



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

**«Συγκριτική μελέτη εμπλουτισμένων και μη ελαίων
με ενόργανες τεχνικές και χημειομετρία»**



Κουμούτση Ευαγγελία
Χριστόπουλος Δημήτριος Παναγιώτης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σινάνογλου Βασιλεία

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF FOOD SCIENCES
DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY**

Bachelor's Thesis

**“Comparative study of enriched and non-enriched edible oils using
instrumental techniques and chemometrics”**



**Koumoutsi Evangelia
Christopoulos Dimitrios Panagiotis**

Supervisor: Sinanoglou Vassilia

ATHENS, SEPTEMBER 2024

Έγινε δεκτή.

Οι υπογράφουσες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει την πτυχιακή εργασία με τίτλο «**Συγκριτική μελέτη εμπλουτισμένων και μη ελαίων με ενόργανες τεχνικές και χημειομετρία**» που παρουσιάστηκε από τον **Χριστόπουλο Δημήτριο Παναγιώτη** και την **Κουμούτση Ευαγγελία** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

α/α	Όνοματεπώνυμο	Βαθμίδα/Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
1.	Σινάνογλου Βασιλεία	Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων - Κοσμήτορας της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής / Επιβλέπουσα	
2.	Στρατή Ειρήνη	Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής / Μέλος επιτροπής	
3.	Τσιάκα Θάλεια	Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής / Μέλος επιτροπής	

Δήλωση συγγραφέων πτυχιακής εργασίας περί λογοκλοπής / Copyright

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χριστόπουλος Δημήτριος Παναγιώτης του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 20684115 και η κάτωθι υπογεγραμμένη Κουμούτση Ευαγγελία του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 20684044, φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστήμων Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μας αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση των πτυχίων μας».

Ο Δηλών,
Χριστόπουλος Δημήτριος Παναγιώτης



Η Δηλούσα,
Κουμούτση Ευαγγελία



Ευχαριστίες

Με το παρόν σημείωμα, θα θέλαμε, πρώτα, να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μας και κοσμήτορα της σχολής μας, Δρ. Σινάνογλου Βασιλεία, για τη σημαντική βοήθειά της στην έρευνα και τη συμβουλευτική καθοδήγηση που μας πρόσφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας, με τις καίριες, εύστοχες και εποικοδομητικές παρατηρήσεις και κατάλληλες διορθώσεις της.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον υποψήφιο διδάκτορα του τμήματός μας Ιωάννου Αλέξανδρο Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη του στο πρόσωπό μας, την πολύ καλή συνεργασία μας, τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε καθοδηγώντας και προσφέροντάς μας χρήσιμα στοιχεία και εξηγήσεις σχετικά με το θέμα της εργασίας και την προθυμία, βοήθεια και στήριξή του στο πεδίο της έρευνας.

Η γνώση, η εμπειρογνωμοσύνη, η συστηματική καθοδήγηση και υποστήριξή σας συνέβαλαν στην επίτευξη ενός επιτυχημένου αποτελέσματος, για το οποίο σας ευχαριστούμε θερμά.

Τέλος, οφείλουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειές μας, σε συναδέλφους, φίλους και ανθρώπους που μας στήριξαν με αμέριστη αγάπη, ενθάρρυνση, συμπαράσταση και καρτερία καθ' όλη τη διάρκεια της ενασχόλησής μας με την πτυχιακή εργασία και των σπουδών στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Αφιερώσεις

Αφιερωμένη στους πολυαγαπημένους μας παππούδες, Δημήτριο και Απόστολο.

Περίληψη

Στην σύγχρονη επιστήμη και τεχνολογία τροφίμων, ο εμπλουτισμός των ελαίων με αντιοξειδωτικά, βιταμίνες και άλλες βιοδραστικές ουσίες είναι κρίσιμης σημασίας για την ενίσχυση της διατροφικής αξίας, της οξειδωτικής σταθερότητας και της συντηρησιμότητάς τους, ιδιαίτερα για έλαια τα οποία έχουν υποστεί διεργασίες που τα υποβαθμίζουν, όπως ο εξευγενισμός. Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στην ανάλυση των εμπλουτισμένων και μη εμπλουτισμένων δειγμάτων σησαμελαίου και πυρηνελαίου πριν και μετά τη θερμική επεξεργασία σε φούρνο στους 85 και 110 °C, καθώς και μετά από διαδικασία τηγανίσματος. Σκοπός του εμπλουτισμού των ελαίων ήταν η αύξηση της οξειδωτικής τους σταθερότητας με την προσθήκη βιοδραστικών ουσιών. Για την επίτευξη των στόχων της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμένες ενόργανες μέθοδοι ανάλυσης, περιλαμβάνοντας φασματοσκοπία υπερύθρου με την τεχνική της αποσβένουσας ολικής ανάκλασης (ATR-FTIR) και χρωματομετρία για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του χρώματος με το σύστημα CIELab. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί η επίδραση των θερμικών επεξεργασιών στη σύσταση και το χρώμα των ελαίων, η επίδραση του εμπλουτισμού στη σταθερότητα τους, καθώς και για τη συγκριτική μελέτη των διαφόρων, εμπλουτισμένων και μη, δειγμάτων ελαίων. Η μελέτη αποκάλυψε ότι η θερμική επεξεργασία επηρέασε την ποιότητα των ελαίων με διαφορετικούς τρόπους. Το σησαμέλαιο εμφάνισε μειωμένη οξειδωτική σταθερότητα, με αυξημένο σχηματισμό υδροϋπεροξειδίων, ισομερίωση των *cis* διπλών δεσμών προς *trans* και έντονες μεταβολές χρώματος. Το πυρηνέλαιο εμφάνισε μεγαλύτερη θερμοανθεκτικότητα, αν και παρατηρήθηκαν σημαντικές χρωματικές μεταβολές. Επιπλέον, ο εμπλουτισμός με τρούφα επιβράδυνε τις οξειδωτικές αλλοιώσεις στο πυρηνέλαιο, ενώ η προσθήκη ασταξανθίνης ενίσχυσε την σταθερότητα του σησαμελαίου. Ωστόσο, η προσθήκη β-καροτενίου στο σησαμέλαιο επιτάχυνε τις οξειδωτικές αντιδράσεις, λόγω της θερμοευαισθησίας του. Η μελέτη καταδεικνύει ότι η ποιότητα των φυτικών ελαίων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμική επεξεργασία. Ο εμπλουτισμός μπορεί να ενισχύσει την οξειδωτική τους σταθερότητα, αν και η επίδρασή του εξαρτάται σημαντικά από παράγοντες όπως το είδος του ελαίου και την φύση της βιοδραστικής ουσίας.

Λέξεις – Κλειδιά: Εδώδιμα Φυτικά Έλαια, Εμπλουτισμός, Θερμική Επεξεργασία, Φασματοσκοπία IR, Χρωματομετρία, Οξειδωτική Σταθερότητα

Abstract

In modern food science and technology, the enrichment of oils with antioxidants, vitamins, and other bioactive compounds is crucial for enhancing their nutritional value, oxidative stability, and shelf life, particularly for oils that have undergone processes that degrade these elements, such as refining. This study focused on analyzing enriched and non-enriched samples of sesame oil and olive pomace oil before and after thermal processing in an oven at 85 and 110 °C, as well as after frying. The aim of the enrichment was to increase their oxidative stability by adding bioactive compounds. To achieve the research objectives, combined instrumental methods were used, including infrared spectroscopy with attenuated total reflectance (ATR-FTIR) and colorimetry for determining color parameters using the CIELab system. These methods were employed to assess the impact of thermal processing on the composition and color of the oils, the effect of enrichment on their stability, and to conduct a comparative study of different enriched and non-enriched oil samples. The study revealed that thermal processing affected the quality of the oils in different ways. Sesame oil exhibited reduced oxidative stability, with increased formation of hydroperoxides, isomerization of *cis* double bonds to *trans*, and significant color changes. Olive pomace oil showed greater heat resistance, although significant color changes were observed. Additionally, enrichment with truffle slowed down oxidative deterioration in olive pomace oil, while the addition of astaxanthin enhanced the stability of sesame oil. However, the addition of β -carotene to sesame oil accelerated oxidative reactions due to its thermal sensitivity. The study demonstrates that the quality of vegetable oils is significantly affected by thermal processing. Enrichment can enhance their oxidative stability, though its effect depends significantly on factors such as the type of oil and the nature of the bioactive compound.

Key words: Edible Vegetable Oils, Enrichment, Thermal Processing, IR Spectroscopy, Colorimetry, Oxidative Stability

Περιεχόμενα

Δήλωση συγγραφέων πτυχιακής εργασίας περί λογοκλοπής / Copyright	iv
Ευχαριστίες.....	v
Αφιέρωσεις.....	vi
Περίληψη.....	vii
Abstract	viii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xi
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1. Εδώδιμα φυτικά έλαια	1
1.1.1. Κατηγορίες εδώδιμων φυτικών ελαίων	1
1.1.2. Παραγωγή και κατανάλωση εδώδιμων φυτικών ελαίων.....	2
1.1.3. Ενδεικτικά είδη εδώδιμων φυτικών ελαίων	2
1.2. Ελαιόλαδο	3
1.2.1. Χαρακτηριστικά και κατηγορίες ελαιόλαδου	3
1.2.2. Παραλαβή του ελαιόλαδου.....	4
1.2.3. Ο εξευγενισμός (ραφινάρισμα) του ελαιόλαδου	6
1.2.4. Λειτουργικά συστατικά του εξαιρετικά παρθένου ελαιόλαδου – σύσταση και διατροφική αξία	8
1.2.5. Πυρηνέλαιο – ένα παραπροϊόν της ελαιοπαραγωγής	9
1.2.6. Υποβαθμίσεις του ελαιόλαδου	12
1.3. Σογιέλαιο.....	16
1.3.1. Χαρακτηριστικά του σογιέλαιου	16
1.3.2. Μέθοδοι επεξεργασίας της σόγιας και παραλαβής του σογιέλαιου.....	17
1.3.3. Ο εξευγενισμός (ραφινάρισμα) του σογιέλαιου	18
1.3.4. Λειτουργικά χαρακτηριστικά και διατροφική αξία του σογιέλαιου	19

1.4. Σησαμέλαιο	20
1.4.1. Χαρακτηριστικά του σησαμελαίου	20
1.4.2. Μέθοδοι επεξεργασίας του σησαμιού και παραλαβής του σησαμελαίου.....	21
1.4.3. Εξευγενισμός (ραφινάρισμα) του σησαμελαίου	22
1.4.4. Λειτουργικά χαρακτηριστικά και διατροφική αξία του σησαμελαίου.....	22
1.4.5. Υποβαθμίσεις του σησαμελαίου	23
1.5 Εμπλουτισμός ελαίων	24
Κεφάλαιο 2: Σκοπός Εργασίας.....	29
Κεφάλαιο 3: Υλικά και Μέθοδοι.....	30
3.1. Υλικά και Όργανα.....	30
3.2 Δείγματα ελαίων	30
3.3. Εμπλουτισμός ελαίων με φυσικής προέλευσης βιοδραστικές ουσίες και τρόφιμο ..	30
3.3.1. Εμπλουτισμός με ασταξανθίνη	31
3.3.2. Εμπλουτισμός με β-καροτένιο	31
3.3.3. Εμπλουτισμός με τρούφα.....	31
3.4. Θερμική Επεξεργασία – Δειγματοληψία	31
3.5 Κωδικοποίηση δειγμάτων εμπλουτισμένων και μη ελαίων.....	32
3.7. Φασματοσκοπία υπέρυθρου.....	33
3.8. Μέτρηση χρώματος με το σύστημα CIELab	34
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και Συζήτηση	35
4.1. Φασματοσκοπία υπέρυθρου.....	36
4.1.1. Αξιολόγηση των φασμάτων FT-IR	36
4.1.2. Συγκριτική μελέτη των φασμάτων των εμπλουτισμένων και μη φυτικών ελαίων	40
4.2. Μετρήσεις Χρώματος	45
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Υποδείξεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	51
Παράρτημα Αποτελεσμάτων 1: Απορροφήσεις ελαίων εμπλουτισμένων και μη στο μέσο υπέρυθρο	54

Παράρτημα Αποτελεσμάτων 2: Μετρήσεις χρώματος.....	62
Βιβλιογραφία.....	68

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Φασματόμετρο Shimadzu IR Affinity-1S (Κιότο, Ιαπωνία).....	34
Εικόνα 2: Φωτογραφίες δειγμάτων μη εμπλουτισμένου σησαμελαίου (επάνω σειρά) και εμπλουτισμένου σησαμελαίου με τρούφα (κάτω σειρά), κατά το τηγάνισμα (Χρόνοι: 3, 5 7, 10, 15, 20, 25, 30 και 35 min)	46

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Διάγραμμα φυσικοχημικών μεταβολών των φυτικών ελαίων κατά το τηγάνισμα.	15
Σχήμα 2: Η διάταξη των παραμέτρων του συστήματος CIELab στον τρισδιάστατο χώρο	34
Σχήμα 3: Φάσματα ATR-FTIR μη εμπλουτισμένων και θερμικά επεξεργασμένων (με τηγάνισμα) δειγμάτων σησαμελαίου στην περιοχή των $4000-400\text{ cm}^{-1}$	35
Σχήμα 4: Φάσματα ATR-FTIR μη εμπλουτισμένων και θερμικά επεξεργασμένων (με τηγάνισμα) δειγμάτων πυρηνελαίου στην περιοχή των $4000-400\text{ cm}^{-1}$	36
Σχήμα 5: Φάσμα δειγμάτων πυρηνελαίου και σησαμελαίου στη περιοχή $3005-3007\text{ cm}^{-1}$. Τα δείγματα που απεικονίζονται επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο και προέρχονται από εμπλουτισμένα και μη έλαια θερμικώς επεξεργασμένα.....	40
Σχήμα 6: Φάσματα τηγανισμένων δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη στη περιοχή $1743-1728\text{ cm}^{-1}$ για 3, 13 και 30 min.....	42

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Παγκόσμια παραγωγή φυτικών ελαίων κατά το έτος 2018.....	2
Πίνακας 2: Κατηγορίες ελαιολάδου. Τροποποίηση από τον Κανονισμό του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου No 1234/2007.	3
Πίνακας 3: Κατηγορίες πυρηνελαίου. Τροποποίηση από τον Κανονισμό του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου No 1234/2007.	10

Πίνακας 4: Στάδια οξείδωσης φυτικών ελαίων.....	14
Πίνακας 5: Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	24
Πίνακας 6: Κωδικοποίηση εμπλουτισμένων και μη ελαίων.....	32
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικές ζώνες απορρόφησης ομάδων οργανικών ενώσεων στα φυτικά έλαια.....	37
Πίνακας 8: Παράμετροι του χρώματος (L^* , C , H , a^* , b^*) μη εμπλουτισμένου σησαμελαίου και πυρηνελαίου, κατά το τηγάνισμα.....	47
Πίνακας 9–14: Απορροφήσεις στο IR εμπλουτισμένων και μη δειγμάτων ελαίων, κατά το τηγάνισμα.....	54
Πίνακας 15–20: Απορροφήσεις στο IR εμπλουτισμένων και μη δειγμάτων ελαίων, σε φούρνο στους 85 °C.....	57
Πίνακας 21–24: Απορροφήσεις στο IR εμπλουτισμένων και μη δειγμάτων ελαίων, σε φούρνο στους 110 °C.....	60
Πίνακας 25–30: Τιμές CIELab σε εμπλουτισμένα και μη δείγματα ελαίων, κατά το τηγάνισμα.....	62
Πίνακας 31–36: Τιμές CIELab σε εμπλουτισμένα δείγματα ελαίων, σε φούρνο στους 85 °C.....	64
Πίνακας 37–42: Τιμές CIELab σε εμπλουτισμένα και μη δείγματα ελαίων, σε φούρνο στους 110 °C.....	66

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Εδώδιμα φυτικά έλαια

1.1.1. Κατηγορίες εδώδιμων φυτικών ελαίων

Τα φυτικά έλαια αποτελούν διαχρονικά βασικό συστατικό της διατροφής του ανθρώπου σε παγκόσμιο επίπεδο. Ορισμένα από τα γνωστότερα και ευρέως χρησιμοποιούμενα για την ανθρώπινη διατροφή φυτικά έλαια είναι το ελαιόλαδο (παραγόμενο από τους καρπούς της ελιάς, *Olea europaea*), το σογιέλαιο (παραγόμενο από τα σπέρματα της σόγιας, *Glycine max*), το φοινικέλαιο (παραγόμενο από το μεσοκάρπιο του φρούτου των ελαιοφοινίκων, *Elaeis guineensis*), το βαμβακέλαιο (παραγόμενο από τα σπέρματα διαφόρων ειδών του βαμβακιού), το σησαμέλαιο (παραγόμενο από τα σπέρματα του σουσαμιού, *Sesamum indicum*), το κραμβέλαιο (παραγόμενο από τα σπέρματα των ποικιλιών *Brassica napus* και *Brassica campestris* του φυτού ελαιοκράμβη) και το ηλιέλαιο (παραγόμενο από τα σπέρματα της ποικιλίας *Helianthus annuus* του φυτού ηλιάνθος) κ.ά. (Zhou et al., 2020).

Καθένα από τα παραπάνω εδώδιμα φυτικά έλαια μπορεί να παραλαμβάνεται με διαφορετική τεχνική και από διαφορετικό μέρος του φυτού, όπως από τους καρπούς, τους πυρήνες, τα φύλλα και τα σπέρματα, ενώ, ανάλογα με το είδος του, διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως οσμή, χρώμα ή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (διατροφική αξία) (Zhou et al., 2020).

Ως θεμελιώδη συστατικά της ανθρώπινης διατροφής, τα εδώδιμα φυτικά έλαια είναι αναμενόμενο να αξιολογούνται από την επιστημονική κοινότητα και το καταναλωτικό κοινό κυρίως με βάση τη περιεκτικότητά τους σε λιπαρά οξέα, δηλαδή των κορεσμένων, μονοακόρεστων, πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Zhou et al., 2020), καθώς αυτά βοηθούν είτε στη γενικότερη προστασία της υγείας και την αποφυγή ασθενειών είτε ειδικότερα στην υποστήριξη φυσιολογικού σωματικού βάρους. Σε γενικές γραμμές και με διαφορετική συνεισφορά κάθε εδώδιμου φυτικού ελαίου στην ανθρώπινη υγεία, τα έλαια αυτά συντελούν, μεταξύ άλλων, στη σωστή λειτουργία του καρδιαγγειακού, του νευρικού και του ενδοκρινικού συστήματος (Wen et al., 2023). Σε κάθε περίπτωση πάντως, το ελαιόλαδο, χάρη στην πλούσια σύστασή του, αποτελεί το ποιοτικότερο (από άποψη φυσικών, χημικών και, επομένως, διατροφικών χαρακτηριστικών) εδώδιμο φυτικό έλαιο, από τα υπόλοιπα έλαια, τα οποία χρειάζονται εξευγενισμό για να διατεθούν προς κατανάλωση. Κατά τη διεργασία του εξευγενισμού, τα έλαια αυτά

υποβαθμίζονται διότι καταστρέφονται τα συστατικά που τους προσδίδουν τα παραπάνω οφέλη (Yubero-Serrano et al., 2019).

1.1.2. Παραγωγή και κατανάλωση edώδιμων φυτικών ελαίων

Η κατανάλωση καθενός από τα παραπάνω είδη edώδιμων φυτικών ελαίων σε κάθε χώρα σχετίζεται προφανώς με τη φυτική παραγωγή κάθε χώρας, τις δυνατότητες καλλιέργειας και αξιοποίησης των αντίστοιχων φυτών, τις καταναλωτικές προτιμήσεις και τις εμπορικές ή οικονομικές δυνατότητες κάθε λαού που επιθυμεί να καταναλώσει τα συγκεκριμένα έλαια (Popescu et al., 2019). Ο παρακάτω πίνακας των Zhou et al. (2020) δείχνει το ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης διαφορετικών ειδών edώδιμων φυτικών ελαίων. Αξιοσημείωτο στοιχείο που προκύπτει από την καταγραφή αυτή αποτελεί το γεγονός ότι το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, το οποίο, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί το κορυφαίο –ως προς όλα τα φυσικά χαρακτηριστικά του– edώδιμο φυτικό έλαιο και το πλέον διαδεδομένο στις μεσογειακές χώρες, έχει το χαμηλότερο ποσοστό παραγωγής παγκοσμίως (2,04%), αφού η παραγωγή του έχει περιοριστεί στις μεσογειακές χώρες.

