedstock) που αναλύει η κάθε μελέτη και στην συνέχεια το κάθε σενάριο εν συντομία. Επιπλέον, αναφέρεται το προϊόν που παράγεται (Bioproduct), και η τεχνολογία (Technology) που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του αποβλήτου.

Σε συνέχεια των παραπάνω, ύστερα από την μελέτη κάθε εργασίας και τον εντοπισμό των κατάλληλων δεδομένων όπως η παραγωγή υγρών και στερεών αποβλήτων, την ενεργειακή απόδοση κάθε τεχνολογίας και την κατανάλωση ενέργειας, υπολογίστηκαν ορισμένοι δείκτες. Συγκεκριμένα, μελετάται ο δείκτης της κλιματικής αλλαγής (Global Warming Potential-GWP), η κατανάλωση ενέργειας ως προς τις πρώτες ύλες (Energy Consumption/Feedstock), η απόδοση του προϊόντος (product yield) καθώς και η αναλογία των αποβλήτων ανά προϊόν (Waste per Product ratio). Συνεπώς, τα διαγράμματα που ακολουθούν αφορούν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των σεναρίων, με τα όρια του συστήματος να ξεκινούν από την παραγωγή των αποβλήτων ελαιοτριβείου, με τιμές κανονικοποιημένες σε 1 κιλό αποβλήτων ελαιοτριβείου, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω.

Πίνακας 3.6: Αξιολόγηση Δεικτών [33], [30], [17], [14], [35]

Μελέτες		Goal and Scope				Κλιματική Αλλαγή	Κατανάλωση Ενέργειας/ Πρώτες ύλες	Απόδοση προϊόντος
ID	Reference	Feedstock	Σενάρια	Bio-Product	Τεχνολογία	(kg CO ² eq)	kWh/kg OWM	t-product/t-raw material
1	Mendecka et al. (2020)	Πυρήνας ελιάς	HTC260/HR/Wood Pellet	Υδρογονάνθρακας	Υδροθερμική ενανθράκωση (HTC)	0.469	1.19	0.422
			HTC280/HR/Wood Pellet			0.546		
			HTC305/HR/Wood Pellet			0.61		
			HTC260/HR/HTC Pellet			0.491	1.408	
			HTC280/HR/HTC Pellet			0.55		
			HTC305/HR/HTC Pellet			0.579	1.587	0.455
			HTC260/no HR/Wood Pellet			0.922		
			HTC280/no HR/Wood Pellet			0.998	2.49	
			HTC305/no HR/Wood Pellet			1.02		
			HTC260/no HR/HTC Pellet			0.97		
			HTC280/no HR/HTC Pellet			1.01	2.77	
			HTC305/no HR/HTC Pellet			0.97		
2	Ali El Hanandeh et al. (2014)	Στερεά απόλητα ελιάς	Κατασκευή και χρήση μπρικέτας για οικιακή θέρμανση σε οικιακή σόμπα στερεών καυσίμων	Ενέργεια	Μπρικετοποίηση	-0.58	0.573	0.39
			Παραγωγή και χρήση πέλλετ σε νερό βιομάζας οικιακής χρήσης θερμάστρας	Ενέργεια	Χρήση Πέλλετ	-1.057	0.58	0.39
			Κατασκευή pellets και χρήση σε βιομηχανικούς λέβητες	Ενέργεια	Χρήση Πέλλετ	0.05	0.58	0.39
			Πυρόλυση σε κινητές μονάδες και χρήση βιοελαίου και άνθρακα ως υποκατάστατα ενέργειας	Βιο-έλαιο και βιο-άνθρακας	Πυρόλυση	-0.15	0.425	0.262
			Η τρέχουσα βέλτιστη πρακτική του κλάδου της κομποστοποίησης	Κομπόστ	Κομποστοποίηση	-0.0124	0	0.56

3	Benavente et al. (2016)	OMW	Συνκομποστοποίηση OMW με άλλα αγροτικά απόβλητα (B1)	Κομπόστ	Κομποστοποίηση	0.4		
			Αναερόβια χώνευση του OMW με επακόλουθη αερόβια κομποστοποίηση του χωνεμένου υπολείμματος (B2)	Βιοαέριο και κομπόστ	Αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση	0.35		
			Αναερόβια χώνευση OMW προεπεξεργασμένου με χρήση καταλυτικής οξείδωσης ακολουθώντας τη διαδικασία τύπου Fenton για μεγιστοποίηση της αναερόβιας αποικοδόμησης, με επακόλουθη κομποστοποίηση του χωνεμένου υπολείμματος (B3)	Βιοαέριο και κομπόστ	Αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση	0.28		
			Αποτέφρωση OMW με ανάκτηση ενέργειας (T1)	Ενέργεια	Αποτέφρωση	-0.2	0.88	
			Εξόρυξη πυρηνελαίου από το OMW, ακολουθούμενη από αποτέφρωση απορριμμάτων με ανάκτηση ενέργειας (T2)	Ενέργεια	Αποτέφρωση	-0.15	0.93	
			HTC του OMW με επακόλουθη αποτέφρωση υδρογονανθράκων με ανάκτηση ενέργειας (T3)	Υδρογονάνθρακας	Θερμική ενανθράκωση (-0.1	0.61	
4	M. Orive et al. (2016)	Two-phase Olive Oil Mill Pomace	Αναερόβια μονοπέψη (AmoD) ιλύος χοίρου (PS)	Βιοαέριο και κομπόστ	Αναερόβια μονο-πέψη		0.11	0.18
			Αναερόβια συν-πέψη (AcoD) πυρηνελαίου δύο φάσεων (TROP)	Βιοαέριο και κομπόστ	Αναερόβια συνπέψη		0.17	0.25
5	Tasionas et al. (2019)	OMW	Παραγωγή ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης στερεών αποβλήτων	Βιοαέριο	Αναερόβια χώνευση		0.43	0.58