Πίνακας 1: Παγκόσμια παραγωγή φυτικών ελαίων κατά το έτος 2018 (Zhou et al., 2020).

Είδος φυτικού ελαίου	Παραγωγή (σε εκατομμύρια τόνους)
Φοινικέλαιο	73,58
Σογιέλαιο	57,23
Κραμβέλαιο	28,61
Ηλιέλαιο	20,44
Φοινικοπυρηγέλαιο	8,18
Αραχιδέλαιο	6,13
Βαμβακέλαιο	4,09
Κοκοκαρυέλαιο	4,09
Παρθένο ελαιόλαδο	2,04

1.1.3. Ενδεικτικά είδη edώδιμων φυτικών ελαίων

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν ενδεικτικά και συνοπτικά οι βασικές μέθοδοι παραλαβής και εξευγενισμού (ραφινάρισματος), καθώς και τα κύρια λειτουργικά συστατικά και η διατροφική αξία καθενός από τα παρακάτω edώδιμα φυτικά έλαια: (α) του ελαιόλαδου, (β) του πυρηνελαίου, (γ) του σογιέλαιου και (δ) του σησαμελαίου.

1.2. Ελαιόλαδο

1.2.1. Χαρακτηριστικά και κατηγορίες ελαιόλαδου

Το ελαιόλαδο, όπως προαναφέρθηκε, παράγεται από τον καρπό του ελαιόδεντρου (*Olea europaea*) και χρησιμοποιείται κατά βάση στις μεσογειακές χώρες, στις οποίες το συγκεκριμένο δέντρο φύεται και καλλιεργείται εκτενώς (Jimenez-Lopez et al., 2020). Το συγκεκριμένο έλαιο, ανάλογα με την ποιότητά του (η οποία διαμορφώνεται από την χημική ανάλυσή του και την οργανοληπτική αξιολόγησή του), διαχωρίζεται σε 8 κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

Γενικά, ο προσδιορισμός του ελαιόλαδου ως παρθένου δηλώνει ότι το έλαιο αυτό δεν έχει υποβληθεί καμίας περαιτέρω χημικής διεργασίας. Επίσης, η κατηγορία του εξαιρετικά παρθένου ελαιόλαδου θεωρείται η ποιοτικότερη ως προς όλα τα διατροφικά χαρακτηριστικά της, το άρωμα, την οξύτητα, τη γεύση, τα θρεπτικά συστατικά και το χρώμα (Jimenez-Lopez et al., 2020).

Τέλος, η ποιότητα του ελαιόλαδου είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων, όπως η ποικιλία της ελιάς, οι καλλιέργειες των ελαιόδεντρων, η διαδικασία συλλογής του καρπού αλλά και η αποθήκευση του ελαιόλαδου (Di Giovacchino et al., 2002). Η σύσταση του ελαιόλαδου αποτελείται κυρίως από τριγλυκερίδια και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα που φτάνουν σε συγκεντρώσεις έως 85% με πιο αντιπροσωπευτικό το ελαϊκό οξύ (C18:1) το οποίο θεωρείται σημαντικό για την ανθρώπινη διατροφή, καθώς προσφέρει πολλά οφέλη στον ανθρώπινο οργανισμό. Σε μικρότερες συγκεντρώσεις, άλλες ενώσεις που χαρακτηρίζουν το ελαιόλαδο είναι οι φαινολικές ενώσεις, οι τοκοφερόλες και τα καροτενοειδή (Jimenez-Lopez et al., 2020).

Πίνακας 2: Κατηγορίες ελαιολάδου. Τροποποίηση από τον Κανονισμό του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου Νο 1234/2007 (Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2007).

Κατηγορία	Χαρακτηριστικά	Οξύτητα
Εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο	Λαμβάνονται «μόνο με μηχανικές ή άλλες φυσικές επεξεργασίες με συνθήκες που δεν προκαλούν αλλοίωση του ελαίου, και τα οποία δεν έχουν υποστεί καμία άλλη επεξεργασία πλην της πλύσης, της μετάγγισης, της φυγοκέντρισης και της διήθησης. Εξαιρούνται τα έλαια που λαμβάνονται με διαλύτες, με βοηθητικές ύλες παραλαβής που έχουν χημική ή βιοχημική δράση, ή με μεθόδους επανεστεροποίησης ή πρόσμειξης με έλαια άλλης φύσης».	< 0,8%
Παρθένο ελαιόλαδο	Παρθένο ελαιόλαδο	≤ 2%
Μειονεκτικό (λαμπάντε) ελαιόλαδο		> 2%

Πίνακας 3 (συνέχεια)

Κατηγορία	Χαρακτηριστικά	Οξύτητα
Εξευγενισμένο (ραφινέ) ελαιόλαδο	Λαμβάνεται με εξευγενισμό παρθένων ελαιόλαδων.	$\leq 0,3\%$
Ελαιόλαδο	Μείγμα εξευγενισμένου και παρθένων ελαιόλαδων, εκτός του λαμπάντε.	$\leq 1\%$

1.2.2. Παραλαβή του ελαιόλαδου

Πρώτες αναφορές στην εξημέρωση του ελαιόδεντρου (*Olea europaea* L.) καταγράφονται στη Μεσόγειο από αρχαιοτάτων χρόνων. Πιθανολογείται ότι η πρώτη καλλιέργεια της ελιάς έγινε πριν από περίπου 6.000 χρόνια στη Μικρά Ασία, ενώ η εξαγωγή του ελαιολάδου από τον καρπό της χρονολογείται γύρω στο 2.500 π.Χ. (Jimenez-Lopez et al., 2020; Albini et al., 2023). Έκτοτε, η παραλαβή του ελαιόλαδου έχει εξελιχθεί και βελτιωθεί σημαντικά, με σύγχρονες και μη μεθόδους ώστε το προϊόν να εξασφαλίζει την μέγιστη ποιότητα, υπό την προϋπόθεση ότι ο καρπός διαθέτει χαρακτηριστικά υψηλής ποιότητας. Η παραλαβή του πραγματοποιείται σε πέντε (5) βασικά στάδια που περιλαμβάνουν την συγκομιδή των ελαιόκαρπων, τον καθαρισμό, την προετοιμασία της ελαιοζύμης (που περιλαμβάνει την άλεση και την μάλαξη), τον διαχωρισμό της στερεής και υγρής φάσης και τον διαχωρισμό των υγρών φάσεων (ελαίου και υγρών αποβλήτων) (Petraakis, 2006).

Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, η παραγωγή του περιλαμβάνει αρχικά την συγκομιδή των καρπών της ελιάς. Αυτή παραδοσιακά επιτελείται με ραβδισμό ή συλλογή με το χέρι, ενώ, στην σύγχρονη συγκομιδή, η χρήση δονητών δέντρων είναι ευρέως διαδεδομένη. Ακολουθεί καθαρισμός και πλύσιμο για την αφαίρεση φύλλων, κλαδιών και ακαθαρσιών που μπορούν να αλλοιώσουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ελαίου (Petraakis, 2006; Albini et al., 2023).

Οι καθαρισμένες ελιές στη συνέχεια αλέθονται για να σχηματίζουν την ελαιοζύμη, με σκοπό την κατάρρευση της φυτικής δομής του καρπού και της εξαγωγής του ελαίου από τα κύτταρα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

α) Η παραδοσιακή μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται ανελλιπώς από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα και εξασφαλίζει υψηλής ποιότητας ελαιόλαδο. Σε αυτή, οι καρποί τοποθετούνται σε δίσκους στους οποίους περιστρέφονται με αργό ρυθμό βαριές ρόδες από γρανίτη (μυλόπετρες), οι οποίες επιτυγχάνουν την σύνθλιψη του καρπού και

την μερική μάλαξη της ελαιοζύμης (Petraakis, 2006).

β) Η μέθοδος συνεχούς εξαγωγής, κατά την οποία οι ελιές αλέθονται με ταχέως περιστρεφόμενους μεταλλικούς σπαστήρες με οδοντωτούς δίσκους ή σφυρόμυλους (Petraakis, 2006).

Η ελαιοζύμη, στη συνέχεια, ενυδατώνεται, μαλάσσεται θερμαινόμενη στους 28-30 °C, υφίσταται ζύμωση από υδραυλικά έμβολα και δημιουργεί υγρή φάση (έλαιο και υδατικό μίγμα) (Petraakis, 2006). Με την μάλαξη, το έλαιο απελευθερώνεται από τις κυτταρικές δομές και τα σταγονίδια που σχηματίζει αρχίζουν να διασπώνται και να συνενώνονται (Albini et al., 2023). Έπειτα, η υγρή και η στερεή φάση (ελαιοπυρήνας) θα διαχωριστεί με τους εξής τρόπους:

α) με έκθλιψη στην παραδοσιακή μέθοδο. Με αυτόν τον τρόπο, η υδατική φάση διαχωρίζεται από την στερεή. Οι υδραυλικές πρέσες ασκούν βαθμιαία πίεση στην ελαιοζύμη έως 400 atm έως μία ώρα. Το ελαιόλαδο που προκύπτει με πίεση θεωρείται εξαιρετικής ποιότητας (Petraakis, 2006; Kapellakis et al., 2008).

β) με φυγοκέντριση στη μέθοδο των δύο ή τριών φάσεων. Στη συγκεκριμένη διαδικασία, η ελαιοζύμη τοποθετείται μέσα σε διαχωριστήρα οριζόντιας φυγοκέντρισης (decanter) και, υπό την επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης (της τάξης των 6.000-7.000 στροφών ανά λεπτό), διαχωρίζεται σε στερεά συστατικά, νερό και έλαιο. Ο τριπλός αυτός διαχωρισμός εφαρμόζεται στη λεγόμενη τριφασική φυγοκεντρική διαδικασία, η οποία απαιτεί τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων νερού, προκαλώντας, επομένως, αυξημένη περιβαλλοντική ρύπανση μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Αντίθετα, η πιο σύγχρονη διφασική φυγοκεντρική διαδικασία επιτρέπει το διαχωρισμό του ελαίου, ενώ τα υγρά και τα στερεά απόβλητα-υπολείμματα αποβάλλονται μαζί. Η διαδικασία αυτή απαιτεί μικρότερες ποσότητες νερού, αλλά οδηγεί σε απόβλητα με μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, τα οποία είναι δυσκολότερα στον χειρισμό και επίσης προκαλούν περιβαλλοντική ρύπανση (Petraakis, 2006; Kapellakis et al., 2008).

Η φυγοκέντριση, ως τεχνική παραλαβής ελαιολάδου, βασίζεται στην αρχή ότι κατά την περιστροφή υγρού που συνίσταται από σωματίδια αδιάλυτα, με ταχύτητα γύρω από ένα άξονα, τα βαρύτερα σωματίδια εκτοξεύονται προς την περιφέρεια ενώ τα ελαφρά σωματίδια παραμένουν γύρω από τον άξονα με πλεονέκτημα τη μεγαλύτερη παραλαβή προϊόντος, σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο της μηχανικής πίεσης. Η αυτοματοποίηση της ανωτέρω διαδικασίας σε κλειστό περιβάλλον αποτρέπει την έκθεση του ελαιόλαδου στον αέρα και την οξείδωσή του. Επίσης ευνοεί τη διατήρηση (στη διφασική φυγοκεντρική διαδικασία στην οποία η προσθήκη νερού είναι

μικρότερη) στο τελικό προϊόν μεγαλύτερης ποσότητας φαινολικών ενώσεων και τοκοφερολών και το πιο έντονο άρωμα. Από την άλλη όμως πλευρά, εκτός από την παραγωγή μεγάλου όγκου αποβλήτων, έχει υψηλότερο κόστος παραγωγής και απαιτεί τεχνικό εξοπλισμό και περισσότερη τεχνική εργασία (Petraakis, 2006).

γ) με φυσική αποστάλαξη στη μέθοδο Sinolea, κατά την οποία μέσα στην πάστα ελιάς περιστρέφονται μεταλλικές λεπίδες/ελάσματα. Κατά τη διαδικασία αυτή τα στερεά συστατικά καθιζάνουν στη δεξαμενή, ενώ τα υγρά συστατικά τείνουν να επιπλέουν. Οι σταγόνες ελαίου προσκολλώνται στα μεταλλικά ελάσματα, ενώ το νερό, λόγω της διαφορετικής επιφανειακής τάσης του με το μέταλλο δεν προσκολλάται εξίσου. Οι σταγόνες του ελαίου απομακρύνονται με αποστράγγιση και συγκεντρώνονται σε δοχεία, ενώ η υπόλοιπη πάστα ελιάς υποβάλλεται σε φυγοκέντριση για να εξαχθεί η ποσότητα του ελαιολάδου που παρέμεινε μέσα στην πάστα ελιάς. Με τη μέθοδο της φυσικής αποστάλαξης παραλαμβάνεται εξαιρετικής ποιότητας ελαιόλαδο καθώς δεν έχει υποστεί επεξεργασία συμπίεσης, ωστόσο το κόστος είναι υψηλό, καθώς και οι ενεργειακές της απαιτήσεις (Valta et al., 2015).

Το έλαιο αυτό, στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας, θα διηθηθεί περαιτέρω με φυγοκέντριση (σε κάθετη μονάδα φυγοκέντρισης με χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής), προκειμένου να αφαιρεθούν τυχόν στερεά υπολείμματα (μούργα) ή και τα υγρά απόβλητα, με αποτέλεσμα να παραληφθεί το ελαιόλαδο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε θερμοκρασία που δεν πρέπει να ξεπερνά τους 28 °C (Petraakis, 2006; Kapellakis et al., 2008; Valta et al., 2015).

1.2.3. Ο εξεργενισμός (ραφινάρισμα) του ελαιόλαδου

Όπως έχει προαναφερθεί, το ελαιόλαδο χωρίζεται σε διαφορετικές κατηγορίες βάσει της ποιότητάς του. Ως εκ τούτου, το μειονεκτικό (λαμπάντε) ελαιόλαδο και το ακατέργαστο πυρηνέλαιο δεν μπορούν να διατεθούν άμεσα στην αγορά λόγω της μειωμένης σταθερότητας και της ανεπιθύμητης γεύσης και οσμής που έχουν. Η υποβάθμιση αυτή οφείλεται σε ενώσεις όπως τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, τους κηρούς, τις χρωστικές ουσίες, τις στερεές προσμίξεις και τα προϊόντα οξειδωσης (Gharby, 2022).

Το ραφινάρισμα του ελαιόλαδου πραγματοποιείται τόσο με χημικές, όσο και με φυσικές διεργασίες. Το χημικό ραφινάρισμα πραγματοποιείται σε τέσσερα (4) στάδια (Ruiz-Méndez et al., 2013; Gharby, 2022).

Κατά το πρώτο στάδιο, πραγματοποιείται φιλτράρισμα για την απομάκρυνση

μεγάλων σωματιδίων και ακαθαρσιών, όπως μικροί κόκκοι από το ελαιοκαρπό, κομμάτια φλοιών και άλλες στερεές ουσίες που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του λαδιού. Σε αυτήν τη διαδικασία, το ελαιόλαδο περνά μέσα από μηχανικά φίλτρα για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών και τη βελτίωση της διαφάνειας του προϊόντος (Ruiz-Méndez et al., 2013; Gharby, 2022).

Κατά το δεύτερο στάδιο του εξευγενισμού (εξουδετέρωση) ελαττώνεται η οξύτητα του προϊόντος μέσω της προσθήκης σε αυτό καυστικού νατρίου το οποίο, αντιδρώντας χημικά με τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, εξουδετερώνει την οξύτητα δημιουργώντας σάπωνες, οι οποίοι, στη συνέχεια, μέσω της διαδικασίας της φυγοκέντρισης, απομακρύνονται από το προϊόν. Κατά την εξέλιξη της διαδικασίας αυτής απομακρύνονται από το προϊόν και σημαντικές ποσότητες λειτουργικών συστατικών, όπως στερόλες και τοκοφερόλες. Έπειτα, ακολουθεί η πλύση, στην οποία χρησιμοποιείται ζεστό νερό για να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα σαπουνιού που ενδεχομένως παρέμειναν στο προϊόν και στο τέλος το προστιθέμενο νερό απομακρύνεται με ένα δεύτερο στάδιο φυγοκέντρισης ή με σύστημα κενού, μέχρις ότου η υγρασία να μην ξεπερνά το 0,5% (Ruiz-Méndez et al., 2013; Gharby, 2022).

Στο τρίτο στάδιο (λεύκανση ή αποχρωματισμός) πραγματοποιείται απομάκρυνση των έγχρωμων ενώσεων, όπως χλωροφύλλες και καροτενοειδή, μέσω θέρμανσης στους 90-110 °C, προσκόλλησης στα προσροφητικά υλικά (όπως ο ενεργός άνθρακας). Η απομάκρυνση αυτών γίνεται με διήθηση. Στο στάδιο αυτό απομακρύνονται παράλληλα και τα υπολείμματα των παραπάνω διεργασιών (Ruiz-Méndez et al., 2013; Gharby, 2022).

Στο τελευταίο στάδιο (απόσπηση) το προϊόν θερμαίνεται στους 180-270 °C σε κενό αέρος και απομακρύνονται οι ανεπιθύμητες οσμές που προκύπτουν από τις πτητικές ενώσεις των ελαίων, τα υπολειπόμενα ελεύθερα λιπαρά οξέα και τα δευτερογενή προϊόντα της οξείδωσης. Κατά την εν λόγω διαδικασία καταστρέφονται και σημαντικά φυτοχημικά συστατικά, όπως οι τοκοφερόλες, τα καροτενοειδή και οι στερόλες του προϊόντος, ενώ ταυτόχρονα παράγονται *trans* ακόρεστα λιπαρά οξέα και πολυμερείς τριακυλογλυκερόλες (Chew & Nyam, 2020).

Ο φυσικός εξευγενισμός διαφέρει από τον χημικό στην απαλλαγή του σταδίου της εξουδετέρωσης, αλλά και στη χρήση υψηλότερης θερμοκρασίας υπό χαμηλή πίεση κατά την απόσπηση, έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα ελεύθερα λιπαρά οξέα (Gharby, 2022).

Το εξευγενισμένο ελαιόλαδο που προκύπτει από όλη τη διαδικασία είναι

άχρωμο, άοσμο, άγευστο και δεν διαθέτει πλέον τα λειτουργικά συστατικά των παρθέ-
νων ελαιόλαδων (τοκοφερόλες, φαινόλες και φυτοστερόλες). Η απουσία αυτών θα ε-
πηρέασει την οξειδωτική σταθερότητα και την διατροφική αξία του εξευγενισμένου
ελαίου (Chew & Nyam, 2020).

1.2.4. Λειτουργικά συστατικά του εξαιρετικά παρθένου ελαιόλαδου – σύσταση και διατροφική αξία

Το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο αποτελείται κυρίως από μονοακόρεστα λι-
παρά οξέα (MUFAs), όπως ελαϊκό οξύ (C18:1) (έως 76%) (Kim et al., 2020), ορισμένα
πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs), όπως το λινελαϊκό οξύ (C18:2 ω-6), και άλλες
μικρότερες ποσότητες από άλλες ενώσεις, όπως οι πολύτιμες φαινολικές ενώσεις –ό-
πως η υδροξυτυροσόλη, η ελαιοευρωπαϊνή και η τυροσόλη–, οι τοκοφερόλες, οι υδα-
τάνθρακες –όπως το σκουαλένιο– και οι χρωστικές ενώσεις –χλωροφύλλη και καροτέ-
νοειδή– (Jimenez-Lopez et al., 2020).

Σχετικά με τη σύστασή του σε λιπαρά οξέα, σημειώνεται πως το ελαιόλαδο
έχει την ιδανική αναλογία PUFA:MUFA, συγκριτικά με τα υπόλοιπα φυτικά έλαια, η
οποία του προσδίδει αξιοσημείωτες ιδιότητες σταθερότητας, έναντι της οξειδωτικής
θερμικής αποικοδόμησης, καθιστώντας το ιδανικό έλαιο για έντονες θερμικές επεξερ-
γασίες όπως το τηγάνισμα (Molina-Garcia et al., 2017). Η σχέση αυτή, σε συνδυασμό
με την δράση των φαινολικών ενώσεων και την μειωμένη περιεκτικότητα σε κορε-
σμένα λιπαρά οξέα, επωφελούν ιδιαίτερα τον ανθρώπινο οργανισμό, καθώς μειώνουν
τα επίπεδα της LDL χοληστερόλης και, παράλληλα, αποτρέπουν την οξείδωσή της, η
οποία ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τις καρδιαγγειακές ασθένειες, ενώ ενισχύουν το
εσωτερικό τοίχωμα των αγγείων, αποτρέποντας το ενδεχόμενο δημιουργίας θρομβώ-
σεων και επιτρέποντας την ανεμπόδιστη κυκλοφορία του αίματος στον ανθρώπινο ορ-
γανισμό (Kouli et al., 2019; Jimenez-Lopez et al., 2020; Chen et al., 2021).