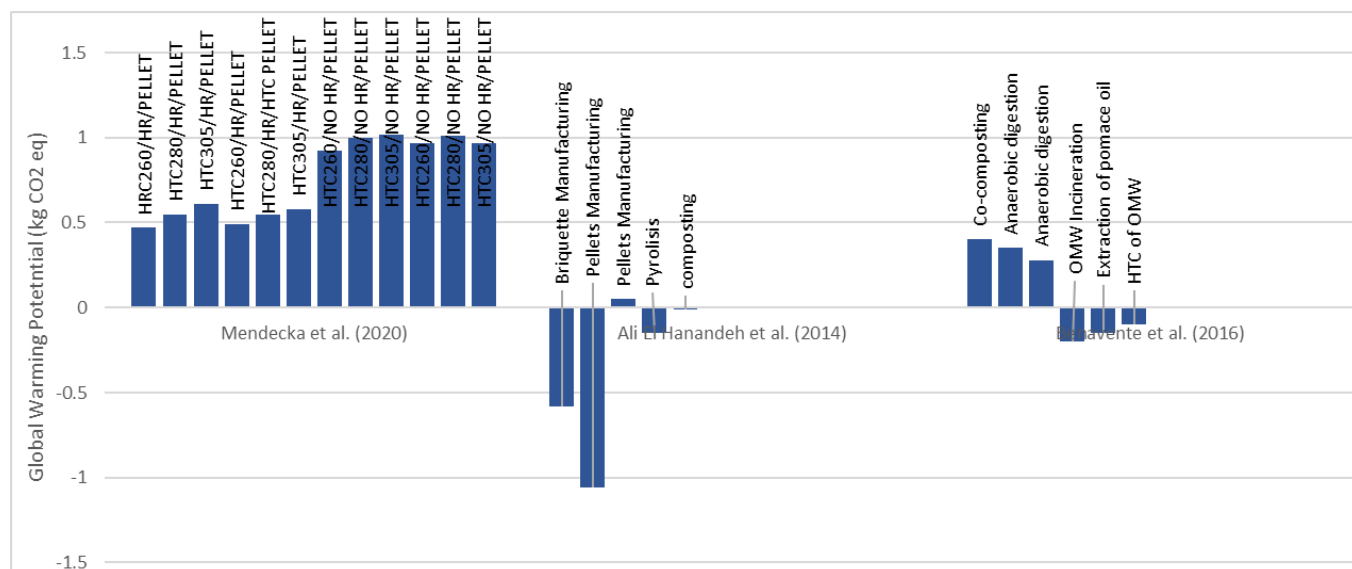
3.4.1 Κλιματική Αλλαγή

Ο περιβαλλοντικός δείκτης “Κλιματική Αλλαγή” αφορά την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, με μονάδες μετρήσεις τα ισοδύναμα κιλά διοξειδίου του άνθρακα (kg CO₂ eq).

Να σημειωθεί ότι στους περιβαλλοντικούς δείκτες αξιοποιήθηκε μόνο το GWP (ενδεχόμενο υπερθέρμανσης του πλανήτη), ο οποίος είναι ο δείκτης που προτείνεται περισσότερο. Αναπτύχθηκε ώστε να γίνονται συγκρίσεις των επιπτώσεων διαφόρων αερίων στην υπερθέρμανσης του πλανήτη. Συγκεκριμένα, σχετίζεται με το ποσό ενέργειας που απορροφούν οι εκπομπές ενός τόνου αερίου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο, σε σχέση με τις εκπομπές ενός τόνου διοξειδίου του άνθρακα. Όσο μεγαλύτερο είναι το GWP, τόσο περισσότερα ένα δεδομένο αέριο θερμαίνει τη Γη σε σύγκριση με το CO₂ κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου.

Παρακάτω παρατίθεται το διαγράμματα που προέκυψε από τον παραπάνω πίνακα:

Διάγραμμα 3.7: Αποτελέσματα δείκτη «Κλιματική Αλλαγή»



Στην ετικέτα κάθε ράβδου αναγράφεται εν συντομία το κάθε σενάριο αξιοποίησης του αποβλήτου, και στην βάση του διαγράμματος τοποθετούνται οι συγγραφείς της κάθε εργασίας και ομαδοποιούν οπτικά τα σενάρια του διαγράμματος.

Παρατηρείται πως, λόγω διαφορετικών συνθηκών της κάθε μελέτης, χρονολογία ακόμα και τοποθεσία, δεν είναι εφικτή η απευθείας σύγκριση μεταξύ τους. Συνεπώς είναι δυνατό να συγκριθούν τα σενάρια εντός της κάθε μελέτης ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Ακόμα, αφού μιλάμε για επέκταση των ορίων του συστήματος, στην μελέτη των Ali El Hanandeh et al. (2014) [30] παρατηρείται πως η μέθοδος κατασκευής πέλλετ και η χρήση του σε βιομηχανικούς λέβητες, η πυρόλυση και η κομποστοποίηση,

παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές μεταξύ των σεναρίων. Επιπλέον, η κατασκευή και χρήση μπρικέτας για οικιακή θέρμανση, παρουσιάζει την μεγαλύτερη αρνητική τιμή, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι η λιγότερη επιβαρυντική μέθοδος αξιοποίησης του αποβλήτου.