Οι πολυφαινόλες, όπως και τα άλλα αντιοξειδωτικά συστατικά, αναστέλλουν
την οξείδωση των λιπιδίων που προκαλείται από αλυσιδωτές αντιδράσεις ελεύθερων
ριζών σε βιολογικά συστήματα, προσφέροντας οξειδωτική σταθερότητα στα έλαια. Ο
μηχανισμός βασίζεται στην ικανότητα της υδροξυλομάδας της φαινόλης να σταθερο-
ποιεί την δομή των ελευθέρων ριζών, παρέχοντάς τους ένα ηλεκτρόνιο, με το φαινό-
μενο του συντονισμού (Liu et al., 2020; Zeb, 2021).

Το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, ως σημαντική πηγή των φαινολών,

φυσικών ενώσεων ιδιαίτερα ευεργετικών για την ανθρώπινη υγεία, συμβάλλουν με την αντιοξειδωτική, την αντικαρκινική και την αντιφλεγμονώδη δράση τους στην ενίσχυση της υγείας του ανθρώπου, προσφέροντας παράλληλα προστασία από διάφορες χρόνιες ασθένειες (Acosta-Estrada et al., 2014; Zeb, 2021; Ebrahimi et al., 2022). Ειδικότερα, τα συστατικά του εξαιρετικά παρθένου ελαιόλαδου, όπως η υδροξυτυροσόλη και η ελαιοκανθάλη έχουν σημαντική αντιφλεγμονώδη δράση –εφόσον η χρήση του ελαιολάδου εντάσσεται συστηματικά στην καθημερινή διατροφή–, συμβάλλοντας στην ενίσχυση του καρδιαγγειακού συστήματος και προστατεύοντας σε μεγάλο βαθμό από την εκδήλωση εμφραγμάτων και εγκεφαλικών επεισοδίων (Yubero-Serrano et al., 2019).

Η γενικά πολύ υψηλή απορρόφηση των συστατικών του εξαιρετικά παρθένου και παρθένου ελαιόλαδου από τον οργανισμό του ανθρώπου αποδίδεται στα τριγλυκερίδια που το ελαιόλαδο περιέχει σε μεγάλη ποσότητα (Jimenez-Lopez et al., 2020). Επιπλέον, η ύπαρξη χλωροφύλλης –της κυριότερης χρωστικής του ελαιόλαδου– συντελεί στην κυτταρική ανάπτυξη και ενισχύει τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό στο αίμα (αιμοποίηση), ενώ η ύπαρξη υδρογονανθρακικών ενώσεων (σκουαλένιο και β-καροτένιο), τοκοφερολών (κυρίως α-τοκοφερόλης) και στερολών (β-σιτοστερόλη) προσφέρει προστασία από το οξειδωτικό στρες, τις ασθένειες που σχετίζονται με φλεγμονές αλλά και μειώνει τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου (Salazar et al., 2017). Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί πως όλα αυτά τα βιοδραστικά συστατικά του ελαιολάδου καταστρέφονται κατά την διεργασία του εξευγενισμού, για αυτό και ανιχνεύονται μόνο στα παρθένα ελαιόλαδα (Chew & Nyam, 2020).

1.2.5. Πυρηνέλαιο – ένα παραπροϊόν της ελαιοπαραγωγής

Το πυρηνέλαιο αποτελεί ένα σημαντικό παραπροϊόν της παραγωγής του ελαιολάδου με ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον, καθώς η σύστασή του, το καθιστά ιδιαίτερα πολύτιμο στην αγορά. Παρά το γεγονός ότι προκύπτει ως παραπροϊόν από τη διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου, η υψηλή περιεκτικότητά του σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα και αντιοξειδωτικές ενώσεις το καθιστά μια φθηνότερη αλλά και ποιοτική εναλλακτική για πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων. Επιπλέον, η επεξεργασία και η εμπορία του συμβάλλουν σημαντικά στην οικονομική βιωσιμότητα των παραγωγών, ειδικά σε περιοχές με υψηλή παραγωγή ελαιολάδου, καθώς επιτρέπει τη μέγιστη αξιοποίηση των παραπροϊόντων, μειώνοντας τα απόβλητα και αυξάνοντας τα κέρδη (Pettrakis, 2006).

Το εξευγενισμένο πυρηνέλαιο αποτελείται κυρίως από μονοακόρεστα λιπαρά οξέα, όπως το ελαϊκό οξύ (56-85%), πολυακόρεστα, όπως το λινελαϊκό (3-21%) και το λινολενικό (0,1-1,5%), αλλά και παλμιτικό (6-20%) και στεατικό οξύ (0,3-3,5%). Εκτός από τα κύρια λιπαρά οξέα, το πυρηνέλαιο παρουσιάζει ενδιαφέρον λόγω των δευτερευόντων συστατικών, τα οποία έχουν αποδεδειγμένες βιολογικές δράσεις και είναι ωφέλιμα για την ανθρώπινη υγεία, ακόμα και αν βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις λόγω της διεργασίας του εξευγενισμού. Ορισμένα από αυτά τα συστατικά, είναι οι φυτοστερόλες και οι τοκοφερόλες (Mateos et al., 2020).

Σημειώνεται ότι οι φυτοστερόλες στο πυρηνέλαιο, όπως η β-σιτοστερόλη (με περιεκτικότητα άνω του 93%), βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (1800-3000 mg/Kg) σε σύγκριση με τα παρθένα ελαιόλαδα (800-2400 mg/Kg), ενώ οι τοκοφερόλες, γνωστές για την αντιοξειδωτική τους δράση, βρίσκονται σε επίπεδα παρόμοια με εκείνα των παρθένων ελαιολάδων (~300 mg/Kg). Αυτό συμβαίνει διότι, παρόλο που ο εξευγενισμός καταστρέφει εν μέρει αυτά τα συστατικά, η προσθήκη παρθένου ελαιολάδου στο τελικό εμπορικό προϊόν πυρηνελαίου (Πίνακας 3) συμβάλλει στην αύξηση των συγκεντρώσεών του (Mateos et al., 2020)..

Η σημασία των φυτοστερολών, πέραν της αντιφλεγμονώδους δράσης τους, έγκειται στην ικανότητα τους να αναστέλλουν την απορρόφηση της χοληστερόλης μειώνοντας έτσι τα επίπεδά της. Οι τοκοφερόλες, παράλληλα, εμποδίζουν τον πολλαπλασιασμό των ελεύθερων ριζών στις μεμβράνες και τις λιποπρωτεΐνες του πλάσματος. Η κύρια εξ αυτών, η α-τοκοφερόλη, αποτρέπει την υπεροξειδωση των λιπιδίων διατηρώντας την ακορεστότητα των κυτταρικών μεμβρανών (Mateos et al., 2020).

Πίνακας 4: Κατηγορίες πυρηνελαίου. Τροποποίηση από τον Κανονισμό του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου Νο 1234/2007 (Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2007).

Κατηγορία	Χαρακτηριστικά	Οξύτητα
Ακατέργαστο πυρηνέλαιο	Λαμβάνεται από τους ελαιοπυρήνες «κατόπιν επεξεργασίας με διαλύτες ή με φυσικά μέσα ή έλαιο που αντιστοιχεί, με εξαίρεση ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, σε ελαιόλαδο λαμπάντε». Εξαιρούνται τα έλαια που περιλαμβάνει η κατηγορία των παρθένων.	
Εξευγενισμένο πυρηνέλαιο	Λαμβάνεται με «εξευγενισμό του ακατέργαστου πυρηνελαίου».	≤ 0,3%
Πυρηνέλαιο	Μείγμα εξευγενισμένου και παρθένων ελαιολάδων, εκτός του λαμπάντε.	≤ 1%

1.2.5.1. Παραλαβή και εξευγενισμός πυρηνελαίου

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η διαδικασία παραλαβής του ελαιολάδου περιλαμβάνει άλεση, μάλαξη και δύο στάδια φυγοκέντρισης. Η πάστα που απομένει μετά τη φυγοκέντριση, η οποία αποτελείται κυρίως από νερό, ελαιοπυρήνα, φλοιούς ελιάς και ελαιοζύμη, παραμένει πλούσια σε έλαιο σε ποσοστό περίπου 12 με 15% του συνολικού ελαίου. Η εξαγωγή αυτού του ελαίου από το στερεό υπόλειμμα πραγματοποιείται μέσω δεύτερης διαδικασίας φυγοκέντρισης. Έπειτα, η ελαιοπυρήνας ξηραίνεται, φτάνοντας σε επίπεδα υγρασίας περίπου 7-8%. Ο αποξηραμένος ελαιοπυρήνας αλέθεται και τελικά εκχυλίζεται με τη βοήθεια εξάνιου. Το έλαιο που προέρχεται από την συγκεκριμένη διαδικασία, σε συνδυασμό με το έλαιο που λαμβάνεται με εκχύλιση με εξάνιο, αποτελεί το ακατέργαστο πυρηνέλαιο (Petraakis, 2006; Mateos et al., 2020).

Το ακατέργαστο πυρηνέλαιο, ωστόσο, δεν θεωρείται κατάλληλο για κατανάλωση, όποτε συνήθως ακολουθείται χημικός εξευγενισμός για την απομάκρυνση ενώσεων που ευθύνονται για ανεπιθύμητα χρώματα, οσμές, γεύσεις, καθώς και ενώσεις που επηρεάζουν την σταθερότητα του λαδιού. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν την αποκομμίωση, την εξουδετέρωση με αλκάλια, την λεύκανση και την απόσμιση (Mateos et al., 2020).

Κατά την αποκομμίωση, προστίθεται σε ακατέργαστο πυρηνέλαιο νερό και φωσφορικό οξύ ή κιτρικό οξύ, προκειμένου να αφαιρεθούν κυρίως τα φωσφολιπίδια και οι κολλώδεις/βλεννώδεις ουσίες που καθιστούν το προϊόν απωθητικό και επιρρεπές στην οξειδωτική τάγγιση. Τα φωσφολιπίδια έχουν την τάση να συνδέονται με μέταλλα, τα οποία δρουν ως προοξειδωτικά καταλύοντας αντιδράσεις οξειδωσης. Το στάδιο της αποκομμίωσης δεν εφαρμόζεται ωστόσο στο ελαιόλαδο, αφού συγκεκριμένες ενώσεις απουσιάζουν σε αυτό (Ruiz-Méndez et al., 2013; Gharby, 2022). Η αλκαλική εξουδετέρωση, με χρήση διαλυμάτων NaOH, απομακρύνει τα ελεύθερα λιπαρά οξέα και άλλα ανεπιθύμητα στοιχεία. Τέλος, η λεύκανση αφαιρεί τα δυσάρεστα χρώματα του πυρηνελαίου, ενώ η απόσμιση απομακρύνει πτητικά συστατικά και άλλες ουσίες με θερμότητα και ατμό (Petraakis, 2006).

Συνολικά, ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα πυρηνέλαιο υψηλής ποιότητας και σταθερότητας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη βιομηχανία, καθώς οι καταναλωτές απαιτούν προϊόντα υψηλής ποιότητας και μειωμένων ανεπιθύμητων συστατικών. Επιπλέον, η διύλιση βοηθάει στην οξειδωτική σταθερότητα και στην αποφυγή προβλημάτων από την υγρασία του ελαίου, καθώς κατά τη διαδικασία αφαιρούνται

επιρρεπείς στην οξείδωση ουσίες (Petракis, 2006).

1.2.6. Υποβαθμίσεις του ελαιόλαδου

Όπως προαναφέρθηκε, το εξαιρετικά παρθένο και παρθένο ελαιόλαδο δεν έχουν υποστεί καμία χημική διεργασία και, επομένως, διαθέτουν στον μέγιστο δυνατό βαθμό, όλα τα λειτουργικά συστατικά και τις επωφελείς για την ανθρώπινη υγεία ιδιότητες. Τόσο όμως η ίδια η διαδικασία παραλαβής όσο και οι συνθήκες αποθήκευσης του προϊόντος μπορεί να οδηγήσουν σε υποβάθμισή του, μειώνοντας έτσι τα φυσικά του χαρακτηριστικά και τη διατροφική του αξία. Η οξειδωτικές διεργασίες που επηρεάζονται σε αυτά τα στάδια είναι ο κύριος λόγος της υποβάθμισης του ελαιόλαδου και άρα της μειωμένης σταθερότητάς του κατά την αποθήκευση. Ακόμη, τα φαινόμενα αυτά συμβαίνουν όταν το ελαιόλαδο έρχεται σε επαφή με μεταλλικά εξαρτήματα μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία παραλαβής του (Daskalaki et al., 2009; Morales & Przybylski, 2013).

Είναι χαρακτηριστικό επίσης, όσον αφορά τη διαδικασία αποθήκευσης του προϊόντος, ότι εάν το ελαιόλαδο αποθηκευτεί σε διάφανα δοχεία, η επαφή του με το ηλιακό φως οδηγεί στην έναρξη της διαδικασίας της φωτοοξείδωσης, που υποβαθμίζει την ποιότητά του και τη διατροφική του αξία (φαινόμενο της τάγγισης). Αντίθετα, η αποθήκευση του εξαιρετικά παρθένου και παρθένου ελαιόλαδου σε ανοξείδωτα δοχεία, κεραμικά ή αδιαφανή γυάλινα δοχεία επιτρέπει την μακροζωία του ελαιόλαδου (Daskalaki et al., 2009; Morales & Przybylski, 2013).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένοι βασικοί μηχανισμοί που οδηγούν στην υποβάθμιση του ελαιόλαδου (αλλά και άλλων εδώδιμων φυτικών ελαίων, όπως δειχθεί στη συνέχεια).

1.2.6.1. Μηχανισμός υδρόλυσης

Η υδρόλυση είναι αντίδραση που εμφανίζεται στο ελαιόλαδο (και γενικότερα στα εδώδιμα φυτικά έλαια), όταν αυτό τεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες (170-200 °C). Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος το ελαιόλαδο, φτάνοντας στις παραπάνω θερμικές συνθήκες, αρχίζει να χάνει μέρος της υγρασίας του. Στη συνέχεια, ακολουθεί η υδρόλυση των τριγλυκεριδίων σε γλυκερόλη, ελεύθερα λιπαρά οξέα και

μονο-/διγλυκερίδια (Ganesan et al., 2018). Η γλυκερόλη που παράγεται διασπάται σε μεθάνιο και CO₂, αλλά συντελεί και στην απευθείας παραγωγή υδρογόνου. Επισημαίνεται πως η υδρόλυση αυτοκαταλύεται από την παραγωγή του υδρογόνου. Η υδρογόνωση, μηχανισμός μετατροπής των ακόρεστων λιπαρών οξέων σε κορεσμένα, μέσω διάσπασης των π-δεσμών, είναι αποτέλεσμα της παραγωγής του υδρογόνου που προαναφέρθηκε (Zanon Costa et al., 2020).

1.2.6.2. Μηχανισμός οξείδωσης

Όπως έχει προαναφερθεί, το ελαιόλαδο (όπως και άλλα εδώδιμα φυτικά έλαια) σε συνθήκες μαγειρέματος, αποθήκευσης ή χειρισμού/επεξεργασίας υπόκειται σε διαδικασίες υποβάθμισης των ποιοτικών του χαρακτηριστικών λόγω της οξείδωσης. Αυτή η αντίδραση καθιστά το ελαιόλαδο επιβλαβές για τον καταναλωτή, καθώς, πέρα από την καταστροφή των θρεπτικών συστατικών, αλλοιώνεται και η γεύση του ελαιόλαδου. Ο κίνδυνος, για την υγεία του καταναλωτή, που προκύπτει μέσω της οξείδωσης βέβαια δεν έχει σχέση με την ποιοτική υποβάθμιση, αλλά με την παραγωγή τοξικών προϊόντων, όπως αντιδραστικές καρβονυλικές και προϊόντα προηγμένης λιπιδικής υπεροξειδάσης (Fadda et al., 2022).

Η οξείδωση του ελαιόλαδου (και γενικότερα εδώδιμων φυτικών ελαίων) προκαλεί γενικά μείωση της περιεκτικότητας σε ακόρεστα λιπαρά οξέα και λαμβάνει χώρα σε τρεις περιόδους: της επαγωγής, της διάδοσης και του τερματισμού (Fadda et al., 2022).

Κατά την περίοδο της επαγωγής, τα άτομα υδρογόνου αποκολλώνται από τον δεσμό R-H, δημιουργώντας ελεύθερες ή αλκυλικές ρίζες (R•). Ως επί το πλείστον, οι ελεύθερες ρίζες είναι ασταθείς ενώσεις, οι οποίες περιέχουν ένα τουλάχιστον ασύζευκτο ηλεκτρόνιο. Σε αυτό το στάδιο, τα αντιοξειδωτικά (φυσικά ή τεχνητά) επιμηκύνουν το στάδιο, εξουδετερώνοντας τις ρίζες. Ταυτόχρονα επιδρούν και οι προ-οξειδωτικοί παράγοντες, όπως το οξυγόνο, η θερμοκρασία, η ακτινοβολία και ίχνη μετάλλων (χαλκός και σίδηρος, οι οποίοι δρουν καταλυτικά) (Fadda et al., 2022; Gomna et al., 2019; X. Zhang et al., 2023).

Κατά την περίοδο της διάδοσης, η απορρόφηση του οξυγόνου επιταχύνεται και οι ελεύθερες ρίζες αντιδρούν με το οξυγόνο, δημιουργώντας ελεύθερες υπεροξειδικές ρίζες (ROO•). Στη συνέχεια, οι ρίζες του υπεροξειδίου αντιδρούν με μη ριζικά λιπιδικά μόρια (μη οξειδωμένα λιπαρά οξέα) και αποσπών υδρογόνο σχηματίζοντας

υδροϋπεροξειδία (ROOH), τα πρωτογενή προϊόντα οξειδωσης, ενώ παράλληλα δημιουργείται νέα ελεύθερη ρίζα, διαδίδοντας την αλυσιδωτή αυτή αντίδραση. Επίσης, το υδροϋπεροξειδίο μπορεί να διασπαστεί και να σχηματίσει αλκόξυ-ρίζες (RO•), μόρια δραστικά τα οποία επιταχύνουν την οξειδωση. Σημειώνεται πως το υδροϋπεροξειδίο, το οποίο είναι ασταθής ένωση, συσσωρεύεται συνεχώς και μπορεί να διασπαστεί σε ρίζες RO•, •OH, επιταχύνοντας περαιτέρω την διάδοση. Κατ' επέκταση, σχηματίζονται διάφορες καρβονυλικές ενώσεις ως δευτερογενή προϊόντα οξειδωσης, όπως αλκοόλες, κετόνες, αλδεΐδες και ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους από αντιδράσεις πολυμερισμού (AL-Tarifi et al., 2020; Gomna et al., 2019; X. Zhang et al., 2023).

Ακολουθεί το τελευταίο στάδιο, του τερματισμού. Κατά τη διάρκεια αυτού, ορισμένες ελεύθερες ρίζες αλληλεπιδρούν και μπορούν να ενωθούν (R-R), παύοντας να είναι πλέον δραστικές και δημιουργώντας μακρομοριακές ενώσεις. Ανάλογο φαινόμενο παρατηρείται με διάφορες ενώσεις, όπως με δύο ελεύθερες ρίζες υπεροξειδίου (ROOR + O₂) ή μίας ελεύθερης ρίζας και μίας ρίζας υπεροξειδίου (ROOR) (Gomna et al., 2019).

Στον Πίνακα 4 που ακολουθεί εμφανίζονται τα στάδια οξειδωσης φυτικών ελαίων (Gomna et al., 2019).