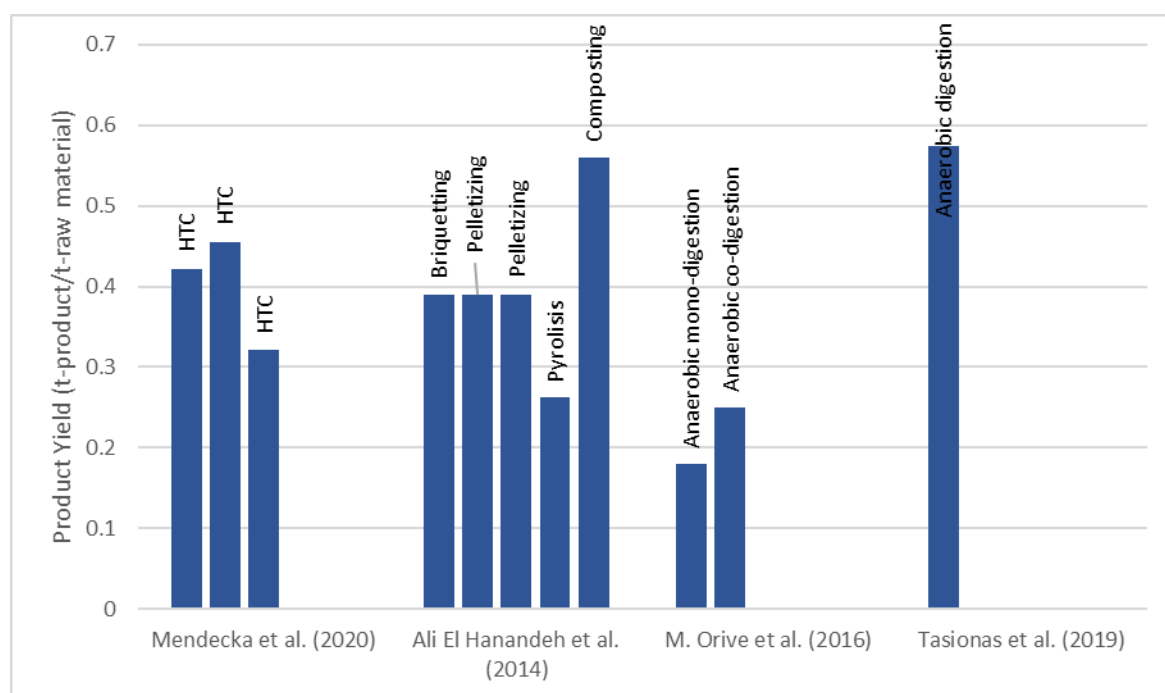
Επιπλέον, με βάση τη μελέτη των Benavente et al. (2016) [17], παρατηρείται πως η αναερόβια χώνευση των αποβλήτων ελαιοτριβείου με χρήση καταλυτικής οξείδωσης ακολουθώντας τη διαδικασία τύπου Fenton, με επακόλουθη κομποστοποίηση του χωνεμένου υπολείμματος, αποδίδει καλύτερα σε σχέση με την συνκομποστοποίηση των αποβλήτων ελαιοτριβείου με άλλα αγροτικά απόβλητα.

Τέλος, από το διάγραμμα φαίνεται ότι η υδροθερμική ενανθράκωση στους 305°C και πιο συγκεκριμένα με την αντικατάσταση του άνθρακα με πέλλετ στην παραγωγή θερμότητας, ακολουθούμενο από πέλλετ ξύλου και φυσικό αέριο, στην μελέτη των Mendacka et al. (2020) [33], παρουσιάζει υψηλές τιμές του περιβαλλοντικού δείκτη και συνεπώς αποτελεί την πιο επιβαρυντική περιβαλλοντικά λύση αξιοποίησης του αποβλήτου.

3.4.2 Απόδοση προϊόντος

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα που σχετίζεται με τις αποδόσεις των προϊόντων στην ανάκτηση φαινολικών ενώσεων. Οι βέλτιστες αποδόσεις εντοπίζονται στις περιπτώσεις που η παραγωγή του προϊόντος είναι περίπου ίσο με την παραγωγή αποβλήτου.

Διάγραμμα 3.8: Απόδοση προϊόντος (t-product/t-raw material)



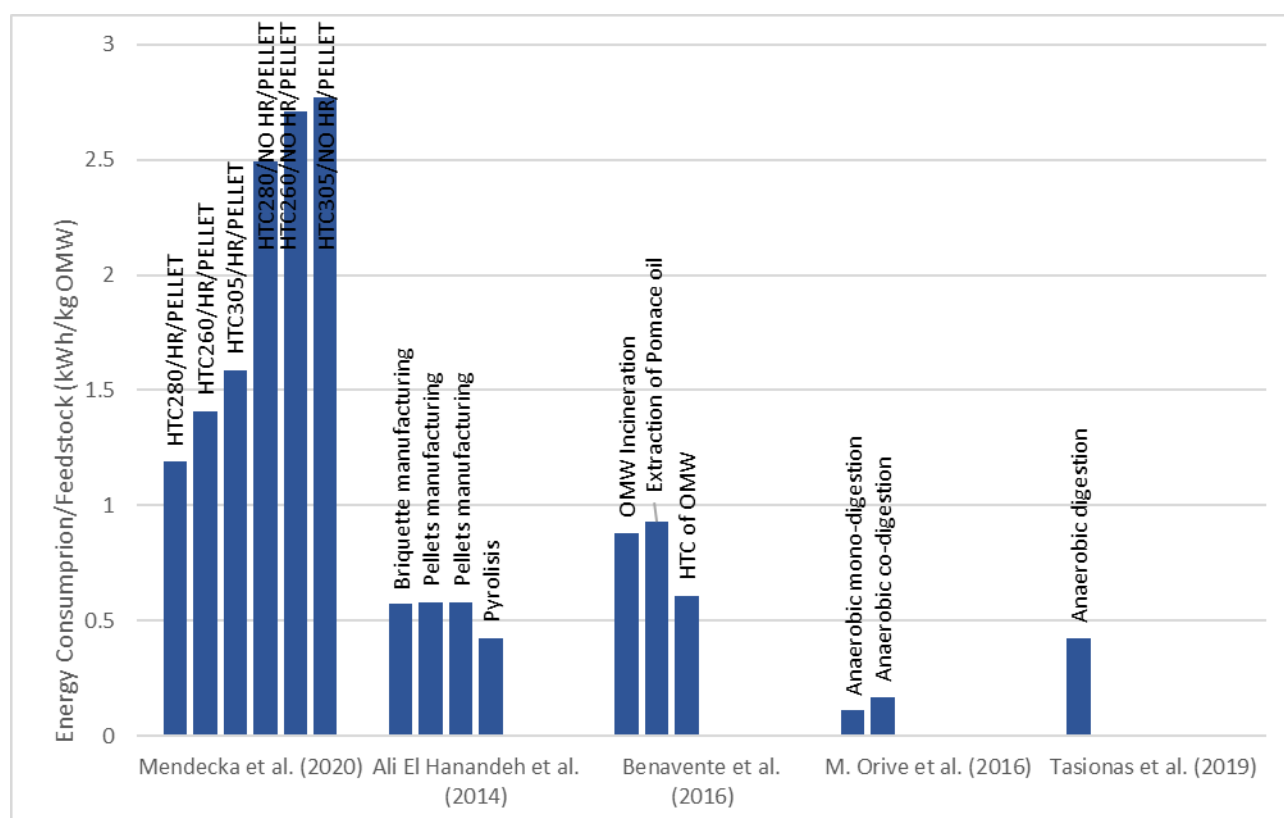
Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται πως οι μελέτες που αποδίδουν υψηλότερες αποδόσεις είναι αυτές των Ali El Hanandeh et al. (2014) και Tasionas et al. (2019) [35] με χρήση τεχνολογιών Κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης αντίστοιχα. Παρατηρείται πως οι τιμές κυμαίνονται κοντά στην μονάδα, γεγονός που αποδεικνύει πως η παραγωγή προϊόντος είναι περίπου ίση με την παραγωγή αποβλήτων, γεγονός επιθυμητό.