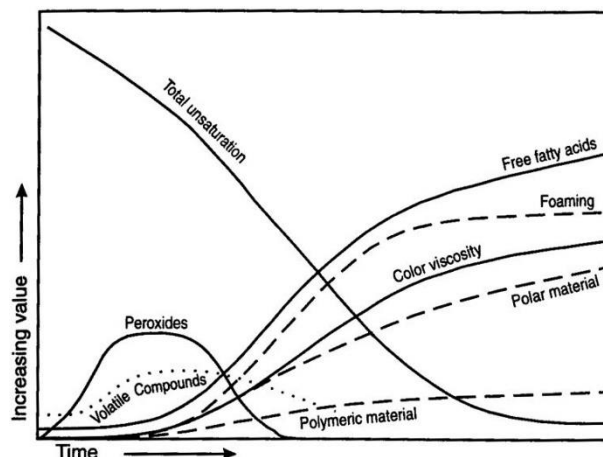
Πίνακας 5: Στάδια οξειδωσης φυτικών ελαίων (Gomna et al., 2019).

Στάδια οξειδωσης	Αντιδράσεις
<i>Επαγωγή</i>	$RH \rightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet}$
<i>Διάδοση</i>	$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow ROO^{\bullet}$
	$ROO^{\bullet} + RH \rightarrow ROOH + R^{\bullet}$
	$ROOH \rightarrow RO^{\bullet} + ^{\bullet}OH$
	$RO^{\bullet} + RH + O_2 \rightarrow ROH + ROO^{\bullet}$
	$^{\bullet}OH + RH + O_2 \rightarrow H_2O + ROO^{\bullet}$
<i>Τερματισμός</i>	$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \rightarrow ROOR + O_2$
	$ROO^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow ROOR$
	$R^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow R-R$

1.2.6.3. Θερμικός πολυμερισμός

Το τηγάνισμα είναι μια εξαιρετικά δημοφιλής μέθοδος θερμικής επεξεργασίας στη βιομηχανία τροφίμων και τα νοικοκυριά, επειδή προσδίδει αισθητηριακά επιθυμητή γεύση και υφή στα τρόφιμα, τα οποία εφαρμόζεται. Όταν το ελαιόλαδο (αλλά και άλλα εδάδιμα φυτικά έλαια) εκτίθεται σε υψηλή θερμοκρασία (συνήθως 150 °C - 190 °C) υπόκειται σε επιταχυνόμενη οξείδωση και υδρόλυση, ενώ λαμβάνουν χώρα πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις που παράγουν πολυάριθμα προϊόντα, όπως αλδεΐδες και πολυμερή των τριακυλογλυκερολών. Τα συγκεκριμένα χημικά προϊόντα προκαλούν τη μεγαλύτερη ανησυχία, λόγω της δυνατότητάς τους να επηρεάσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία. Οι χημικές αντιδράσεις που εμπλέκονται στην οξείδωση των λιπιδίων κατά τη θερμική αποσύνθεση του ελαιόλαδου, ωστόσο, δεν είναι πλήρως εξακριβωμένες και μπορεί να διαφέρουν όσον αφορά τα διαφορετικά εδάδιμα φυτικά έλαια και τις συνθήκες οξείδωσής τους. Όσον αφορά στα προϊόντα, ορισμένα από αυτά είναι πτητικά, καταλήγουν στους καπνούς του ελαίου και δεν παραμένουν στο έλαιο –όπως πολλές γονοτοξικές και κυτταροτοξικές αλδεΐδες–, ενώ άλλα, όπως τα πολυμερή και οι πολικές ενώσεις, παραμένουν, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις τους να αυξάνονται συνεχώς κατά τη διάρκεια των πειραμάτων τηγανίσματος και θέρμανσης (H.-S. Hwang et al., 2020).

Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται οι φυσικοχημικές μεταβολές γενικά στα εδάδιμα φυτικά έλαια κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος. Επισημαίνεται πως οι διαφορετικοί τύποι φυτικών ελαίων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στη σύνθεση του θερμικά αποσυντεθειμένου ελαίου (Gomna et al., 2019).



Σχήμα 1: Διάγραμμα φυσικοχημικών μεταβολών των φυτικών ελαίων κατά το τηγάνισμα (Gomna et al., 2019).

Από τις αντιδράσεις οξειδωσης, η αντίδραση πολυμερισμού είναι η ταχύτερη όταν το έλαιο θερμαίνεται σε κανονικές θερμοκρασίες τηγανίσματος, συνήθως πάνω από 110 °C (H.-S. Hwang et al., 2020). Ο πολυμερισμός συμβάλλει στη δημιουργία ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους, αυξάνοντας παράλληλα το ιξώδες (X. Zhang et al., 2023). Οι ενώσεις που συμμετέχουν στον πολυμερισμό είναι η οξειδωμένη μορφή των τριγλυκεριδίων (OX-TGs), η οποία παράγεται κατά την αποθήκευση ή το τηγάνισμα σχηματίζοντας τα πολυμερή τριγλυκεριδίων (TGP) (Y. Zhang et al., 2023).

1.3. Σογιέλαιο

1.3.1. Χαρακτηριστικά του σογιέλαιου

Το σογιέλαιο εξάγεται από τους σπόρους του φυτού της σόγιας (*Glycine max L*). Το φυτό σόγια καταγράφεται ως εδώδιμο στην Κίνα από τον 11^ο αιώνα π.Χ., ενώ από τον 18^ο αιώνα μ.Χ. η σόγια γίνεται γνωστή για τα διατροφικά της χαρακτηριστικά στην Ευρώπη (Γερμανία), απ' όπου και διαδίδεται η χρήση της σε όλο τον κόσμο (Zaaboul et al., 2022).

Οι σπόροι της σόγιας περιέχουν 18%–22% λιπίδια, τα οποία περιβάλλονται από φυσικούς γαλακτωματοποιητές (Zaaboul et al., 2022). Επιπλέον, οι σπόροι της σόγιας αποτελούν σημαντική πηγή πρωτεϊνών, με περιεκτικότητα 38%–42% και προσφέρουν μία εξαιρετική πηγή ακόρεστων λιπαρών οξέων, όπως το λινελαϊκό οξύ, το οποίο είναι απαραίτητο για την ανθρώπινη υγεία (Gobana & Geleta, 2022).

Το σογιέλαιο αποτελεί το δεύτερο πιο δημοφιλές έλαιο παγκοσμίως, μετά το φοινικέλαιο. Σήμερα, χώρες στις οποίες κατεξοχήν καλλιεργείται και παράγεται το σογιέλαιο είναι η Κίνα με παραγωγή το 2016 28,55 τοις εκατό, οι Η.Π.Α. (18,68%), η Αργεντινή (15,95%) και η Βραζιλία (14,66%) (Zhou et al., 2020).

Το σογιέλαιο, έπειτα από εξευγενισμό ώστε να καταστεί βρώσιμο, έχει άχρωμη εμφάνιση και είναι άοσμο. Πρόκειται για ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο έλαιο στη βιομηχανία και κυρίως για θερμική επεξεργασία τροφίμων, όπως το τηγάνισμα και το ψήσιμο, λόγω χαμηλού κόστους και υψηλού σημείου καπνού (230,5-233,5 °C) (Eke-Ejiofor et al., 2021).

1.3.2. Μέθοδοι επεξεργασίας της σόγιας και παραλαβής του σογιέλαιου

Για την παραλαβή του εδώδιμου ελαίου της σόγιας χρησιμοποιείται ευρέως η διαδικασία εξαγωγής με μηχανική έκθλιψη. Αρχικά, οι σπόροι της σόγιας συγκεντρώνονται και καθαρίζονται από φύλλα, χώμα, μίσχους ή άλλα ανεπιθύμητα σωματίδια και αποφλοιώνονται. Στην συνέχεια ακολουθεί το άλεσμα της σόγιας με σκοπό την μετατροπή της σε μορφή σκόνης αυξάνοντας την επιφάνεια επαφής και βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την απόδοση της επερχόμενης εκχύλισης (Fernandes & Draghi, 2016).

Έπειτα, οι σπόροι σόγιας ενυδατώνονται για 6 τουλάχιστον ώρες σε θερμοκρασία 4 °C και, στη συνέχεια, αλέθονται και ομογενοποιούνται με διαδικασία ανάδευσης με απιονισμένο νερό. Η άλεση σε συνδυασμό με την ενυδάτωση καταστρέφουν το φυτικό κυτταρικό τοίχωμα του σπόρου και επιτρέπει την εξαγωγή των λιπιδίων από το εσωτερικό του κυττάρου, το οποίο ανακτάται με φυγοκέντριση (Zaaboul et al., 2022).

Στη συνέχεια γίνεται η εκχύλιση με την χρήση μηχανικής πίεσης (πρέσας). Η εκχύλιση μπορεί να γίνει με χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία ή με συνδυασμό των δύο τρόπων. Ανάλογα με την αναμενόμενη ποιότητα και απόδοση του σογιέλαιου θα επιλεγθεί και η κατάλληλη θερμοκρασία. Με εξαγωγή του σογιέλαιου σε χαμηλή θερμοκρασία παραλαμβάνεται έλαιο καλύτερης ποιότητας σε σύγκριση με την εκχύλιση σε υψηλής θερμοκρασίας. Το συγκεκριμένο συμβαίνει επειδή οι ανεπιθύμητες ουσίες που υπάρχουν στον κόκκο εκχυλίζονται σε μικρότερες ποσότητες σε υψηλές θερμοκρασίες (Fernandes & Draghi, 2016).

Σημαντικές παράμετροι για την παραλαβή σογιέλαιου από το άλευρο της σόγιας είναι η οξύτητα, το μέγεθος των σπόρων της σόγιας, ο ρυθμός της ανάδευσης, η αναλογία στερεού-υγρού, ο χρόνος εκχύλισης και η θερμοκρασία εντός της οποίας πραγματοποιείται (Campbell & Glatz, 2009).

Εκτός από την μηχανική έκθλιψη, η παραλαβή του σογιέλαιου από το φυτό πραγματοποιείται και με χημική εκχύλιση, με τη χρήση οργανικών διαλυτών. Οι κυριότεροι από τους οργανικούς διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι οι υδρογονάνθρακες, με βασικότερο το n-εξάνιο. Η χρήση του είναι ευρέως διαδεδομένη λόγω του υψηλού βαθμού ανάκτησης, της σταθερότητάς του, ωστόσο θεωρείται αρκετά επιβλαβερή για το περιβάλλον, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων διαλύτη που απαιτούνται για την εξαγωγή του ελαίου (Fernandes & Draghi, 2016; Gobana & Geleta, 2022).

Η λειτουργία αυτής της χημικής διεργασίας βασίζεται στην καταστροφή των κυτταρικών τοιχωμάτων και μεμβρανών μέσω του οργανικού διαλύτη που έχει

επιλεχθεί. Συγκεκριμένα, η συνθήκη αυτή προκύπτει μέσω της καταστροφής της κυτταρίνης του τοιχώματος αλλά και της διάλυσης των λιποπρωτεΐνων που σχηματίζουν την μεμβράνη και είναι διαλυτές στο οργανικό διαλύτη. Τέλος, η χημική εκχύλιση απαιτεί περισσότερο χρόνο σε σχέση με την μηχανική, αλλά η εξαγωγή σογιέλαιου από τους σπόρους είναι 55% υψηλότερη από τη μηχανική μέθοδο (Fernandes & Draghi, 2016; Gobana & Geleta, 2022).

1.3.3. Ο εξευγενισμός (ραφινάρισμα) του σογιέλαιου

Το ακατέργαστο σογιέλαιο που παράγεται με τις προαναφερόμενες διαδικασίες είναι απαραίτητο να υποβληθεί σε διαδικασία εξευγενισμού (ραφινάρισματος), προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να καταναλωθεί. Το ραφινάρισμα έχει σκοπό την απομάκρυνση των ελεύθερων λιπαρών οξέων και ταυτόχρονα την μείωση των κόμμεων, των φωσφατιδίων, των μη σαπωνοποιήσιμων υλικών αλλά και των χρωστικών. Μέσω του εξευγενισμού αποφεύγεται το σκούρο χρώμα η θόλωση του ελαίου αλλά και ο αφρισμός. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται εκτενώς με χημικές μεθόδους (O'Brien, 2008). Ο χημικός εξευγενισμός περιλαμβάνει κατά βάση πέντε (5) στάδια:

Κατά το πρώτο στάδιο (αποκομμίωση) προστίθεται στο ακατέργαστο σογιέλαιο φωσφορικό ή κιτρικό οξύ ή νερό, προκειμένου να διαλυθούν τα πλεονάζοντα φωσφολιπίδια και να καταστεί το χρώμα του σογιέλαιου καθαρότερο και ελκυστικότερο. Κατά την ίδια διαδικασία απομακρύνονται κολλώδεις (βλεννώδεις) ενώσεις και πρωτεΐνες, αλλά και μικρό ποσοστό ελεύθερων λιπαρών οξέων, που μειώνουν την ελκυστικότητα του προϊόντος, διευκολύνεται η περαιτέρω επεξεργασία και παράλληλα αυξάνεται σημαντικά η σταθερότητα του προϊόντος στη γεύση και το χρώμα (O'Brien, 2008).

Στο δεύτερο στάδιο (εξουδετέρωση με αποξίνιση) αφαιρούνται από το σογιέλαιο τα ελεύθερα λιπαρά οξέα τα οποία συνεχίζουν να υπάρχουν μετά το στάδιο της αποκομμίωσης. Με την προσθήκη αλκαλικών διαλυμάτων, όπως το υδροξείδιο του νατρίου (NaOH), δημιουργείται εναιώρημα σαπώνων το οποίο, στη συνέχεια θερμαίνεται και απομακρύνεται με φυγοκέντριση και πλύση, με αποτέλεσμα να εξουδετερωθεί η οξύτητα του σογιέλαιου (O'Brien, 2008).

Το τρίτο στάδιο (λεύκανση ή αποχρωματισμός) πρόκειται για μία κρίσιμη διαδικασία που στοχεύει στην απομάκρυνση των προ-οξειδωτικών χρωστικών

παραγόντων, όπως είναι χλωροφύλλες, και στον σχηματισμό καρβονυλικών ενώσεων, λόγω αποσύνθεσης του υπεροξειδίου. Κατά το στάδιο αυτό λοιπόν, προστίθεται στο σογιέλαιο συνήθως λευκαντική γαία, η οποία ενεργοποιείται με οξύ και έχει την ικανότητα να προσροφά τις ανεπιθύμητες χρωστικές του σογιέλαιου, εκμηδενίζει τον αριθμό των υπεροξειδίων, προσφέροντας ένα αισθητηριακά αποδεκτό προϊόν. Οι καρβονυλικές ενώσεις που προκύπτουν έχουν μικρότερα μοριακά βάρη, και απομακρύνονται κατά την απόσμηση (Subroto, 2020).

Στο τέταρτο στάδιο του ραφινάρισματος (απόσμηση) διαμορφώνεται η οσμή του τελικού προϊόντος. Συγκεκριμένα, η απόσμηση είναι μια διεργασία που πραγματοποιείται μέσω απόσταξης με θερμό ατμό που διοχετεύεται στο σογιέλαιο, υπό κενό (<6 mmHg) και υψηλή θερμοκρασία (252-266 °C), με σκοπό την απομάκρυνση των ελεύθερων λιπαρών οξέων και των πτητικών ουσιών. Επίσης, απομακρύνονται οι καρβονυλικές ενώσεις –όπως κετόνες και αλδεϋδες– που σχηματίζονται κατά την θερμική αποσύνθεση των υπεροξειδίων και των χρωστικών ουσιών (Subroto, 2020).

1.3.4. Λειτουργικά χαρακτηριστικά και διατροφική αξία του σογιέλαιου

Το σογιέλαιο, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μία εξαιρετική πηγή ακόρεστων λιπαρών οξέων (Kim et al., 2020). Συνολικά, η περιεκτικότητά του σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα ανέρχεται στο 65%. Αντίθετα, η περιεκτικότητά του σε κορεσμένα λιπαρά οξέα ανέρχεται στο 17,7% (Subroto, 2020). Το σογιέλαιο αποτελείται, κατά βάση, από 55% λινελαϊκό οξύ (C18:2), 18% ελαϊκό οξύ (C18:1), 13% λινολενικό οξύ (C18:3), 10% παλμιτικό οξύ (C16:0) και 4% στεατικό οξύ (C18:0) (Clemente & Cahoon, 2009).

Οι Zaaboul et al. (2022) αναφέρουν πως η συγκέντρωση των πολυφαινολών στο σογιέλαιο επηρεάζεται σημαντικά από το ραφινάρισμα και, ως εκ τούτου, θεωρείται αμελητέα, παρόλο που ο σπόρος της σόγιας είναι πλούσιος σε αυτές. Παράλληλα, η Wang (2002) τονίζει πως το σογιέλαιο, κατά την απόσμησή του, χάνει σημαντικές ποσότητες φυτοστερόλων, τοκοφερολών και υδρογονανθράκων (όπως το σκουαλένιο), σημειώνοντας απώλειες, των παραπάνω συστατικών, της τάξης του 35,9%, 32,3% και 37,8%, αντίστοιχα. Ωστόσο, το ποσοστό καταστροφής των βιοδραστικών συστατικών του σογιέλαιου εξαρτάται, φυσικά, από τις συνθήκες που τελέστηκε η απόσμηση.

1.4. Σησαμέλαιο

1.4.1. Χαρακτηριστικά του σησαμελαίου

Το σησάμι είναι ένας από τους κύριους ελαιούχους σπόρους στην Αφρική και την Ασία λόγω της σύστασής του σε φυτοχημικά αντιοξειδωτικά και ακόρεστα λιπαρά οξέα (Oboulbige et al., 2023). Το σησαμέλαιο είναι το έλαιο που παράγεται από τους σπόρους του σησαμιού (*Sesamum indicum* L.) (Ανώτατο Χημικό Συμβούλιο, 1997). Το σησάμι ως τρόφιμο, και ως πηγή του σησαμελαίου ήταν γνωστό στους αρχαίους Ασσύριους και Βαβυλώνιους ήδη 4.000 χρόνια π.Χ., ενώ οι Ινδιάνοι της Αμερικής χρησιμοποιούσαν το σησαμέλαιο ως λάδι για τον φωτισμό. Σήμερα, οι χώρες που παγκοσμίως παράγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες σησαμιού ετησίως είναι η Κίνα (825.000 τόνοι), η Ινδία (620.000 τόνοι), το Σουδάν (122.000 τόνοι) και η Ουγκάντα (106.000 τόνοι), ενώ σησαμελαίου είναι Κίνα (210.000 τόνοι) και η Ινδία (131.000 τόνοι) και ακολουθούν το Σουδάν και η Ιαπωνία (L. S. Hwang, 2005).

Οι σπόροι σησαμιού έχουν μικρό μέγεθος, μήκος ίσο με 3 έως 4 mm και πλάτος 1,5 έως 2 mm, σχήμα επίπεδο, ωοειδές και λεία επιφάνεια. Οι αποχρώσεις των σπόρων ποικίλλουν από λευκό, γκρι, κίτρινο, κόκκινο, καφέ, έως μαύρο. Ο σπόρος του καλλιεργήσιμου σησαμιού έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε έλαιο (περί του 50%) από τους περισσότερους γνωστούς ελαιούχους σπόρους, όπως είναι η σόγια ή η ελαιοκράμβη, το οποίο βρίσκεται κυρίως στην κοτυληδόνα του σπόρου. Επίσης, θεωρείται το εξαγόμενο έλαιο από ανοιχτόχρωμους σπόρους με λεπτά στρώματα είναι υψηλότερης ποιότητας και περιεκτικότητας από αυτό των σκουρόχρωμων σπόρων (L. S. Hwang, 2005).

Στην αγορά, το σησαμέλαιο θεωρείται γενικά ως λάδι υψηλής τιμής και υψηλής ποιότητας. Παρουσιάζει εξαιρετική σταθερότητα, συγκριτικά με άλλα βρώσιμα έλαια, παρά τον υψηλό βαθμό ακορεστότητάς του. Η παρουσία φυσικών αντιοξειδωτικών όπως οι λιγνάνες, οι τοκοφερόλες και οι στερόλες στο σησαμέλαιο συντελεί τόσο στην υψηλή σταθερότητα του σησαμελαίου όσο και στις ευεργετικές επιδράσεις του προϊόντος στον ανθρώπινο οργανισμό (L. S. Hwang, 2005; Oboulbige et al., 2023). Η περιεκτικότητα του σησαμιού σε έλαιο επηρεάζεται από τις συνθήκες καλλιέργειας (κυρίως από τη μέση θερμοκρασία που επικρατεί στην περιοχή παραγωγής) (L. S. Hwang, 2005).

1.4.2. Μέθοδοι επεξεργασίας του σησαμιού και παραλαβής του σησαμελαίου

Το σησαμέλαιο παραλαμβάνεται από τους σπόρους του σησαμιού είτε α) αφού πρώτα αυτοί έχουν καβουρδιστεί αναποφλοιώτοι στους 140-200 °C, είτε β) αφού πρώτα έχουν αποφλοιωθεί και καβουρδιστεί (L. S. Hwang, 2005).

Όσον αφορά την πρώτη μέθοδο παραλαβής του σησαμελαίου, αφού οι σπόροι του σησαμιού ψηθούν στην προαναφερόμενη θερμοκρασία, στη συνέχεια αλέθονται, ώστε να αυξηθεί η επιφάνεια επαφής, και, στη συνέχεια, υφίστανται μηχανική έκθλιψη για να εξαχθεί το σησαμέλαιο. Αυτό το προϊόν, στη συνέχεια, υφίσταται διήθηση (φιλτράρισμα), προκειμένου να διαχωριστούν τα στερεά υπολείμματα και να παραχθεί το καθαρό σησαμέλαιο, χωρίς διαδικασίες εξευγενισμού. Επειδή οι σπόροι έχουν ψηθεί, το σησαμέλαιο έχει αντίστοιχη οσμή που το καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικό κυρίως για τηγάνισμα. Το χρώμα του είναι κίτρινο έως καφέ, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη διάρκεια του ψησίματος των σπόρων. Το σησαμέλαιο που προέρχεται από αναποφλοιωτο σπόρο είναι πιο δύσπεπτο σε σχέση με το προερχόμενο από αποφλοιωμένο και ελαφρώς πικρίζουσα γεύση λόγω της παρουσίας οξαλικού οξέος που εμπεριέχεται στον φλοιό (L. S. Hwang, 2005; Elkhaleefa & Shigidi, 2015).

Όσον αφορά τη δεύτερη μέθοδο παραλαβής του σησαμελαίου, οι σπόροι σησαμιού υφίστανται ενυδάτωση για μία ώρα, έως ότου το νερό διεισδύσει στον σπόρο και αποτελέσει περίπου το 35% του συνολικού του βάρους. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στη μετουσίωση της πρωτεΐνης που υπάρχει στον σπόρο του σησαμιού, δηλαδή στη μεταβολή των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων της πρωτεΐνης. Η μετατροπή αυτή αποτρέπει το κάψιμο των σπόρων κατά τη διαδικασία του ψησίματος το οποίο διαρκεί για περίπου 30 λεπτά σε θερμοκρασία 200 °C (καθώς η αύξηση του χρόνου ή της θερμοκρασίας καταστρέφει τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες των συστατικών του σησαμελαίου), πριν οι σπόροι ψεκαστούν με νερό ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία που έχουν αναπτύξει κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Οι ψημένοι σπόροι στη συνέχεια αποφλοιώνονται με τη δύναμη του αέρα και μετά οδηγούνται σε διαδικασία σύνθλιψης από βαριά πέτρινη ή μεταλλική πρέσα. Στο τελευταίο στάδιο προστίθεται νερό στην πάστα σησαμιού που προέκυψε από την έκθλιψη, η οποία αναδεύεται αργά με τη σταδιακή προσθήκη επιπλέον ζεστού νερού, μέχρις ότου το σησαμέλαιο ανέλθει στην επιφάνεια λόγω του χαμηλότερου ειδικού βάρους σε σχέση με την υπόλοιπη πάστα (L. S. Hwang, 2005).

Το σησαμέλαιο που προέρχεται από ψημένους σπόρους είναι πλουσιότερο σε

αντιοξειδωτικά (γ-τοκοφερόλη και λιγνάνες σησαμιού, σησαμόλη και σησαμίνη) σε σχέση προς το σησαμέλαιο που προέρχεται από μη ψημένους σπόρους. Αντίστοιχα, η γεύση του σησαμελαίου, του οποίου οι σπόροι έχουν περάσει από διαδικασία ψησίματος, είναι πιο γλυκιά και το χρώμα πιο ξανθό. Η περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες είναι χαμηλή αλλά η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες παραμένει υψηλή (L. S. Hwang, 2005; Elkhaleefa & Shigidi, 2015).

1.4.3. Εξευγενισμός (ραφινάρισμα) του σησαμελαίου

Όταν οι σπόροι του σησαμιού αποτελούν αντικείμενο επεξεργασίας χωρίς να έχουν πρώτα καβουρδιστεί, τότε το σησαμέλαιο χρειάζεται να υποβληθεί σε διαδικασία εξευγενισμού (ραφινάρισματος κατά τη φάση εκχύλισης των σπόρων με τη χρήση διαλύτη επτανίου-ισοπροπανόλης 3:1, v/v) προκειμένου να καταστεί εδώδιμο. Ο εξευγενισμός οδηγεί στην αφαίρεση ελεύθερων λιπαρών οξέων και χρωστικών ουσιών. Για την εξουδετέρωση της οξύτητας πραγματοποιείται αλκαλική δύλιση του σησαμελαίου με ανθρακικό νάτριο ενώ, στη συνέχεια, το χρώμα του σησαμελαίου βελτιώνεται με τη χρήση υδροξειδίου του νατρίου. Επειδή κατά τη διαδικασία αυτή είναι δύσκολη η αφαίρεση του σαπουνιού που δημιουργείται, προτιμάται συχνά το ραφινάρισμα του σησαμελαίου με ξηρό μεταπυριτικό νάτριο που εμποδίζει τον σχηματισμό σαπουνιού. Για τον αποχρωματισμό του σησαμελαίου χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων, είτε λευκαντική γαία τα οποία αναδεύονται με ταχύτητα 40-50 rpm, είτε τέφρα φλοιού ρυζιού το οποίο αναδεύεται με ταχύτητα 80 rpm στους 120 °C. Στην τελευταία φάση της απόσμησης το έλαιο θερμαίνεται σε κενό με ατμό σε θερμοκρασία 200-250 °C, ενώ στη συνέχεια καθίσταται πλήρως εδώδιμο (L. S. Hwang, 2005).

1.4.4. Λειτουργικά χαρακτηριστικά και διατροφική αξία του σησαμελαίου

Το σησαμέλαιο έχει υψηλή περιεκτικότητα, σε σχέση με άλλα φυτικά έλαια, τοκοφερολών (από 330 mg/kg έως 1010 mg/kg, με κυρίαρχη τη γ-τοκοφερόλη), φυτοστερολών (με τη β-σιτοστερόλη να ανιχνεύεται σε μεγαλύτερη ποσότητα) και λιγνάνων, όπως η σησαμίνη και η σησαμολίνη, και, γενικά, μη σαπωνοποιήσιμης ύλης. Ειδικότερα, και όσον αφορά τα λιπαρά οξέα, το σησαμέλαιο περιέχει, μεταξύ άλλων, ελαϊκό οξύ (38,84%), λινελαϊκό οξύ (46,26%), παλμιτικό οξύ (7,9-12%) και στεατικό

οξύ (4,8-6,1%) (Oboulbiga et al., 2023).

Όπως συμβαίνει και με άλλα σπορέλαια, τα συστατικά του σησαμελαίου θεωρούνται ευεργετικά για τη μείωση της LDL χοληστερόλης, η οποία σε μεγάλο βαθμό ευθύνεται για την αύξηση της αρτηριακής πίεσης και τη δημιουργία αθηροσκληρωτικής πλάκας στα αιμοφόρα αγγεία του ανθρώπινου οργανισμού, η οποία, με τη σειρά της, συνδέεται με την εκδήλωση καρδιαγγειακών νοσημάτων και εγκεφαλικών επεισοδίων (Oboulbiga et al., 2023). Επίσης, η υψηλή περιεκτικότητα του σησαμελαίου σε λιγνάνες (όπως σησαμίνη, σησαμινόλη) θεωρείται ότι συμβάλλει στην αντιμετώπιση χρόνιων νόσων, όπως ο καρκίνος και τα καρδιαγγειακά (Li et al., 2024), ενώ η υψηλή περιεκτικότητά του σε αντιοξειδωτικά (φυτοστερόλες, φαινολικά, γ-τοκοφερόλη) ενισχύει την αντιφλεγμονώδη δράση του καθώς και το αμυντικό σύστημα του οργανισμού, το οποίο θωρακίζεται έναντι λοιμώξεων και μολύνσεων (Wan et al., 2015). Τα αντιοξειδωτικά συστατικά του σησαμελαίου συμβάλλουν επίσης στην καταπολέμηση των ελεύθερων ριζών που σχετίζονται με την εκδήλωση μορφών καρκίνου και τη γήρανση του δέρματος, ενώ ευεργετική θεωρείται η κατανάλωση σησαμελαίου για τη λειτουργία του ήπατος (Oboulbiga et al., 2023).

1.4.5. Υποβαθμίσεις του σησαμελαίου

Όπως έχει προαναφερθεί, το σησαμέλαιο περιέχει πληθώρα φυτοχημικών συστατικών. Η παρουσία ισχυρών αντιοξειδωτικών, όπως οι τοκοφερόλες και οι λιγνάνες, προσφέρουν στο έλαιο υψηλή σταθερότητα έναντι στην οξείδωση κατά το τηγάνισμα ή την αποθήκευση (Wu et al., 2013). Επιπλέον, η αντιοξειδωτική δράση του σησαμελαίου βελτιώνεται κατά το καβούρδισμα, λόγω αποικοδόμησης της σησαμολίνης και παραγωγή της σησαμόλης (Wan et al., 2015). Γι' αυτό και σε μεγάλο βαθμό προτιμάται η μέθοδος αυτή, προκειμένου το σησαμέλαιο που θα παραληφθεί να έχει μεγαλύτερη σταθερότητα όσον αφορά την οξείδωση των λιπιδίων του (Wu et al., 2013; Qin et al., 2023).

1.5 Εμπλουτισμός ελαίων

Με την πάροδο του χρόνου, η βιβλιογραφία εμβαθύνει ολοένα και περισσότερο στη μελέτη της επίδρασης του εμπλουτισμού φυτικών ελαίων με βιοενεργά συστατικά, όπως αντιοξειδωτικά, φαινολικά, βιταμίνες και στερόλες. Χρησιμοποιώντας διάφορα εκχυλίσματα, αιθέρια έλαια, τρόφιμα ή και παραπροϊόντα τροφίμων, τα έλαια ενισχύονται διατροφικά, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνεται η σταθερότητά τους και επεκτείνεται ο χρόνος ζωής τους. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, με σκοπό να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα της έρευνας στον τομέα αυτό.

Πίνακας 6: Βιβλιογραφική ανασκόπηση (Oubannin et al., 2024).

Δείγμα ελαίου	Στοιχείο εμπλουτισμού	Μεθοδολογία	Βασικά Αποτελέσματα	Βιβλιογραφία
Εξευγενισμένο σογιέλαιο (<i>Glycine max</i> L.)	Φύλλα ελιάς (<i>Olea europaea</i> L.)	Εμπλουτισμός με εκχυλίσματα εξαχθέντα μέσω υποβοηθούμενης από υπερήχους επεξεργασίας.	Βελτιωμένη οξειδωτική σταθερότητα του εμπλουτισμένου ελαίου.	(Zahran & Najafi, 2020)
Εξευγενισμένο ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i> L.)	Επικάρπιο τομάτας (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη εκχυλισμάτων.	Βελτιωμένη οξειδωτική σταθερότητα του εμπλουτισμένου ελαίου.	(Kehili et al., 2018)

Πίνακας 5 (συνέχεια)

Δείγμα ελαίου	Στοιχείο εμπλουτισμού	Μεθοδολογία	Βασικά Αποτελέσματα	Βιβλιογραφία
Ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i> L.)	Ρίγανη (<i>Origanum vulgare</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη αρωματισμένων ελαίων.	Τα εμπλουτισμένα έλαια έδειξαν 6 φορές χαμηλότερη τιμή υπεροξειδίων από τα μη εμπλουτισμένα.	(Gambacorta et al., 2007)
Καλαμποκέ- λαιο (<i>Zea mays</i> L.)	Φύλλα ελιάς και ελαιοπυρήνας (<i>Olea europaea</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη φαινολικών εκχυλισμάτων.	Αυξημένη σταθερότητα του εμπλουτισμένου δείγματος, σε σχέση με το μη εμπλουτισμένο, και αύξηση του χρόνου επαγωγής του.	(Sánchez De Medina et al., 2011)
Σογιέλαιο (<i>Glycine max</i> L.)	Θυμάρι (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη εκχυλισμάτων.	Ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας.	(Kozłowska & Gruczyńska, 2018)
Έλαιο κάννα- βης	Δεντρολίβανο (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη αντιοξειδωτικών εκχυλισμάτων.	Ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας. Τα χρώματα των δειγμάτων κατά την αποθήκευση άλλαξαν, το κίτρινο χρώμα αυξήθηκε ενώ το πράσινο μειώθηκε.	(Moczkowska et al., 2020)
Ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i> L.)	Δάφνη (<i>Laurus nobilis</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη αιθέριων ελαίων.	Ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας.	(Taoudiat et al., 2018)

Πίνακας 5 (συνέχεια)

Δείγμα ελαίου	Στοιχείο εμπλουτισμού	Μεθοδολογία	Βασικά Αποτελέσματα	Βιβλιογραφία
Σογιέλαιο (<i>Glycine max</i> L.) / Βαμβακέ- λαιο	Δεντρολίβανο (<i>Rosmarinus</i> <i>officinalis</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη αντιοξειδωτικών εκχυλισμάτων.	Ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας.	(Yang et al., 2016)
Σογιέλαιο (<i>Glycine max</i> L.)	Δεντρολίβανο (<i>Rosmarinus</i> <i>officinalis</i> L.)	Εμπλουτισμός με εκχυλίσματα εξαχθέντα μέσω εμβάπτισης.	Διατήρηση του 50 % της συνολικής περιεκτικότητας σε τοκοφερόλες έως 18 h.	(Saoudi et al., 2016)
Ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i> L.)	Θυμάρι (<i>Thymus vul-</i> <i>garis</i> L.)	Εμπλουτισμός με εκχυλίσματα εξαχθέντα μέσω συν-επεξεργασίας.	Ο χρόνος επαγωγής για το μη εμπλουτισμένο λάδι είναι μικρότερος (10,3 h) από αυτόν του εμπλουτισμένου (16,6 h) στους 120 °C.	(Peres et al., 2021)
Αργανέλαιο (<i>Argania spi-</i> <i>nosa</i> L.)	Κρόκος (<i>Crocus sa-</i> <i>tivus</i> L.)	Εμπλουτισμός με εκχυλίσματα εξαχθέντα μέσω εμβάπτισης.	Βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας. Μετά τον εμπλουτισμό επίσης μειώθηκαν σε σημαντικό ποσό οι παράμετροι οξείδωσης του ελαίου χωρίς να προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στα λιπαρά οξέα και τις στερόλες.	(Oubannin, et al., 2023b)

Πίνακας 5 (συνέχεια)

Δείγμα ελαίου	Στοιχείο εμπλουτισμού	Μεθοδολογία	Βασικά Αποτελέσματα	Βιβλιογραφία
Αργανέλαιο (<i>Argania spinosa</i> L.)	Φύλλα θυμάρι (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	Εμπλουτισμός με εκχυλίσματα εξαχθέντα μέσω συν-επεξεργασίας.	Ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας, αύξηση των χρωστικών και των αντιοξειδωτικών χωρίς σημαντικές μεταβολές στα λιπαρά οξέα.	(Oubannin, et al., 2023a)
Ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i> L.)	Υγρά ελαιουργικά απόβλητα (<i>Olea europaea</i> L.)	Εμπλουτισμός με εκχυλίσματα εξαχθέντα μέσω εμβάπτισης.	Εμφανίζεται αξιωματική μείωση καθυστέρηση οξείδωσης σε ελαιόλαδο εμπλουτισμένο με φαινολικά εκχυλίσματα.	(El Yamani, et al., 2020a)
Ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i> L.)	Υγρά ελαιουργικά απόβλητα (<i>Olea europaea</i> L.) και καρότα (<i>Daucus carota</i> L.)	Εμπλουτισμός με εκχυλίσματα εξαχθέντα μέσω εμβάπτισης.	Βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας του λαδιού καθυστερώντας την διαδικασία της οξείδωσης.	(El Yamani, et al., 2020b)
Εξευγενισμένο ηλιέλαιο	Ίζημα καφέ	Εμπλουτισμός με προσθήκη αιθανολικού εκχυλίσματος καφέ στο έλαιο.	Η προσθήκη 0,03% εκχυλίσματος αύξησε την οξειδωτική σταθερότητα και μείωσε τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, την τιμή υπεροξειδίου, τα συζευγμένα διένια και τριένια.	(Bijla et al., 2024)

Πίνακας 5 (συνέχεια)

Δείγμα ελαίου	Στοιχείο εμπλουτισμού	Μεθοδολογία	Βασικά Αποτελέσματα	Βιβλιογραφία
Εξευγενισμένο ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i> L.)	Φύλλα ελιάς και ελαιοπυρήνας	Εμπλουτισμός μέσω υπερήχων χρησιμοποιώντας λεκιθίνη ως γαλακτωματοποιητή.	Ο δείκτης οξειδωτικής σταθερότητας του εμπλουτισμένου είναι υψηλότερος από αυτό του μη εμπλουτισμένου.	(Vidal et al., 2022)
Σογιέλαιο	Εκχυλίσματα από φύλλα ροδιού (<i>Punica granatum</i> L.), πορτοκαλιού (<i>Citrus sinensis</i> L.) και φύλλων παντζαριού (<i>Beta vulgaris</i> L.)	Εμπλουτισμός με προσθήκη αντιοξειδωτικών εκχυλισμάτων.	Το υδατικό εκχύλισμα που χρησιμοποιήθηκε αποτέλεσε σημαντικό μέσο για την επίτευξη της οξειδωτικής σταθερότητας του σογιέλαιου. Επίσης μειώθηκε η παραγωγή πρωτογενούς και δευτερογενούς προϊόντων οξείδωσης.	(Abdo et al., 2023)
Σογιέλαιο	Έλαιο από πυρήνα μήλου	Εμπλουτισμός με προσθήκη αντιοξειδωτικών εκχυλισμάτων.	Το σογιέλαιο εμπλουτισμένο με τα φυσικά αντιοξειδωτικά δείχνει υψηλότερη θερμική σταθερότητα και ποιότητα όσον αφορά την σχέση τους με τους φυσικοχημικούς δείκτες.	(Manzoor et al., 2022)

Κεφάλαιο 2: Σκοπός Εργασίας

Η χρήση φυτικών ελαίων στην καθημερινή διατροφή είναι ευρέως διαδεδομένη, καθώς αποτελούν βασική πηγή λιπαρών οξέων και άλλων θρεπτικών συστατικών. Ωστόσο, η σταθερότητά τους μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμική επεξεργασία και η περιεκτικότητά τους σε αντιοξειδωτικά. Η βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας των ελαίων μέσω εμπλουτισμού με βιοδραστικές ουσίες αποτελεί ένα πεδίο έντονου επιστημονικού ενδιαφέροντος. Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης των θερμικών διεργασιών στη σύσταση και το χρώμα των φυτικών ελαίων, καθώς και του εμπλουτισμού με βιοδραστικές ουσίες στη οξειδωτική τους σταθερότητα. Στην μελέτη εξετάζονται το πυρηνέλαιο, το οποίο, αν και πλούσιο σε αντιοξειδωτικές ουσίες, έχει υποβαθμιστεί λόγω της διαδικασίας εξευγενισμού, και το σησαμέλαιο, το οποίο εμφανίζει μεγαλύτερη ευαισθησία στην οξείδωση, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Τα δείγματα, εμπλουτισμένα και μη, υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία μέσω θέρμανσης σε φούρνο στους 85°C και 110°C, καθώς και σε τηγάνισμα. Η ανάλυση πραγματοποιείται με φασματοσκοπία υπερύθρου (ATR-FTIR) και χρωματομετρία, με το σύστημα CIELab, για να προσδιοριστεί το χημικό προφίλ, το χρώμα των ελαίων και να αξιολογηθεί η επίδραση των θερμικών διεργασιών και του εμπλουτισμού στη σταθερότητά τους. Η συγκριτική μελέτη αποσκοπεί στην κατανόηση της επίδρασης των διαφορετικών συνθηκών επεξεργασίας και των βιοδραστικών ουσιών στις ποιοτικές παραμέτρους των ελαίων.