Αξιοσημείωτο είναι πως η αναερόβια μονό-πέψη της μελέτης των M. Orive et al. (2016) [14] έχει σημαντικά μειωμένη απόδοση, και συμπεραίνουμε πως η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή του προϊόντος.

3.4.3 Κατανάλωση ενέργειας

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα που σχετίζεται με την ενεργειακή απόδοση της εκάστοτε τεχνολογίας που μελετήθηκε.

Διάγραμμα 3.9: Κατανάλωση Ενέργειας ανά πρώτη ύλη (kWh/kg OWM)



Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως οι μελέτες που παρουσιάζουν την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας αποβλήτων ελαιοτριβείου είναι αυτές των M. Orive et al. (2016) και των Tasionas et al. (2019). Η πρώτη μελέτη αφορά αναερόβια μονόπεψη ιλύος χοίρου, καθώς και αναερόβια συν-χώνευση

πυρηνελαίου δύο φάσεων. Και στις δύο περιπτώσεις προκύπτει παραπροϊόν βιοαέριο και κομπόστ.

Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί πως και οι υπόλοιπες μελέτες έχουν ικανοποιητική ενεργειακή απόδοση, με εξαίρεση τη μελέτη των Mendeka et al. (2020) στην οποία γίνεται χρήση Υδροθερμικής ενανθράκωσης με χρήση πέλλετ. Παρατηρείται υψηλή ενεργειακή απόδοση και συνεπώς κατατάσσεται στις λιγότερο αποδοτικές μελέτες.

Παρατηρείται λοιπόν, πως λόγω τόσο της μεγάλης ποσότητας των αποβλήτων ελαιοτριβείων όσο και της χημικής τους σύστασης, αποτελούν βασικό περιβαλλοντικό πρόβλημα. Ωστόσο, χάρη στην σύστασή τους για παραγωγή βιοαυσίμων και βιοπροϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, καθίστανται ιδανικά για την αξιοποίησή τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα κεφάλαια που προηγήθηκαν, παρουσιάστηκαν εισαγωγικά στοιχεία, μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την αξιοποίηση των αποβλήτων ελαιотριβείου. Ακόμα, μέσω σύγκρισης σεναρίων αξιοποίησης αποβλήτων επιχειρήθηκε η ανάδειξη των πιο βιώσιμων περιβαλλοντικά, οικονομικά και ενεργειακά λύσεων.

Η συγκεκριμένη μελέτη γίνεται με αφορμή τον μεγάλο όγκο αποβλήτων που παράγεται από τα ελαιотριβεία και στην ανάγκη διάθεσής τους, με παράδειγμα την Ευρώπη που έφτασαν τους 1,389,000 τόνους το 2022. Συγκεκριμένα, για κάθε τόνο ελαιόκαρπου παράγονται περίπου 200 κιλά λαδιού καθώς και 400-1200 λίτρα υγρών αποβλήτων και 400-800 κιλά στερεά απόβλητα.

Η μεγάλη ποσότητα αποβλήτων που παράγεται, συνδυαστικά με την χημική τους σύσταση, τα καθιστά ως τοξικά και δύσκολα αποικοδομήσιμα, λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου και συγκέντρωσης οξέων. Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό, πως το πρόβλημα που προκύπτει από τη ρύπανση των ελαιотριβείων, χρήζει αντιμετώπισης. Η ευνοϊκή τους χημική σύσταση τους για παραγωγή βιοκαυσίμων και βιοπροϊόντων υψηλής αξίας, τα καθιστά ακόμα πιο ιδανικά για την αξιοποίηση τους.

Η οικολογικότερη επιλογή επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι αυτή της διφασικής μεθόδου, καθώς παράγει μειωμένη ποσότητα υγρών αποβλήτων καθώς και βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου συγκριτικά με άλλες μεθόδους. Η βέλτιστη επιλογή μεθόδου επεξεργασίας αποβλήτων ελαιотριβείου βασίζεται στην ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων που βρίσκονται υπό επεξεργασία. Πρέπει να σημειωθεί πως τα παραπροϊόντα που μελετήθηκαν εκτενώς στη συγκεκριμένη διπλωματική είναι οι φαινολικές ενώσεις, λόγω περισσότερων σχετικών βιβλιογραφικών δεδομένων.