Κεφάλαιο 3: Υλικά και Μέθοδοι

3.1. Υλικά και Όργανα

Στη διεξαγωγή της μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δύο φυτικά έλαια, το πυρηνέλαιο και το σησαμέλαιο, δύο βιοδραστικές ενώσεις φυσικής προέλευσης, ασταξανθίνη και β-καροτένιο, καθώς και τρούφα. Ως προς τα υλικά εργαστηρίου, για την παρασκευή των δειγμάτων και τη δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκαν ογκομετρικοί κύλινδροι, γυάλινα πυρίμαχα βαζάκια, ψηφιακός ζυγός, εστία θέρμανσης και σκεύος για τηγάνισμα. Για τη φασματοσκοπία υπερύθρου, χρησιμοποιήθηκε ένα φασματόμετρο Shimadzu IR Affinity-1S (Κιότο, Ιαπωνία), γυάλινες πιπέτες Pasteur, πουάρ και ακετόνη (καθαρότητας $\geq 99,5\%$), για τον καθαρισμό του οργάνου μεταξύ των μετρήσεων. Για την μέτρηση του χρώματος έγινε χρήση ενός χρωματομέτρου τριπλής διέγερσης (CR-400 Konica Minolta Inc., Τόκιο, Ιαπωνία) και τρυβλίων Petri. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δύο τυπικοί κλίβανοι Thermansys με προγραμματισμό χρόνου. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά επεξεργασίας δεδομένων LabSolutionsIR V2.21 και MS Excel.

3.2 Δείγματα ελαίων

Χρησιμοποιήθηκαν πυρηνέλαιο και σησαμέλαιο για την μελέτη του εμπλουτισμού τους με βιοδραστικές ουσίες. Η επιλογή του πυρηνελαίου έγινε λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε αντιοξειδωτικές ουσίες, οι οποίες μειώνονται κατά την διαδικασία εξευγενισμού, αλλά μπορούν να αποκατασταθούν μέσω του εμπλουτισμού. Το σησαμέλαιο επιλέχθηκε λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, γεγονός που το καθιστά επιρρεπές στην οξείδωση. Τα έλαια προμηθεύτηκαν από την ελληνική αγορά σε κατάλληλες ποσότητες και διατηρήθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία και σκοτάδι για όλη την περίοδο των πειραμάτων.

3.3. Εμπλουτισμός ελαίων με φυσικής προέλευσης βιοδραστικές ουσίες και τρόφιμο

Τα έλαια πυρηνέλαιο και σησαμέλαιο εμπλουτίστηκαν με βιοδραστικές ουσίες φυσικής προέλευσης και τρόφιμο με στόχο την αύξηση της αντοχής τους στην οξείδωση και τη θερμική επεξεργασία. Έγιναν προκαταρκτικά πειράματα ώστε να

καθοριστεί η βέλτιστη συγκέντρωση των βιοδραστικών συστατικών σε κάθε έλαιο, με κριτήριο τη πλήρη διαλυτοποίησή τους στο έλαιο και την παραγωγή ομοιογενούς προϊόντος.

Στη συνέχεια, παρατίθενται αναλυτικά, ανά βιοδραστική ουσία, τρόφιμο και έλαιο, η τελική διαδικασία εμπλουτισμού.

3.3.1. Εμπλουτισμός με ασταξανθίνη

Η διαδικασία αυτή διεξήχθη με την προσθήκη 1 mL συμπυκνωμένου διαλύματος ασταξανθίνης ($\geq 90\%$ κατ' όγκο) φυσικής προέλευσης, εκχυλισμένη από φύκη, σε 500 mL σησαμελαίου και σε 2 L πυρηνελαίου. Τα διαλύματα ομογενοποιήθηκαν και αποθηκεύτηκαν σε σκοτάδι.

3.3.2. Εμπλουτισμός με β -καροτένιο

Ο εμπλουτισμός του σησαμελαίου και του πυρηνελαίου με β -καροτένιο σε μορφή κάψουλας έγινε σε αναλογία 1:9 (w/v). Τα έλαια μετά την προσθήκη του β -καροτενίου αναδεύτηκαν εντόνως μέχρι την πλήρη διαύγασή τους.

3.3.3. Εμπλουτισμός με τρούφα

Τέλος, θραύσματα τρούφας 10,38 g και 13,29 g προστέθηκαν σε 500 mL σησαμελαίου και σε 2 L πυρηνελαίου, αντίστοιχα. Τα δείγματα αναδεύτηκαν εντόνως και αποθηκεύτηκαν, σε συνθήκες που περιγράφονται στη *Παράγραφο 3.2*, για ένα διάστημα τεσσάρων μηνών προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εκχύλιση των διαλυτών συστατικών της τρούφας από το έλαιο.

3.4. Θερμική Επεξεργασία – Δειγματοληψία

Τα εμπλουτισμένα και μη δείγματα ελαίων υποβλήθηκαν σε διαφορετικές θερμικές επεξεργασίες προκειμένου να διαπιστωθεί η αντοχή τους στην οξείδωση κατά την θέρμανση (πειράματα επιταχυνόμενης φθοράς). Οι θερμικές επεξεργασίες που επιλέχθηκαν ήταν θέρμανση σε φούρνο (σε θερμοκρασίες 85 °C και 110 °C) και τηγάνισμα. Ο χρόνος εξέλιξης των ανωτέρω θερμικών επεξεργασιών καθορίστηκε από προπειράματα. Ο μέγιστος χρόνος για την θέρμανση σε φούρνο καθορίστηκε σε 72h για τα δείγματα ελαίων εμπλουτισμένων με ασταξανθίνη και τρούφα και σε 90h για τα δείγματα τα οποία εμπλουτίστηκαν με καροτένιο. Ως μέγιστος χρόνος τηγανίσματος

επιλέχθηκαν τα 35min για όλα τα δείγματα. Ο χρόνος αυτός μετρήθηκε από τη στιγμή έναρξης τηγανίσματος. Επισημαίνεται πως τα δείγματα του β-καροτενίου εξαιρέθηκαν της διαδικασίας τηγανίσματος και ψησίματος στους 110°C, δεδομένης της πιθανής αλλοίωσης του β-καροτενίου όταν υποβάλλεται σε υψηλή θερμοκρασία (Liu et al., 2014).

3.5 Κωδικοποίηση δειγμάτων εμπλουτισμένων και μη ελαίων

Τα δείγματα των ελαίων –εμπλουτισμένων και μη– κωδικοποιήθηκαν για την καλύτερη περιγραφή τους και καταγραφή τους, όπως και την καταγραφή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε αυτά. Η κωδικοποίηση βασίστηκε στο είδος του ελαίου που εμπλουτίστηκε, το βιοδραστικό συστατικό που προστέθηκε και τη θερμική διεργασία στην οποία υποβλήθηκε (μέθοδος – θερμοκρασία – χρόνος). Στη συνέχεια, παρατίθεται ο Πίνακας 6 με τους ενδεικτικούς κωδικούς των δειγμάτων και την αναλυτική περιγραφή αυτών.

Πίνακας 7: Κωδικοποίηση εμπλουτισμένων και μη ελαίων.

<i>Κωδικά Ονόματα</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Θερμική Επεξεργασία</i>
PX 85	Πυρηνέλαιο με Ασταξανθίνη	Φούρνος στους 85 °C
PTr 85	Πυρηνέλαιο με Τρούφα	Φούρνος στους 85 °C
PC 85	Πυρηνέλαιο με β-Καροτένιο	Φούρνος στους 85 °C
SX 85	Σησαμέλαιο με Ασταξανθίνη	Φούρνος στους 85 °C
STr 85	Σησαμέλαιο με Τρούφα	Φούρνος στους 85 °C
SC 85	Σησαμέλαιο με β-Καροτένιο	Φούρνος στους 85 °C
PX 110	Πυρηνέλαιο με Ασταξανθίνη	Φούρνος στους 110 °C
PTr 110	Πυρηνέλαιο με Τρούφα	Φούρνος στους 110 °C
SX 110	Σησαμέλαιο με Ασταξανθίνη	Φούρνος στους 110 °C
STr 110	Σησαμέλαιο με Τρούφα	Φούρνος στους 110 °C
PX	Πυρηνέλαιο με Ασταξανθίνη	Τηγάνισμα
PTr	Πυρηνέλαιο με Τρούφα	Τηγάνισμα
SX	Σησαμέλαιο με Ασταξανθίνη	Τηγάνισμα
STr	Σησαμέλαιο με Τρούφα	Τηγάνισμα
P	(Τυφλό) Πυρηνέλαιο	Τηγάνισμα
S	(Τυφλό) Σησαμέλαιο	Τηγάνισμα

Δίνονται οι συντομογραφίες:

P: πυρηνέλαιο,

Tr: τρούφα,

S: σησαμέλαιο,

C: β-καροτένιο και

X: ασταξανθίνη,

85 ή 110 °C: θερμοκρασίες θέρμανσης.

Για κάθε δείγμα, ανάλογα με τον χρόνο παραλαβής του δείγματος, κατά την εξέλιξη της θερμικής επεξεργασίας, προστίθεται στον ανωτέρω κωδικό ένας αριθμός, ο οποίος χαρακτηρίζει το χρόνο παραλαβής του σε min. Ενδεικτικά, για ένα δείγμα πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη που υποβλήθηκε σε τηγάνισμα και παραλήφθηκε στα 3 min, ο κωδικός θα διαμορφωθεί σε PX 3, ενώ για ένα δείγμα σησαμελαίου εμπλουτισμένου με καροτένιο που ψήθηκε στους 85 °C, για 6h, ο κωδικός θα διαμορφωθεί σε SC 85 6.

3.7. Φασματοσκοπία υπερύθρου

Τα φάσματα ATR-FTIR των εμπλουτισμένων και μη ελαίων καταγράφηκαν σε θερμοκρασία δωματίου χρησιμοποιώντας αποσβένουσα ολική ανάκλαση με μονή ανάκλαση (ATR) με φασματόμετρο Shimadzu IR Affinity-1S (Κιότο, Ιαπωνία) (*Εικόνα 1*). Η αναφορά ATR ορίστηκε στα $3284,77 \text{ cm}^{-1}$. Το φάσμα των δειγμάτων και του φωτός λήφθηκε από 4000 έως 499 cm^{-1} και καταγράφηκε ο μέσος όρος των 20 σαρώσεων σε ανάλυση 4 cm^{-1} . Η επεξεργασία και η ανάλυση δεδομένων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό LabSolutionsIR (Έκδοση 2.21), ενώ για την απεικόνιση των φασμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό IR SearchMaster (Έκδοση 6.0).

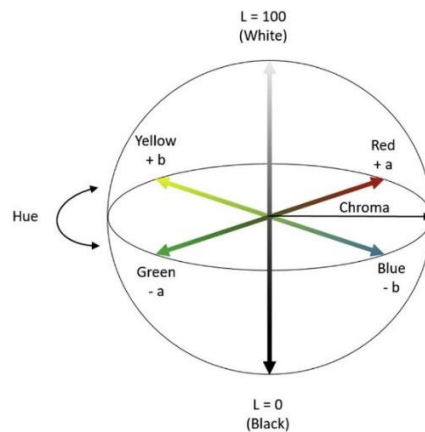
Αφού λήφθηκαν τα φάσματα FTIR, έγινε η μελέτη συσχετίζοντας τη διάρκεια του τηγανίσματος με τις εντάσεις των χαρακτηριστικών ζωνών IR. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν οι σχετικές μεταβολές των εντάσεων των ζωνών του φάσματος, στα προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, καθώς και οι αλλαγές στις χαρακτηριστικές ζώνες που σχετίζονται με την οξείδωση των λιπιδίων, την αποδόμηση των τριγλυκεριδίων και το σχηματισμό νέων ενώσεων, όπως τα πρωτογενή και δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης).



Εικόνα 1: Φασματόμετρο Shimadzu IR Affinity-1S (Κιότο, Ιαπωνία) (από προσωπικό αρχείο)

3.8. Μέτρηση χρώματος με το σύστημα CIELab

Η μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων με τα εμπλουτισμένα έλαια διεξήχθη μέσω χρωματόμετρου τριπλής διέγερσης (CR- 400 Konica Minolta Inc. Tokyo, Japan). Συγκεκριμένα ως προς την οργανολογία του χρωματόμετρου αποτελείται από έναν κεντρικό επεξεργαστή δεδομένων και μια λαβή στην άκρη της οποίας βρίσκεται η κεφαλή μέτρησης. Ο επεξεργαστής δεδομένων αναλύει τα χρώματα των δειγμάτων σύμφωνα με το μοντέλο CIELab το οποίο περιέχει τέσσερις μεταβλητές. Αυτές διακρίνονται στην τιμή L^* (φωτεινότητα με τιμές 0 μαύρο έως 100 λευκό), την H (το οποίο είναι μέτρο της χροιάς του δείγματος), την b^* (από μπλε σε κίτρινη απόχρωση) και την a^* (από πράσινη έως κόκκινη απόχρωση). Επιπροσθέτως, το όργανο χρησιμοποιεί φωτισμό διάχυσης και πριν από κάθε χρήση του βαθμονομείται με την χρήση πρότυπης λευκής κεραμικής πλάκας ($L^* = 97,83$, $H = 103,46$, $a^* = -0,45$ και $b^* = 1,88$). Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρυβλία μίας χρήσης στα οποία τοποθετήθηκε κατάλληλη ποσότητα του κάθε διαφορετικού δείγματος εμπλουτισμένου ελαίου. Στην συνέχεια, σε κάθε δείγμα λαμβάνονταν 3 μετρήσεις από διαφορετικά σημεία της επιφάνειας ώστε να παρθούν πιο ακριβείς μετρήσεις.



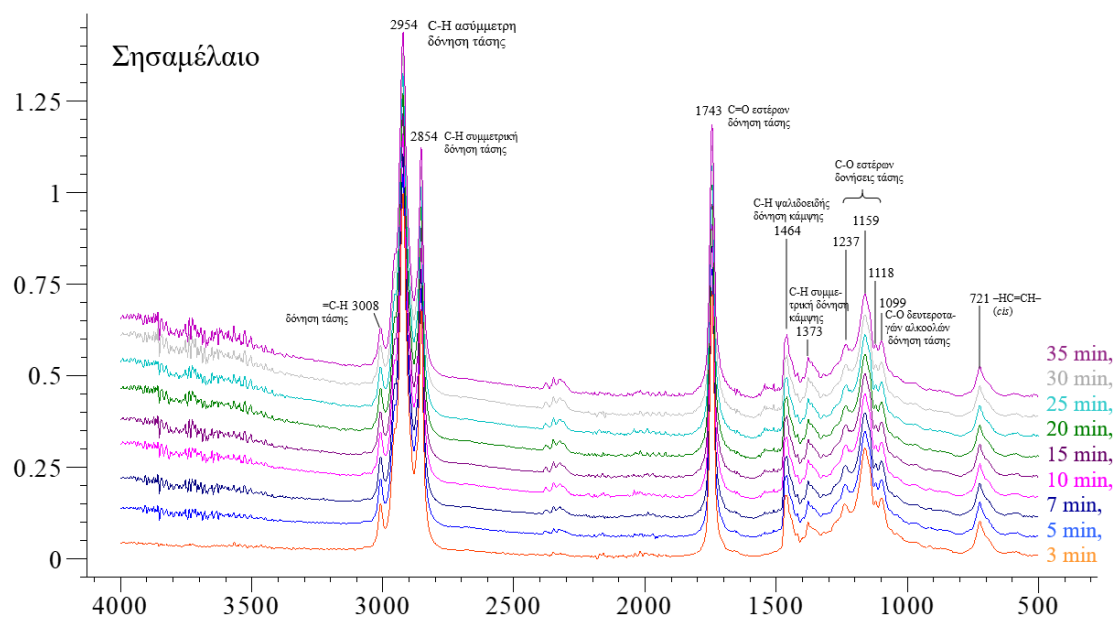
Σχήμα 2: Η διάταξη των παραμέτρων του συστήματος CIELab στον τρισδιάστατο χώρο (Ly et al., 2020)

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και Συζήτηση

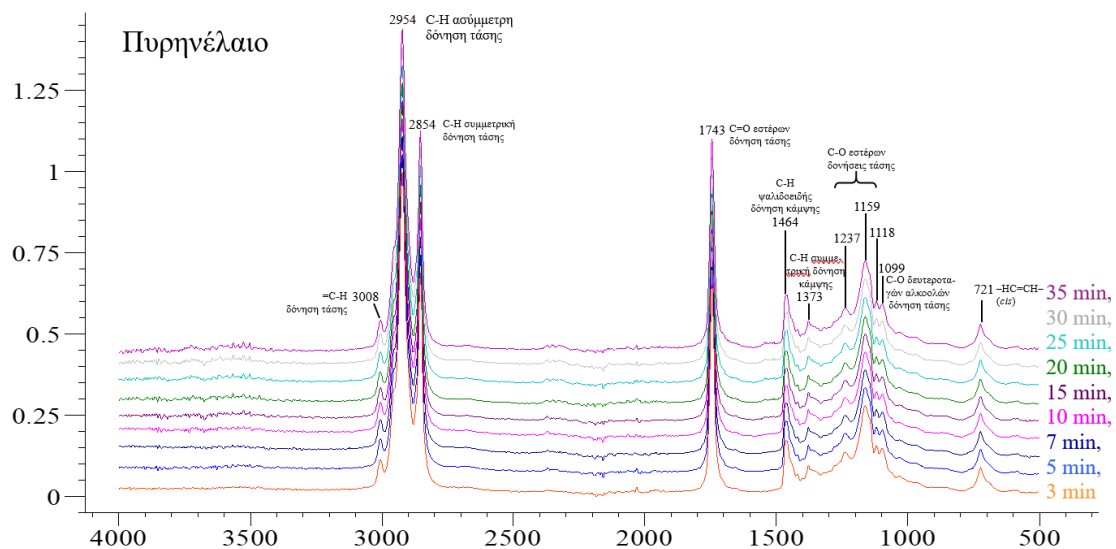
Τα δείγματα πυρηνελαίου και σησαμελαίου, εμπλουτισμένα και μη, τα οποία υπέστησαν θερμική επεξεργασία μέσω θέρμανσης σε φούρνο (85 και 110 °C) και τηγάνισματος, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν με φασματοσκοπία υπερύθρου με την τεχνική της αποσβένουσας ολικής ανάκλασης (ATR-FTIR) και με χρωματομετρία για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του χρώματος με το σύστημα CIELab.

Στόχος της φασματοσκοπικής ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός του προφίλ των χημικών συστατικών των μελετούμενων ελαίων, αν και πως επηρεάζονται από τη θερμική επεξεργασία και κατά πόσο ο εμπλουτισμός με τις βιοδραστικές ουσίες αυξάνει την σταθερότητα των συστατικών αυτών. Οι χαρακτηριστικές ζώνες των φασμάτων υπερύθρου, κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας, παρουσιάζονται στα Σχήματα 3 και 4, οι οποίες παρέχουν μια ενδεικτική, οπτική αναπαράσταση των φασμάτων υπερύθρου για το μη εμπλουτισμένο σησαμέλαιο και πυρηνέλαιο, αντίστοιχα.

Παράλληλα, ανάλογα συμπεράσματα αναμένεται να προκύψουν από τη μελέτη των παραμέτρων του χρώματος, με επιπλέον μέλημα να διαπιστωθεί η χρωματική σταθερότητα των ελαίων, δεδομένου ότι σχετίζεται με την αποδοχή των ελαίων από τους καταναλωτές.



Σχήμα 3: Φάσματα ATR-FTIR μη εμπλουτισμένων και θερμικά επεξεργασμένων (με τηγάνισμα) δειγμάτων σησαμελαίου στην περιοχή των $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ (από προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 4: Φάσματα ATR-FTIR μη εμπλουτισμένων και θερμικά επεξεργασμένων (με τηγάνισμα) δειγμάτων πυρηνελαίου στην περιοχή των $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ (από προσωπικό αρχείο).

4.1. Φασματοσκοπία υπερόθρου

4.1.1. Αξιολόγηση των φασμάτων FT-IR

Η αποτίμηση των φασμάτων στο μέσο υπέρυθρο έγινε με βάση τον Πίνακα 7, ο οποίος παρουσιάζει τις χαρακτηριστικές ζώνες απορρόφησης που παρατηρούνται συνήθως σε φάσματα IR φυτικών ελαίων. Οι ζώνες αυτές σχετίζονται με την παρουσία συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ομάδων, όπως το υδροξύλιο, το καρβονύλιο, η αιθερική ομάδα, με την ύπαρξη πολλαπλών δεσμών, σε συνδυασμό με την γεωμετρική τους ισομέρεια, ή με την ύπαρξη συγκεκριμένων ενώσεων, όπως εστέρων, λιπαρών οξέων, νερό κ.τ.λ.. Η αποτίμηση των φασμάτων υπερόθρου των ελαίων θα αναδείξει τις πιθανές μεταβολές των ανωτέρω ομάδων ή και ενώσεων, κατά τη θερμική επεξεργασία.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικές ζώνες απορρόφησης ομάδων οργανικών ενώσεων στα φυτικά έλαια.

Κυματαριθμός (cm^{-1})	Τύπος δόνησης	Βιβλιογραφία
3640–3530	Φαινόλες, υδροϋπεροξειδία Δόνηση τάσης O–H σε ομάδες ελευ- θέρων υδροξυλίων	(Nandiyanto et al., 2019)
3005–3008	Δόνηση τάσης <i>cis</i> δεσμών –HC=CH–	(Rohman & Man, 2010)
2922	Ασύμμετρη δόνηση τάσης C–H σε ο- μάδες μεθυλενίων (CH_2) των λιπι- δίων της μεμβράνης	(Nascimento et al., 2021)
2854	Συμμετρική δόνηση τάσης C–H σε ομάδες μεθυλίων (CH_3) και μεθυλε- νίων (CH_2) των λιπιδίων	(Nascimento et al., 2021)
1743	Δόνηση τάσης της καρβονυλικής ο- μάδας (C=O) των εστερικών ομάδων (OC=O) των τριγλυκεριδίων	(Lerma-García et al., 2010; Rohman & Man, 2010)
1460–1465	Ψαλιδοειδής δόνηση κάμψης C–H σε ομάδες μεθυλενίων (CH_2) και μεθυλίων (CH_3)	(Lerma-García et al., 2010; Rohman & Man, 2010)
1350–1380	Συμμετρική δόνηση κάμψης C–H σε τερματικά μεθύλια ($-\text{CH}_3$)	(Lerma-García et al., 2010)
1236–1238	Οι δονήσεις τάσης C–O σε εστερικές ομάδες, που αποτελούνται από δύο συνδυασμένες ασύμμετρες δονήσεις, είναι, σε αυτή την περίπτωση, δονή- σεις των ομάδων C–C(=O)–O και O–C–C	(Vlachos et al., 2006; Uzun et al., 2018; De Souza et al., 2020; Vla- dimir et al., 2021)

Πίνακας 7 (συνέχεια)

Κυματαριθμός (cm^{-1})	Τύπος δόνησης	Βιβλιογραφία
1159–1162	Οι δονήσεις τάσης C–O σε εστερικές ομάδες, που αποτελούνται από δύο συνδυασμένες ασύμμετρες δονήσεις, είναι, σε αυτή την περίπτωση, δονήσεις των ομάδων C–C(=O)–O και O–C–C και η αξονική παραμόρφωση της ομάδας (C–O) της εστερικής ομάδας.	(Vlachos et al., 2006; Uzun et al., 2018; De Souza et al., 2020)
1116–1118	Δόνηση τάσης C–O σε εστερικές ομάδες	(Poiana et al., 2015)
1095–1099	Δόνηση τάσης C–O σε δευτεροταγείς αλκοόλες	(Nandiyanto et al., 2019)
1027–1033	Δόνηση τάσης C–O σε πρωτοταγείς αλκοόλες	(Nandiyanto et al., 2019)
966–968	Δόνηση κάμψης <i>trans</i> δεσμών –HC=CH– (εκτός επιπέδου δόνησης)	(Arslan, 2018)
914	Δόνηση κάμψης <i>cis</i> δεσμών –HC=CH– (εκτός επιπέδου δόνησης)	(Arslan, 2018)
721–723	–(CH ₂) _n δόνηση κλυδωνισμού (Επικάλυψη της δόνησης κλυδωνισμού του μεθυλενίου –(CH ₂) _n και της εκτός επιπέδου δόνησης της ομάδας <i>cis</i> –HC=CH– των διυποκατεστημένων αλκενίων)	(Rohman & Man, 2010; Poiana et al., 2015; Mukhametov et al., 2023)

Για την αποτίμηση των φασμάτων ATR-FTIR των δειγμάτων των φυτικών ελαίων (εμπλουτισμένων και μη) ερμηνεύτηκαν οι ζώνες στη φασματική περιοχή 4000–499 cm^{-1} . Στην εν λόγω περιοχή αντλούνται πληροφορίες σχετικά με τη δομή διαφόρων οργανικών μορίων, τα οποία διαμορφώνουν τα φυτικά έλαια (Ordoudi et al., 2023).

Συγκεκριμένα, οι ζώνες στα 3640–3530 cm^{-1} σχετίζονται με τις δονήσεις τάσης του ελεύθερου O–H (Nandiyanto et al., 2019), οι οποίες αποδίδονται κυρίως στη παρουσία υδροϋπεροξειδίων (De Souza et al., 2020). Η ζώνη κοντά στα 3005–3008 cm^{-1} αποδίδεται στη δόνηση τάσης των *cis* διπλών δεσμών, η οποία χρησιμοποιείται, σε αρκετές περιπτώσεις, ως δείκτης του βαθμού ακορεστότητας του ελαίου (Alexa et al., 2009). Οι ζώνες στα 2922 και 2854 cm^{-1} αποδίδονται στις ασύμμετρες δονήσεις τάσης C–H σε αλειφατικές ομάδες μεθυλενίων (CH_2) και στις συμμετρικές δονήσεις τάσης C–H σε αλειφατικές ομάδες μεθυλενίων (CH_2) και μεθυλίων (CH_3) των τριγλυκεριδίων, αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, η παρουσία ζωνών στα 1462 και 1377 cm^{-1} , στην περιοχή του δακτυλικού αποτυπώματος, σχετίζεται με τις δονήσεις κάμψης των παραπάνω ομάδων και τεκμηριώνει την παρουσία αυτών (Nascimento et al., 2021; Vladimír et al., 2021). Οι απορροφήσεις αυτές διαφοροποιούν τις αλειφατικές ομάδες από τα υπόλοιπα αλκύλια και εντοπίζονται συχνά στα τριγλυκερίδια των φυτικών ελαίων (Alexa et al., 2009).

Επιπλέον, η ισχυρή ζώνη στα 1743 cm^{-1} αποδίδεται στην δόνηση τάσης της καρβονυλικής ομάδας (C=O) των εστερικών ομάδων των τριγλυκεριδίων και η μείωσή της συχνά δίνει πληροφορίες για την παρουσία προϊόντων υδρόλυσης (Tena et al., 2013), ενώ οι ζώνες στα 1238, 1159 και 1118 cm^{-1} σχετίζονται με δονήσεις τάσης του αιθερικού δεσμού C–O σε εστερικές ομάδες (Poiana et al., 2015). Οι κορυφές στα 1099 και 1027 cm^{-1} αποδίδονται στις δονήσεις τάσης C–O σε δευτεροταγείς και πρωτοταγείς αλκοόλες, αντίστοιχα (Nandiyanto et al., 2019).

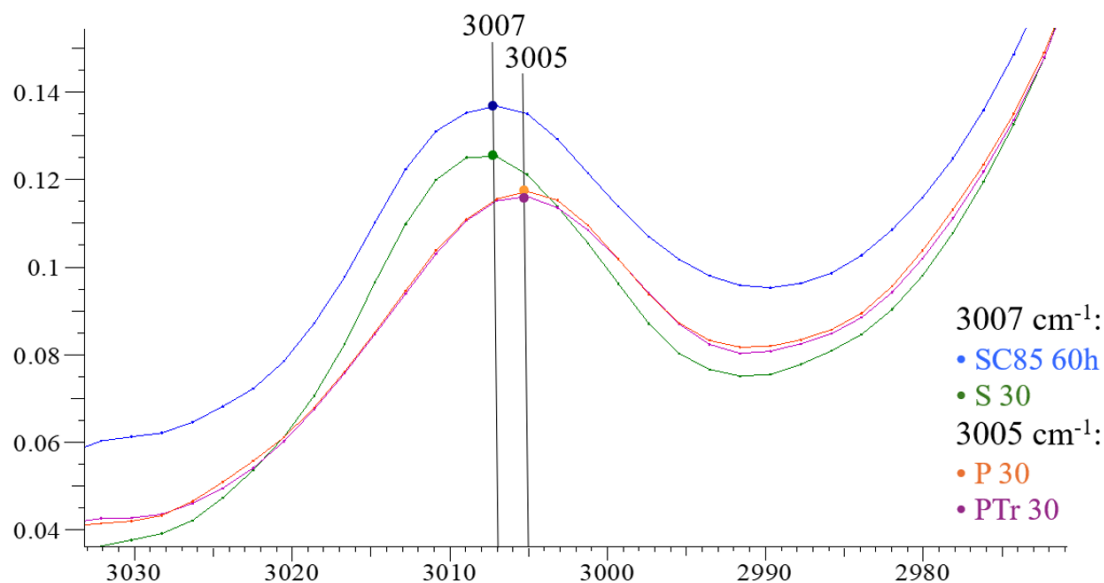
Επιπρόσθετα, η ζώνη στα 966 cm^{-1} αποδίδεται στις δονήσεις κάμψης –HC=CH– (*trans*) εκτός επιπέδου, ενώ οι ζώνες στα 914, 869 και 721 cm^{-1} αποδίδονται στις δονήσεις κάμψης –HC=CH– (*cis*) εκτός επιπέδου (Arslan, 2018). Τονίζεται πως η παρουσία των κορυφών αυτών δίνει πληροφορίες για την παρουσία προϊόντων θερμικής οξειδωσης (Ordoudi et al., 2023).

Τέλος, σημειώνεται πως τα εμπλουτισμένα δείγματα εμφάνισαν τις ίδιες ζώνες με εκείνες των μη εμπλουτισμένων ελαίων, δεδομένου ότι η συγκέντρωση των προστιθέμενων ενώσεων δεν ήταν αρκετά υψηλή ώστε να είναι ανιχνεύσιμη στο φάσμα IR.

4.1.2. Συγκριτική μελέτη των φασμάτων των εμπλουτισμένων και μη φυτικών ελαίων

Στη συνέχεια ακολουθεί συγκριτική μελέτη όλων των αποτελεσμάτων από την αποτίμηση των φασμάτων υπερύθρου των ελαίων, εμπλουτισμένων και μη, πριν και μετά τη θερμική επεξεργασία. Τα αποτελέσματα των εντάσεων των απορροφήσεων χαρακτηριστικών ομάδων και ενώσεων για τις διάφορες κατηγορίες δειγμάτων παρατίθενται στους Πίνακες (9-24), οι οποίοι περιέχονται στο «Παράρτημα Αποτελεσμάτων Ι» του παρόντος.

Συγκρίνοντας αρχικά τους δύο τύπους ελαίων (ανεξαρτήτως εμπλουτισμού και επεξεργασίας), όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, παρατηρείται εμφανής διαφορά στην ένταση και μετατόπιση της κορυφής κοντά στα $3005\text{--}3008\text{ cm}^{-1}$. Συγκεκριμένα, το σησαμέλαιο εμφανίζει αυξημένη ένταση και μέγιστη απορρόφηση στα 3007 cm^{-1} , ενώ το πυρηνέλαιο παρουσιάζει μικρότερη ένταση και μέγιστη απορρόφηση στα 3005 cm^{-1} . Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στη διαφορετική σύσταση των δύο ελαίων σε ακόρεστα λιπαρά οξέα. Το σησαμέλαιο είναι πλούσιο σε λινελαϊκό οξύ (15-50%), ενώ το πυρηνέλαιο περιέχει κυρίως ελαϊκό οξύ (64-83%) και λιγότερο λινελαϊκό (3,5-16%) (Vlachos et al., 2006).



Σχήμα 5: Φάσμα δειγμάτων πυρηνελαίου και σησαμελαίου στη περιοχή $3005\text{--}3007\text{ cm}^{-1}$. Τα δείγματα που απεικονίζονται επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο και προέρχονται από εμπλουτισμένα και μη έλαια θερμικώς επεξεργασμένα (από προσωπικό αρχείο).

Στη συνέχεια, κατά το τηγάνισμα των μη εμπλουτισμένων δειγμάτων σησαμελαίου (Πίνακας 9), παρατηρείται μείωση της έντασης της κορυφής $\sim 3005\text{--}3008\text{ cm}^{-1}$. Η συμπεριφορά αυτή ενδεχομένως οφείλεται στη μετατροπή της *cis* δομής των

ακόρεστων λιπαρών οξέων σε άλλες δομές, όπως πρωτογενή και δευτερογενή προϊόντα οξειδωσης, *trans* ακόρεστα λιπαρά οξέα, πολυμερή ή ακόμα και μικρά πτητικά μόρια, τα οποία παράγουν ανεπιθύμητα αρώματα τάγγισης στα έλαια (De Souza et al., 2020), λόγω της υφιστάμενης θερμικής επεξεργασίας. Οι αλλαγές αυτές στη δομή των λιπαρών οξέων αποτελούν δείκτη για την ποιότητα και τη σταθερότητα των ελαίων και αποδίδονται και στην οξειδωση, στον ισομερισμό και τον πολυμερισμό κατά τη θέρμανση (He et al., 2023).

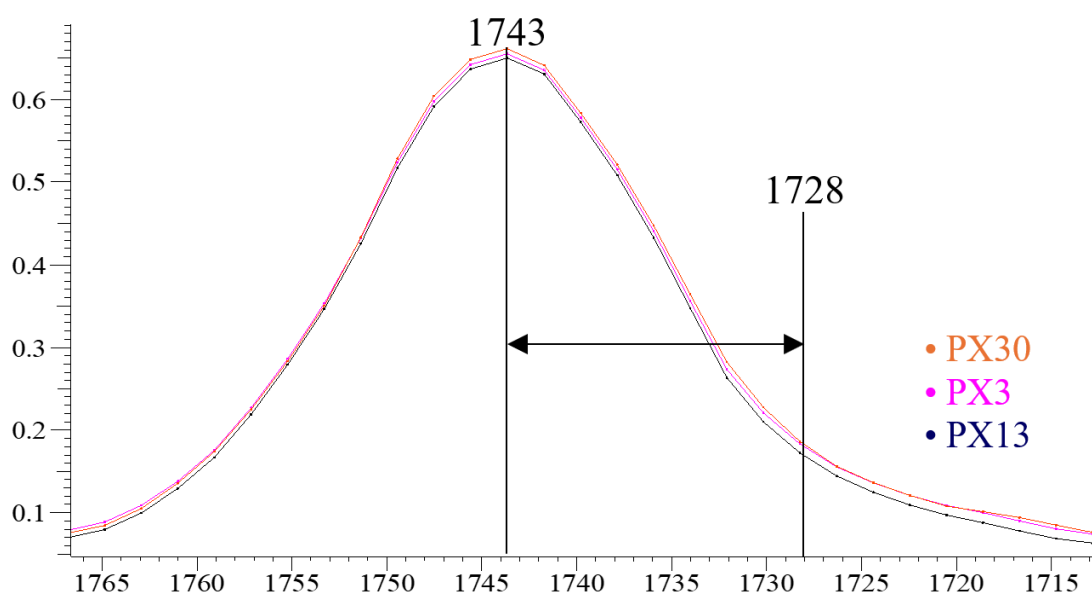
Πράγματι, κατά τη μελέτη των κορυφών κοντά στα 3530 και 1350 cm^{-1} παρατηρούνται δύο φαινόμενα: η εμφάνιση της πρώτης κορυφής στα 5 λεπτά τηγανίσματος και η σταδιακή αύξηση της δεύτερης, οι οποίες πιθανώς οφείλονται στην ταχεία οξείδωση και αποικοδόμηση των *cis* δομών των ακόρεστων λιπαρών οξέων σε πρωτογενή και, κατ' επέκταση, σε δευτερογενή προϊόντα οξειδωσης, όπως υδροϋπεροξειδία και μικρομοριακές πτητικές ενώσεις, σύμφωνα με τους De Souza et al. (2020). Επομένως, στο μη εμπλουτισμένο σησαμέλαιο είναι αναμενόμενο να αναπτυχθούν ταχέως αρώματα ταγγισμένου ελαίου, κάτι που δεν είναι επιθυμητό για τη γεύση και την ποιότητα του προϊόντος.

Αντίθετα, το μη εμπλουτισμένο πυρηνέλαιο (Πίνακας 10), παρουσιάζει σημαντική οξειδωτική σταθερότητα κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, το οποίο αποδεικνύεται από την σταθερή ένταση των κορυφών στα 721, 966, 1350-1380, 1743, 2854, 2922 και 3005-3008 cm^{-1} και την εμφάνιση της κορυφής $\sim 3530 \text{ cm}^{-1}$ των υδροϋπεροξειδίων στα 15 λεπτά επεξεργασίας. Η συμπεριφορά αυτή αποδεικνύει ότι το πυρηνέλαιο είναι λιγότερο επιρρεπές σε αντιδράσεις οξειδωσης και αποικοδόμησης από το σησαμέλαιο, γεγονός που το καθιστά καταλληλότερο για θερμική επεξεργασία.

Στη συνέχεια, μελετήθηκαν τα εμπλουτισμένα με τρούφα και τηγανισμένα δείγματα πυρηνελαίου και σησαμελαίου (Πίνακες 13 και 14), συγκριτικά με τα μη εμπλουτισμένα. Ο εμπλουτισμός στο πυρηνέλαιο φαίνεται να απέτρεψε την εμφάνιση της κορυφής στα 3530 cm^{-1} των υδροϋπεροξειδίων, γεγονός που συνδέεται πιθανώς με τα βιοδραστικά συστατικά της τρούφας, όπως οι φαινόλες. Τα συστατικά αυτά σχηματίζουν χηλικές ενώσεις με μεταλλικά ιόντα, καταλύουν την οξείδωση και παρεμποδίζουν την αποικοδόμηση των ακόρεστων λιπαρών οξέων και τη δημιουργία υπεροξειδίων (Kagan-Zur et al., 2014). Από την άλλη, ο εμπλουτισμός στο σησαμέλαιο δεν ωφέλησε κατά το προσδοκώμενο. Συγκεκριμένα, η παραγωγή *trans* λιπαρών οξέων, υδροϋπεροξειδίων, πτητικών ενώσεων και άλλων δευτεροταγών προϊόντων οξειδωσης φαίνεται

πως ευνοήθηκε από τα πρώτα κιόλας στάδια της επεξεργασίας επιδεινώνοντας την κατάσταση.

Ακολούθως εξετάστηκαν τα τηγανισμένα δείγματα σησαμελαίου και πυρηνελαίου εμπλουτισμένα με ασταξανθίνη (Πίνακες 11 και 12). Το εμπλουτισμένο πυρηνέλαιο αντιπαραβαλλόμενο προς το μη εμπλουτισμένο πυρηνέλαιο εμφανίζει σταθερότητα στην πλειονότητα των κορυφών πλην των 3530, 1743 και 3005–3008 cm^{-1} . Τα υδροϋπεροξειδία (3530 cm^{-1}) εμφανίζονται στο 5ο λεπτό της θερμικής επεξεργασίας, ενώ στο μη εμπλουτισμένο δείγμα εμφανίζονται στα 15 λεπτά. Η εμφάνιση της κορυφής αυτής, σε συνδυασμό με τις αυξομειώσεις της έντασης και του πλάτους της κορυφής 1743 cm^{-1} (όπως φαίνεται στο Σχήμα 6), υποδηλώνει την οξείδωση του ελαίου (μείωση της κορυφής) και την δημιουργία πρωτογενών και δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης (αύξηση της κορυφής), αντίστοιχα. Όπως είναι φανερό, το πυρηνέλαιο δεν ευνοείται από τον συγκεκριμένο εμπλουτισμό.



Σχήμα 6: Φάσματα τηγανισμένων δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη στη περιοχή 1743–1728 cm^{-1} για 3, 13 και 30 min (από προσωπικό αρχείο).

Σε παρόμοια έρευνα, οι Vlachos et al. (2006) ασχολήθηκαν με τις φασματικές αλλαγές στην περιοχή των 1743 cm^{-1} σε θερμαινόμενα δείγματα και παρατήρησαν διεύρυνση της ζώνης. Αυτή η συμπεριφορά εξηγείται από την πιθανή οξειδωτική αποικοδόμηση των λιπιδίων και παραγωγή αλδεϋδών και άλλων προϊόντων δευτερογενούς οξείδωσης, τα οποία απορροφούν κοντά στα 1728 cm^{-1} και επικαλύπτονται με τη δόνηση τάσης στα 1743 cm^{-1} του καρβονυλίου των εστέρων που βρίσκονται στα τριγλυκερίδια. Ο σχηματισμός νέων καρβονυλίων οδηγεί στη διεύρυνση της ζώνης των 1743 cm^{-1} προς χαμηλότερους κυματαριθμούς.