Συγκεκριμένα, οι φαινολικές ενώσεις που βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες στα ελαιουργικά απόβλητα, με πιο συχνές την τυροσόλη και την υδροτυροσόλη, είναι υδατοδιάλυτες. Η βιβλιογραφική έρευνα ανέδειξε την εκχύλιση με διήθηση μεμβράνης, η οποία επικεντρώνεται στον διαχωρισμό διαφόρων σωματιδίων της ίδιας φάσης, με στόχο την κλασματοποίηση των φαινολικών ενώσεων, ως την πιο αποδοτική μέθοδο, ακολουθούμενη από τις τεχνολογίες εκχύλισης στερεού-υγρού, εκχύλισης υγρού-υγρού και την υποβοηθούμενη από υπερήχους εκχύλιση.

Μετέπειτα, ακολούθησε η μελέτη βιωσιμότητας, με στόχο τον υπολογισμό επιλεγμένων δεικτών αειφορίας, οι οποίοι αφορούν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα σεναρίων, με όρια συστήματος που ξεκινούν από την παραγωγή των αποβλήτων ελαιотριβείου, αποκλείοντας την εξαγωγή του ελαιόλαδου (upstream processes) και θέτοντας ως λειτουργική μονάδα το 1 κιλό αποβλήτων ελαιотριβείου, όπως έχει προαναφερθεί.

Συγκεκριμένα, σχετικά με τον περιβαλλοντικό δείκτη της «Κλιματική Αλλαγή» παρατηρήθηκαν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε κάθε σενάριο, με την μέθοδο κατασκευής πέλλετ να αποδίδει καλύτερα συγκρινόμενη με θερμοχημικές μεθόδους και την κομποστοποίηση. Ακόμα, η απευθείας καύση του αποβλήτου και η υδροθερμική ενανθράκωση είναι περισσότερο περιβαλλοντικά φιλικές μέθοδοι αξιοποίησης του αποβλήτου σε σχέση με μεθόδους βιολογικής μετατροπής, με την υδροθερμική ενανθράκωση να παρουσιάζει καλύτερη απόδοση σε σενάρια που συνδυάζεται με ανάκτηση ενέργειας.

Σχετικά με τον δείκτη απόδοσης, η μέθοδος της κομποστοποίησης φαίνεται να παρουσιάζει την καλύτερη τιμή του λόγου προϊόν ανά πρώτη ύλη. Υπερέχει έναντι της μεθόδου αξιοποίησης για παραγωγή μπρικετών και πέλλετ καθώς και της πυρόλυσης, υδροθερμικής ενανθράκωσης και αναερόβιας χώνευσης, με την αναερόβια συγχώνευση να αποδίδει καλύτερα.

Τέλος, ως προς την κατανάλωση ενέργειας, συμπεραίνουμε ότι τις λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις συγκεντρώνουν οι μέθοδοι βιολογικής μετατροπής, ακολουθούμενες από την παραγωγή μπρικετών και πέλλετ, τις θερμοχημικές μεθόδους της πυρόλυσης και της απευθείας καύσης και την υδροθερμική ενανθράκωση, ιδίως όταν εκείνη συνδυάζεται σε σενάρια αξιοποίησης χωρίς την ανάκτηση ενέργειας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ

- [1] Christoforou, E., & Fokaides, P. A. (2016). A review of olive mill solid wastes to energy utilization techniques. *Waste Management*, 49, 346-363.
- [2] Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Moulti-Mati, F., & Michaud, P. (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process biochemistry*, 48(10), 1532-1552.
- [3] Doula, M. K., Moreno-Ortego, J. L., Tinivella, F., Inglezakis, V. J., Sarris, A., & Komnitsas, K. (2017). Olive mill waste: Recent advances for the sustainable development of olive oil industry. *Olive mill waste*, 29-56.
- [4] Kontos, S. S., Katrivesis, F. K., Constantinou, T. C., Zoga, C. A., Ioannou, I. S., Koutsoukos, P. G., & Paraskeva, C. A. (2018). Implementation of membrane filtration and melt crystallization for the effective treatment and valorization of olive mill wastewaters. *Separation and Purification Technology*, 193, 103-111.
- [5] Ghilardi, C., Sanmartin Negrete, P., Carelli, A. A., & Borroni, V. (2020). Evaluation of olive mill waste as substrate for carotenoid production by *Rhodotorula mucilaginosa*. *Bioresources and Bioprocessing*, 7(1), 1-11.
- [6] Dourou, M., Kancelista, A., Juszczuk, P., Sarris, D., Bellou, S., Triantaphyllidou, I. E., ... & Aggelis, G. (2016). Bioconversion of olive mill wastewater into high-added value products. *Journal of Cleaner Production*, 139, 957-969.
- [7] M'barek, H. N., Arif, S., Taidi, B., & Hajjaj, H. (2020). Consolidated bioethanol production from olive mill waste: Wood-decay fungi from central Morocco as promising decomposition and fermentation biocatalysts. *Biotechnology Reports*, 28, e00541.
- [8] Ahmed, P. M., Fernández, P. M., Castellanos, L. I., & Pajot, H. F. (2019). Exploitation alternatives of olive mill wastewater: Production of value-added compounds useful for industry and agriculture.
- [9] Romero-García, J. M., Niño, L., Martínez-Patiño, C., Álvarez, C., Castro, E., & Negro, M. J. (2014). Biorefinery based on olive biomass. State of the art and future trends. *Bioresource Technology*, 159, 421-432.
- [10] del Pozo, C., Bartrolí, J., Puy, N., & Fàbregas, E. (2018). Separation of value-added chemical groups from bio-oil of olive mill waste. *Industrial Crops and Products*, 125, 160-167.
- [11] Schievano, A., Adani, F., Buessing, L., Botto, A., Casoliba, E. N., Rossoni, M., & Goldfarb, J. L. (2015). An integrated biorefinery concept for olive mill waste management: supercritical CO₂ extraction and energy recovery. *Green Chemistry*, 17(5), 2874-2887.
- [12] Klisović, D., Novoselić, A., Režek Jambrak, A., & Brkić Bubola, K. (2021). The utilisation solutions of olive mill by-products in the terms of sustainable olive oil production: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(10), 4851-4860.
- [13] Zagklis, D. P., Vavouraki, A. I., Kornaros, M. E., & Paraskeva, C. A. (2015). Purification of olive mill wastewater phenols through membrane filtration and resin adsorption/desorption. *Journal of hazardous materials*, 285, 69-76.
- [14] Orive, M., Cebrián, M., & Zufia, J. (2016). Techno-economic anaerobic co-digestion feasibility study for two-phase olive oil mill pomace and pig slurry. *Renewable Energy*, 97, 532-540.

- [15]Song, B., Lin, R., Lam, C. H., Wu, H., Tsui, T. H., & Yu, Y. (2021). Recent advances and challenges of inter-disciplinary biomass valorization by integrating hydrothermal and biological techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110370.
- [16]Benavente, V., Fullana, A., & Berge, N. D. (2017). Life cycle analysis of hydrothermal carbonization of olive mill waste: Comparison with current management approaches. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2637-2648.
- [17]Benavente Domenech, V., Fullana, A., & Berge, N. D. (2017). Life cycle analysis of hydrothermal carbonization of olive mill waste: Comparison with current management approaches.
- [18]Wang, Q., Wu, S., Cui, D., Zhou, H., Wu, D., Pan, S., ... & Wang, Z. (2022). Co-hydrothermal carbonization of organic solid wastes to hydrochar as potential fuel: a review. *Science of the Total Environment*, 850, 158034.
- [19]Castellani, F., Esposito, A., Geldermann, J., & Altieri, R. (2019). Life cycle assessment of passively aerated composting in gas-permeable bags of olive mill waste. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 281-296.
- [20]Blanco, I., De Bellis, L., & Luvisi, A. (2022). Bibliometric Mapping of Research on Life Cycle Assessment of Olive Oil Supply Chain. *Sustainability*, 14(7), 3747.
- [21]Serafini, L. F., Feliciano, M., Rodrigues, M. A., & Gonçalves, A. (2023). Systematic Review and Meta-Analysis on the Use of LCA to Assess the Environmental Impacts of the Composting Process. *Sustainability*, 15(2), 1394.
- [22]Lanfranchi, M., Giannetto, C., & De Pascale, A. (2016). Economic analysis and energy valorization of by-products of the olive oil process: "Valdemone DOP" extra virgin olive oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1227-1236.
- [23]Lanfranchi, M., Schimmenti, E., & Giannetto, C. (2018). Economic analysis and energy valorisation of by-products of the wine supply chain: the case of the 'Mamertino wine PDO'. *International Journal of Environmental Studies*, 75(5), 800-811.
- [24]Khdair, A., & Abu-Rumman, G. (2020). Sustainable environmental management and valorization options for olive mill byproducts in the Middle East and North Africa (MENA) region. *Processes*, 8(6), 671.
- [25]Solomakou, N., & Goula, A. M. (2021). Treatment of olive mill wastewater by adsorption of phenolic compounds. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20(3), 839-863.
- [26]Shabir, S., Ilyas, N., Saeed, M., Bibi, F., Sayyed, R. Z., & Almalki, W. H. (2023). Treatment technologies for olive mill wastewater with impacts on plants. *Environmental Research*, 216, 114399.
- [27]Gueboudji, Z., Addad, D., Kadi, K., Nagaz, K., Secrafi, M., Yahya, L. B., ... & Abdelmalek, A. (2022). Biological activities and phenolic compounds of olive oil mill wastewater from Abani, endemic Algerian variety. *Scientific Reports*, 12(1), 6042.
- [28]La Scalia, G., Micale, R., Cannizzaro, L., & Marra, F. P. (2017). A sustainable phenolic compound extraction system from olive oil mill wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3782-3788.
- [29]Tapia-Quirós, P., Montenegro-Landívar, M. F., Reig, M., Vecino, X., Cortina, J. L., Saurina, J., & Granados, M. (2022). Recovery of polyphenols from agri-food by-products: The olive oil and winery industries cases. *Foods*, 11(3), 362.
- [30]El Hanandeh, A. (2015). Energy recovery alternatives for the sustainable management of olive oil industry waste in Australia: life cycle assessment. *Journal of cleaner production*, 91, 78-88.
- [31]Fokaides, P. A. (2017). Energy recovery alternatives for the sustainable management of olive oil industry. In *Olive Mill Waste* (pp. 79-96). Academic Press.

- [32]Su, Z., Zhang, M., Xu, P., Zhao, Z., Wang, Z., Huang, H., & Ouyang, T. (2021). Opportunities and strategies for multigrade waste heat utilization in various industries: A recent review. *Energy Conversion and Management*, 229, 113769.
- [33]Mendecka, B., Lombardi, L., Micali, F., & De Risi, A. (2020). Energy recovery from olive pomace by hydrothermal carbonization on hypothetical industrial scale: a LCA perspective. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 5503-5519.
- [34]Ramos, J. S., & Ferreira, A. F. (2022). Techno-economic analysis and life cycle assessment of olive and wine industry co-products valorisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111929.
- [35]Dounavis, A. S. (2019). Techno-economic Analysis of the Olive Oil Mills Waste Valorisation for Energy Production: A Case Study of Corfu. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(4), 18-29.
- [36]Marquina, J., Colinet, M. J., & Pablo-Romero, M. D. P. (2021). The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111278.
- [37]Khan, M. S. A., Grioui, N., Halouani, K., & Benelmir, R. (2022). Techno-economic analysis of production of bio-oil from catalytic pyrolysis of olive mill wastewater sludge with two different cooling mechanisms. *Energy Conversion and Management: X*, 13, 100170.
- [38]Fracari, D., Molina Bacca, A. E., Wardenaar, T., Oertlé, E., & Pinelli, D. (2019). Continuous flow adsorption of phenolic compounds from olive mill wastewater with resin XAD16N: Life cycle assessment, cost-benefit analysis and process optimization. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(6), 1968-1981.
- [39]Caldeira, C., Vlysidis, A., Fiore, G., De Laurentiis, V., Vignali, G., & Sala, S. (2020). Sustainability of food waste biorefinery: A review on valorisation pathways, techno-economic constraints, and environmental assessment. *Bioresource Technology*, 312, 123575
- [40]Tsarouhas, P., Achillas, C., Aidonis, D., Folinas, D., & Maslis, V. (2015). Life Cycle Assessment of olive oil production in Greece. *Journal of cleaner production*, 93, 75-83.
- [41]Serra-Majem, L., Tomaino, L., Dernini, S., Berry, E. M., Lairon, D., Ngo de la Cruz, J., ... & Trichopoulou, A. (2020). Updating the mediterranean diet pyramid towards sustainability: Focus on environmental concerns. *International journal of environmental research and public health*, 17(23), 8758.
- [42]Al-Qodah, Z., Al-Zoubi, H., Hudaib, B., Omar, W., Soleimani, M., Abu-Romman, S., & Frontistis, Z. (2022). Sustainable vs. conventional approach for olive oil wastewater management: a review of the state of the art. *Water*, 14(11), 1695.
- [43]Zakoura, M., Kopsahelis, A., Tsigkou, K., Ntougias, S., Ali, S. S., & Kornaros, M. (2022). Performance evaluation of three mesophilic upflow anaerobic sludge blanket bioreactors treating olive mill wastewater: Flocculent and granular inocula tests, organic loading rate effect and anaerobic consortia structure. *Fuel*, 313, 122951.
- [44]Expósito-Díaz, A., Miho, H., Ledesma-Escobar, C. A., Moral, J., Díez, C. M., & Priego-Capote, F. (2022). Influence of genetic and interannual factors on bioactive compounds of olive pomace determined through a germplasm survey. *Food Chemistry*, 378, 132107.
- [45]Papageorgiou, C. S., Lymberopoulos, S., Bakas, P., Zagklis, D. P., Sygouni, V., & Paraskeva, C. A. (2022). Hydroxytyrosol Enrichment of Olive Leaf Extracts via Membrane Separation Processes. *Membranes*, 12(11), 1027.
- [46]Ahmad, T., Belwal, T., Li, L., Ramola, S., Aadil, R. M., Xu, Y., & Zisheng, L. (2020). Utilization of wastewater from edible oil industry, turning waste into valuable products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 21-33.

- [47]Rodríguez-Gutiérrez, G., Lama-Muñoz, A., Ruiz-Méndez, M. V., Rubio-Senent, F., & Fernández-Bolaños, J. (2012). New olive-pomace oil improved by hydrothermal pre-treatments. *Olive Oil—Constituents, Quality, Health Properties and Bioconversions; Boskou, D., Ed*, 249-266.
- [48]Lee, Z. S., Chin, S. Y., Lim, J. W., Witoon, T., & Cheng, C. K. (2019). Treatment technologies of palm oil mill effluent (POME) and olive mill wastewater (OMW): A brief review. *Environmental technology & innovation*, 15, 100377.
- [49]Fierascu, R. C., Fierascu, I., Avramescu, S. M., & Sieniawska, E. (2019). Recovery of natural antioxidants from agro-industrial side streams through advanced extraction techniques. *Molecules*, 24(23), 4212.
- [50]Periyasamy, S., Isabel, J. B., Kavitha, S., Karthik, V., Mohamed, B. A., Gizaw, D. G., ... & Aminabhavi, T. M. (2023). Recent advances in consolidated bioprocessing for conversion of lignocellulosic biomass into bioethanol—A review. *Chemical Engineering Journal*, 453, 139783.
- [51]Dahdouh, A., Khay, I., Le Brech, Y., El Maakoul, A., & Bakhouya, M. (2023). Olive oil industry: a review of waste stream composition, environmental impacts, and energy valorization paths. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 45473-45497.
- [52]Gullon, P., Gullon, B., Astray, G., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2020). Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods. *Food Research International*, 137, 109683.
- [53]Coman, V., Teleky, B. E., Mitrea, L., Martău, G. A., Szabo, K., Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C. (2020). Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. *Advances in food and nutrition research*, 91, 157-225.
- [54]Vítězová, M., Kohoutová, A., Vítěz, T., Hanišáková, N., & Kushkevych, I. (2020). Methanogenic microorganisms in industrial wastewater anaerobic treatment. *Processes*, 8(12), 1546.
- [55]Donner, M., Radić, I., Erraach, Y., & El Hadad-Gauthier, F. (2022). Implementation of circular business models for olive oil waste and by-product valorization. *Resources*, 11(7), 68.
- [56]Ducom, G., Gautier, M., Pietraccini, M., Tagutchou, J. P., Lebouil, D., & Gourdon, R. (2020). Comparative analyses of three olive mill solid residues from different countries and processes for energy recovery by gasification. *Renewable Energy*, 145, 180-189.
- [57]Abid, N., Masmoudi, M. A., Megdiche, M., Barakat, A., Ellouze, M., Chamkha, M., ... & Sayadi, S. (2022). Biochar from olive mill solid waste as an eco-friendly adsorbent for the removal of polyphenols from olive mill wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, 181, 384-398.
- [58]Lee, S. Y., & Stuckey, D. C. (2022). Separation and biosynthesis of value-added compounds from food-processing wastewater: Towards sustainable wastewater resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131975.
- [59]Foti, P., Romeo, F. V., Russo, N., Pino, A., Vaccalluzzo, A., Caggia, C., & Randazzo, C. L. (2021). Olive mill wastewater as renewable raw materials to generate high added-value ingredients for agro-food industries. *Applied Sciences*, 11(16), 7511.
- [60]Sciubba, F., Chronopoulou, L., Pizzichini, D., Lionetti, V., Fontana, C., Aromolo, R., ... & Bellincampi, D. (2020). Olive mill wastes: A source of bioactive molecules for plant growth and protection against pathogens. *Biology*, 9(12), 450.
- [61]Niknam, S. M., Kashaninejad, M., Escudero, I., Sanz, M. T., Beltrán, S., & Benito, J. M. (2021). Valorization of olive mill solid residue through ultrasound-assisted extraction and phenolics recovery by adsorption process. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128340.
- [62]Sustainability Transition Assessment and Research of Bio-based Products - Apostolis Koutinas, Maria Tsakona (AUA) Kadambari Lokesh (UoY), 2018.

- [63]Zoppi, G., Pipitone, G., Pirone, R., & Bensaid, S. (2022). Aqueous phase reforming process for the valorization of wastewater streams: Application to different industrial scenarios. *Catalysis Today*, 387, 224-236.
- [64]Safe and Sustainable by Design chemicals and materials Review of safety and sustainability dimensions, aspects, methods, indicators, and tools, Carla Caldeira et al. (2022)
- [65]Definition of techno-economic sustainability criteria and LCC indicators for bio-based products (Internal Report: Selection of techno-economic sustainability principles, criteria and indicators of conversions routes for bio-based products) (2018)

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- [66]Ματζουράνος- Μετάβαση από το τριφασικό στο διφασικό σύστημα, 2020.
- [67]Π.Μ.Σ. Διοίκηση επιχειρήσεων για στελέχη Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- [68]ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ, ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ Σ. ΜΠΛΙΚΑ, 2009.
- [69]ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΝΕΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ, ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΛΕΞΗΣ ΠΑΝΤΖΙΑΡΟΣ, 2016.
- [70]ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΨΥΧΟΜΕΝΗΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ, Σπυρίδωνος Κοντού του Στεφάνου, 2018.
- [71]Παραγοντικός σχεδιασμός και βελτιστοποίηση εξαγωγής υπολειμματικού ελαίου από διφασικά απόβλητα ελαιοτριβείων, Χρυσάγη Ευδοκία, 2019.
- [72]Βιομηχανική Ρύπανση, Βλυσίδης Απόστολος, Μάη Σοφία, Μπααραμπούτη Έλλη-Μαρία (2015)
- [73]Σοφία Ντόλια, Μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο: Διαχείριση Αποβλήτων Ελαιουργείων, Ανασκόπηση Ερευνών και Προβλήματα. Πανεπιστήμιο Πειραιά. Αθήνα, 2006.
- [74]Χαράλαμπος Κάλφας Δ. Διδακτορική διατριβή με τίτλο: Παραγωγή βιοαερίου από αναερόβια χώνευση προεπεξεργασμένου και μη ελαιοπολτού, Πανεπιστήμιο Πατρών 2007.
- [75]Αξιοποίηση των παραπροϊόντων, υπολειμμάτων και αποβλήτων της ελαιουργικής δράσης – AGROENERGY.
- [76]Αξιοποίηση αποβλήτων ελαιοτριβείου – Αντωνίου Χριστίνα.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- [77]<https://ec.europa.eu/eurostat>.
- [78]www.olivenews.gr.
- [79]<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190301-1>
- [80]https://ec.europa.eu/info/index_en.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1 : Βιβλιογραφική ανασκόπηση Scopus «Τεχνολογίες αξιοποίησης αποβλήτων ελαιολιτριβείων»

(TITLE-ABS-KEY (mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (bioactive AND compounds)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) g
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (valorization) OR TITLE-ABS-KEY (valorisation)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (utilization) AND TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND wastes)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (technologies) OR TITLE-ABS-KEY (technology)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (technologies) OR TITLE-ABS-KEY (technology) AND TITLE-ABS-KEY (by-products)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (utilization) OR TITLE-ABS-KEY (utilisation) AND TITLE-ABS-KEY (by-products))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill) AND TITLE-ABS-KEY (waste) AND TITLE-ABS-KEY (utilization) OR TITLE-ABS-KEY (utilisation) AND TITLE-ABS-KEY (technologies) OR TITLE-ABS-KEY (technology))
(TITLE(olive mill waste) AND TITLE-ABS-KEY(by-products)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"re"))
(TITLE(olive mill waste) OR TITLE-ABS-KEY(phenolic compounds)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (phenolic AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (utilization) OR TITLE-ABS-KEY (utilisation)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (biorefinery)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (phenolic AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (by AND products)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (phenolyc AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (valorization) OR TITLE-ABS-KEY (valorisation))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND water AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (technology) OR TITLE-ABS-KEY (technologies)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (phenolyc AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (valorization) OR TITLE-ABS-KEY (valorisation))

(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (phenolic AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (technology) OR TITLE-ABS-KEY (technologies)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (bioactive AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (utilization) OR TITLE-ABS-KEY (utilisation)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND water AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (utilization) OR TITLE-ABS-KEY (utilisation)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (bioactive AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (valorization) OR TITLE-ABS-KEY (valorisation)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (bioactive AND compounds) AND TITLE-ABS-KEY (technology) OR TITLE-ABS-KEY (technologies)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (bioactive AND compounds)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND water AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (valorization) OR TITLE-ABS-KEY (valorisation)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (valorization) OR TITLE-ABS-KEY (valorisation)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))
(TITLE-ABS-KEY (olive AND mill AND waste) AND TITLE-ABS-KEY (technology) OR TITLE-ABS-KEY (technologies)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))

Παράρτημα 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση Scopus για Sustainability analysis

(TITLE-ABS-KEY (life AND cycle AND assessment AND olive AND mill AND waste)
(TITLE-ABS-KEY (technoeconomic AND olive AND mill AND waste))
(TITLE-ABS-KEY (cost AND benefit AND olive AND mill AND waste))
(TITLE-ABS-KEY (techno-economic AND olive AND mill AND waste)
(TITLE-ABS-KEY (techno-economic AND olive AND mill AND waste) OR TITLE-ABS-KEY (technoeconomic AND olive AND mill AND waste) OR TITLE-ABS-KEY (cost AND benefit AND olive AND mill AND waste))
(TITLE-ABS-KEY (techno-economic AND olive AND mill AND waste) OR TITLE-ABS-KEY (technoeconomic AND olive AND mill AND waste))
(TITLE-ABS-KEY (sustainability AND analysis AND olive AND mill AND waste) OR TITLE-ABS-KEY (sustainability AND assessment AND olive AND mill AND waste))