Αντίθετα, η ασταξανθίνη δρα ως αντιοξειδωτικό στο σησαμέλαιο, κάτι που γίνεται αντιληπτό λόγω της σταθερότητας της κορυφής κοντά στα $1350\text{-}1380\text{ cm}^{-1}$ και της επιβραδυνόμενης εμφάνισης της κορυφής των υδροϋπεροξειδίων (3530 cm^{-1}), της κορυφής $\sim 1099\text{ cm}^{-1}$, οι οποίες αποδίδονται σε πτητικά μόρια και δευτεροταγείς αλκοόλες (δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης) που σχηματίζονται μέσω θερμικής αποικοδόμησης των υδροϋπεροξειδίων των λιπιδίων (Aladedunye & Przybylski, 2009).

Όταν το εμπλουτισμένο με ασταξανθίνη σησαμέλαιο υπέστη θερμική επεξεργασία στους $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Πίνακας 21), για τις πρώτες 24 ώρες παραμονής στον φούρνο, η παρουσία του αντιοξειδωτικού φαίνεται να επιβράδυνε την αποικοδόμηση του ελαίου, δεδομένης της σταθερότητας που εμφανίζεται στις περιοχές 721 , 966 και $3005\text{-}3008\text{ cm}^{-1}$ και της αποικοδόμησης των μη εμπλουτισμένων φυτικών ελαίων μετά τις 20 ώρες (Liu & Lu, 2018). Έπειτα, μέχρι τις 60 ώρες, η ένταση μειώνεται σημαντικά σε σύγκριση με τους $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Πίνακας 15), γεγονός που αποδεικνύει ότι η επεξεργασία στους $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ δεν ήταν ιδιαίτερα καταστρεπτική για το εμπλουτισμένο με ασταξανθίνη σησαμέλαιο και ότι το αντιοξειδωτικό έδρασε προστατευτικά έναντι της οξείδωσης.

Παρόλα αυτά, η παρατεταμένη θερμική επεξεργασία του συγκεκριμένου δείγματος στους $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Πίνακας 21) προκάλεσε απότομη μείωση της έντασης της κορυφής των 3008 cm^{-1} στις 60 ώρες, υποδεικνύοντας πιθανή ισομερίωση *cis* διπλών δεσμών προς *trans*. Τούτο επιβεβαιώνεται και από τις κορυφές 721 και 966 cm^{-1} , οι οποίες αντιπροσωπεύουν τους *cis* και *trans* δεσμούς, αντίστοιχα. Στην κορυφή 721 cm^{-1} , παρατηρείται μείωση της έντασης μέχρι τις 60 ώρες, ωστόσο, ακολουθούμενη από απότομη αύξηση στις 72 ώρες. Αυτή η απρόσμενη συμπεριφορά μπορεί να αποδοθεί στη θερμική αποδόμηση του ελαίου και στην ισομερίωση των *trans* διπλών δεσμών σε *cis*. Παράλληλα, στην κορυφή 966 cm^{-1} , εμφανίζεται έντονη αυξητική πορεία μεταξύ 48 και 60 ωρών, με εξαφάνιση αυτής στις 72 ώρες. Σύμφωνα με την έρευνα του Tsuzuki (2010), ο οποίος μελέτησε τον ρυθμό ισομερισμού και τον ρυθμό της οξειδωτικής αποικοδόμησης σε θερμαινόμενα δείγματα τριολεΐνης και τριελαϊδίνης, παρατηρήθηκε μείωση των *trans* ισομερών και ταυτόχρονη αύξηση των *cis* ισομερών στα δείγματα της δεύτερης. Ο Tsuzuki υπέθεσε ότι αυτή η μεταβολή μπορεί να υποδηλώνει την εξέλιξη της θερμικής οξείδωσης, καθώς και τον ισομερισμό των *trans* διπλών δεσμών.

Μια επιπλέον εκδοχή θα μπορούσε να είναι η ισομερίωση κάποιων *trans* διπλών δεσμών της ασταξανθίνης στο σησαμέλαιο, η οποία ευνοείται κατά τη θερμική της επεξεργασία. Σχετικά με αυτή την αύξηση της ακορεστότητας, οι Papaioannou et al. (2016) αναφέρουν ότι διάφορες συνθήκες επεξεργασίας, όπως η θερμική, πιθανώς

προκάλεσαν διάσπαση των προστατευτικών πρωτεϊνών από το σύμπλοκο της ασταξανθίνης, που απαντάται στα φύκη και σε άλλους υδρόβιους οργανισμούς (Yao et al., 2023), με αποτέλεσμα την απελευθέρωσή της. Έτσι, ο ιδιαίτερα ακόρεστος *all-trans* χαρακτήρας της ασταξανθίνης (Yao et al., 2023), αρχικά ενίσχυσε την κορυφή 966 cm^{-1} εμπλουτισμένου σησαμελαίου στις 78-60 ώρες και έπειτα οι δεσμοί αυτοί ισομεριώθηκαν στις 72 ώρες. Από την άλλη, στα εμπλουτισμένα δείγματα πυρηνελαίου με ασταξανθίνη, που ψήθηκαν σε φούρνο στους $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Πίνακας 16) και $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Πίνακας 22), οι εντάσεις των κορυφών στα $3005\text{--}3008$, 966 και 721 cm^{-1} παρέμειναν σχετικά αμετάβλητες.

Επιπλέον, στα δείγματα σησαμελαίου εμπλουτισμένου με β-καροτένιο (Πίνακας 19) ανιχνεύτηκαν έντονες αλλοιώσεις. Ειδικότερα, οι κορυφές κοντά στα 3530 , $3005\text{--}3008$ και 1743 cm^{-1} εμφάνισαν σημαντικές μεταβολές στην ένταση, ακόμη και σε αρχικά στάδια της επεξεργασίας, οι οποίες πιθανόν να αποδίδονται σε φαινόμενα, όπως η θερμική υδρόλυση και η οξείδωση. Η θερμική υδρόλυση είναι μια θερμοχημική αντίδραση, κατά την οποία τα τριγλυκερίδια των φυτικών ελαίων λειτουργούν ως αντιδρώντα, καταλύονται από την παρουσία υγρασίας που υπάρχει στο έλαιο και τελικά μετατρέπονται σε διγλυκερίδια, μονογλυκερίδια, γλυκερόλη και ελεύθερα λιπαρά οξέα. Έτσι, η διάσπαση των εστερικών ομάδων των τριγλυκεριδίων αποδόθηκε ως μείωση της φασματικής κορυφής των 1743 cm^{-1} στα πρώτα στάδια της επεξεργασίας (Dodoo et al., 2022). Ταυτόχρονα, στην κορυφή $\sim 3005\text{--}3008\text{ cm}^{-1}$ παρατηρείται παρόμοιας έντασης μείωση, η οποία πιθανώς συνδέεται με την παραγωγή υδροϋπεροξειδίων ή ελεύθερων λιπαρών οξέων στην περιοχή $\sim 3530\text{ cm}^{-1}$ των ελεύθερων υδροξυλίων (Srivastava & Semwal, 2015). Στη συνέχεια, στις 12 ώρες θέρμανσης, παρατηρείται αύξηση της έντασης και της κορυφής των 1743 cm^{-1} , γεγονός που υποδεικνύει την πιθανή παραγωγή δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης.

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται πως το β-καροτένιο θα μπορούσε να δρα προ-οξειδωτικά, δηλαδή να καταλύει τις αντιδράσεις θερμικής οξείδωσης και υδρόλυσης. Οι Zeb & Murkovic (2013) μελέτησαν την αλληλεπίδραση του β-καροτενίου σε διάφορα εδάδιμα έλαια και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αυξημένη θερμοκρασία προάγει την παραγωγή προϊόντων του β-καροτενίου με προ-οξειδωτική δράση, ενώ η σύνθεση των τριγλυκεριδίων σε λιπαρά οξέα παίζει καθοριστικό ρόλο στην επίδραση του β-καροτενίου. Συγκεκριμένα, τα τριγλυκερίδια με υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ φαίνεται να αλληλεπιδρούν καλύτερα με το β-καροτένιο, ενισχύοντας την οξειδωτική σταθερότητα του εμπλουτισμένου ελαίου. Πράγματι, τα φαινόμενα που

παρατηρούνται στο φάσμα του σησαμελαίου θα μπορούσαν να αποδοθούν στη χαμηλή του περιεκτικότητα σε τριγλυκερίδια πλούσια σε ελαϊκό οξύ και στην προ-οξειδωτική δράση των προϊόντων αποικοδόμησης του β-καροτενίου.

Αντίθετα, το πυρηνέλαιο (*Πίνακας 20*) εμφάνισε εξαιρετική οξειδωτική σταθερότητα, όπως φαίνεται από τις κορυφές κοντά στα 721, 966, 1743 και 3005–3008 cm^{-1} , υποδεικνύοντας ότι παρόλο που το β-καροτένιο αποσυντίθεται κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας, λόγω αυξημένης θερμοκρασίας, η προ-οξειδωτική δράση των προϊόντων της αποσύνθεσής του φαίνεται πως δεν επηρέασε σημαντικά το έλαιο. Αυτό πιθανόν οφείλεται στη χαμηλότερη ακορεστότητά του σε σύγκριση με το σησαμέλαιο, η οποία προσδίδει στο πυρηνέλαιο αυξημένη οξειδωτική σταθερότητα.

Επιπλέον, η υγρασία του ελαίου είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την οξειδωτική σταθερότητα των εμπλουτισμένων με β-καροτένιο δειγμάτων (Kasimoglu et al., 2018). Δεδομένου ότι το β-καροτένιο δεν διαλύεται εύκολα σε υδατικό περιβάλλον, είναι πιθανό ότι και τα προϊόντα αποσύνθεσής του δεν διαλύονται επαρκώς στο έλαιο αυτό, με αποτέλεσμα η παρουσία τους να μην επηρεάζει σημαντικά την οξείδωση του πυρηνελαίου. Συνεπώς, η υγρασία του ελαίου και η επίδρασή της στη σταθερότητα του εμπλουτισμένου πυρηνελαίου αξίζουν περαιτέρω διερεύνηση για την κατανόηση της ακριβούς σχέσης τους με την οξείδωση.

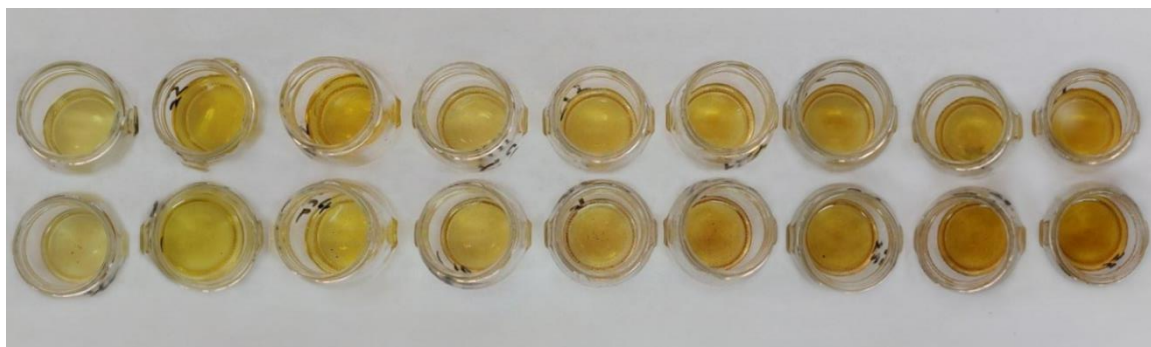
Τέλος, αξιολογήθηκαν τα εμπλουτισμένα δείγματα πυρηνελαίου και σησαμελαίου με τρούφα, που υπέστησαν θερμική επεξεργασία σε φούρνο στους 85 °C (*Πίνακες 17 και 18*) και 110 °C (*Πίνακες 23 και 24*). Στην χαμηλότερη θερμοκρασία, τα δύο έλαια φαίνεται να είναι αρκετά σταθερά απέναντι στην οξείδωση, επιβεβαιώνοντας ότι η τρούφα διαθέτει αντιοξειδωτική δράση. Συγκεκριμένα, οι κορυφές που σχετίζονται με τα *cis* και *trans* λιπαρά οξέα, τα υδροϋπεροξειδία και τα δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης παραμένουν σχετικά αμετάβλητες. Παρομοίως, στην υψηλότερη θερμοκρασία, οι εντάσεις των κύριων κορυφών παραμένουν αρκετά σταθερές. Ωστόσο, στο σησαμέλαιο (*Πίνακας 23*) παρατηρείται, μετά από πολλές ώρες επεξεργασίας στους 110 °C, μια μικρή αύξηση των υπεροξειδίων και των δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης.

4.2. Μετρήσεις Χρώματος

Το χρώμα αποτελεί παράγοντα αποδοχής από τους καταναλωτές τόσο στην αρχική του κατάσταση, όσο και μετά από θερμική επεξεργασία, δεδομένου πως αλλάζει αισθητά κατά τη θέρμανση. Κρίνεται λοιπόν σημαντικό, πέραν της έρευνας για τη

μεταβολή των λειτουργικών χαρακτηριστικών του εμπλουτισμένου σησαμελαίου και του πυρηνελαίου με ασταξανθίνη, τρούφα ή β-καροτένιο, να συγκριθούν και να αναλυθούν οι χρωματικές παράμετροι των δειγμάτων αυτών, οι οποίες έχει αποδειχθεί ότι έχουν άμεση συσχέτιση με την ποιότητα των ελαίων (Lalas, 2008). Σημειώνεται, επίσης, πως τα αποτελέσματα της μέτρησης του χρώματος, σύμφωνα με το σύστημα CIELab, παρατίθενται στους Πίνακες (25-42), οι οποίοι περιέχονται στο «Παράρτημα Αποτελεσμάτων 2» του παρόντος.

Στην παρακάτω φωτογραφία παρουσιάζονται κάποια από τα δείγματα σησαμελαίου που πρόκειται να εξεταστούν. Η φωτογράφιση πραγματοποιήθηκε με σκοπό να επιβεβαιωθούν και να αποτυπωθούν οπτικά οι αρχικές χρωματικές διαφορές των δειγμάτων πριν από την περαιτέρω ανάλυση. Αυτή η απεικόνιση βοηθά στην κατανόηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από τις μετρήσεις των χρωματικών παραμέτρων, σύμφωνα με το σύστημα CIELab, όπως αναφέρονται και στους αντίστοιχους πίνακες.



Εικόνα 2: Φωτογραφίες δειγμάτων μη εμπλουτισμένου σησαμελαίου (επάνω σειρά) και εμπλουτισμένου σησαμελαίου με τρούφα (κάτω σειρά), κατά το τηγάνισμα (Χρόνοι: 3, 5 7, 10, 15, 20, 25, 30 και 35 min) (από προσωπικό αρχείο)

Αρχικά, μελετήθηκε το μη εμπλουτισμένο δείγμα σησαμελαίου, που υποβλήθηκε σε τηγάνισμα για 35 λεπτά (όπως φαίνεται στον Πίνακα 8, αλλά και στην επάνω σειρά της Εικόνας 2), και παρατηρήθηκε αυξομείωση της παραμέτρου L^* , με το δείγμα στο τέλος της επεξεργασίας να είναι ελαφρώς φωτεινότερο από το αρχικό δείγμα (S_0). Παράλληλα, οι παράμετροι H (χρoιά του δείγματος), a^* (κόκκινο-πράσινο) και b^* (κίτρινο-μπλε) μειώνονται στα πρώτα 10-15 λεπτά και ύστερα τείνουν επανέλθουν κοντά στις αρχικές τιμές. Ως αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών, το αρχικά χρυσοκίτρινο χρώμα του σησαμελαίου αποκτά μια φωτεινότερη και εντονότερη πρασινοκίτρινη χρoιά, υποδηλώνοντας τις αλλοιώσεις που υφίσταται το έλαιο. Ωστόσο, στο τέλος της θερμικής επεξεργασίας στο έλαιο επικρατεί ο κίτρινος τόνος, ο οποίος αποδίδεται στο

σχηματισμό υδροϋπεροξειδίων και αλδεϋδών στα θερμικά επεξεργασμένα έλαια (Lalas, 2008).

Πίνακας 9: Παράμετροι του χρώματος (L^* , C , H , a^* , b^*) μη εμπλουτισμένου σησαμελαίου και πυρηνελαίου, κατά το τηγάνισμα.

Δείγματα	L^*	C	H	a^*	b^*
S0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
S3	58,41 ± 0,31	9,81 ± 0,33	100,81 ± 0,17	-1,84 ± 0,05	9,64 ± 0,33
S5	58,29 ± 0,10	11,74 ± 0,30	99,86 ± 0,11	-2,01 ± 0,09	11,56 ± 0,30
S7	57,54 ± 0,10	11,24 ± 0,08	98,08 ± 0,12	-1,58 ± 0,03	11,13 ± 0,08
S10	57,25 ± 0,66	10,74 ± 0,31	95,88 ± 0,06	-1,10 ± 0,08	10,69 ± 0,31
S15	56,98 ± 0,07	9,46 ± 0,05	96,68 ± 0,02	-1,10 ± 0,04	9,39 ± 0,05
S20	61,45 ± 0,60	10,45 ± 0,51	97,81 ± 0,33	-1,42 ± 0,09	10,35 ± 0,52
S25	57,34 ± 0,70	10,76 ± 0,45	97,85 ± 0,26	-1,47 ± 0,13	10,66 ± 0,43
S30	57,88 ± 0,78	13,01 ± 1,24	97,91 ± 0,85	-1,79 ± 0,28	12,88 ± 1,29
S35	56,98 ± 0,46	14,75 ± 0,93	98,45 ± 0,53	-2,09 ± 0,06	14,07 ± 0,78
P0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
P3	52,78 ± 0,24	4,88 ± 0,17	102,81 ± 0,12	-1,08 ± 0,07	4,75 ± 0,16
P5	51,21 ± 0,19	5,81 ± 0,06	102,53 ± 0,06	-1,26 ± 0,02	5,67 ± 0,06
P7	58,20 ± 0,41	5,96 ± 0,19	103,17 ± 0,09	-1,36 ± 0,07	5,81 ± 0,18
P10	62,53 ± 0,50	7,13 ± 0,19	103,39 ± 0,10	-1,65 ± 0,09	6,93 ± 0,17
P15	53,85 ± 0,19	6,39 ± 0,05	102,30 ± 0,01	-1,36 ± 0,06	6,24 ± 0,04
P20	58,00 ± 0,71	6,36 ± 0,29	102,25 ± 0,17	-1,35 ± 0,13	6,22 ± 0,28
P25	51,85 ± 0,19	5,22 ± 0,03	102,28 ± 0,01	-1,11 ± 0,02	5,10 ± 0,03
P30	61,59 ± 0,41	6,89 ± 0,29	102,91 ± 0,19	-1,54 ± 0,08	6,72 ± 0,28
P35	61,08 ± 0,82	7,28 ± 0,07	102,70 ± 0,02	-1,60 ± 0,07	7,10 ± 0,05

Στο μη εμπλουτισμένο πυρηνέλαιο από την άλλη (Πίνακας 8), η παράμετρος L^* παρουσιάζει εντονότερες αυξομειώσεις. Αν και στο 5ο και 25ο λεπτό παρατηρείται μείωση της φωτεινότητας, στο τέλος της θερμικής επεξεργασίας εμφανίζεται συνολική αύξηση της τιμής L^* , υποδεικνύοντας ένα φωτεινότερο χρώμα συγκριτικά με το αρχικό ακατέργαστο δείγμα (P0). Γενικά, η μείωση της φωτεινότητας αποδίδεται στον σχηματισμό προϊόντων οξείδωσης και πολυμερισμού του ελαίου, δηλαδή στις κύριες χημικές αντιδράσεις που προκαλεί το τηγάνισμα (Srivastava & Semwal, 2015). Επίσης, οι παράμετροι a^* , b^* και H μειώνονται απότομα στο τρίτο λεπτό και στην συνέχεια παραμένουν σχετικά σταθερές. Έτσι το αρχικό πρασινοκίτρινο χρώμα του πυρηνελαίου αποκτά μια ελαφρώς ωχρή χροιά.

Στη συνέχεια, αναλύθηκαν τα πειραματικά δεδομένα των δειγμάτων σησαμελαίου, πυρηνελαίου, εμπλουτισμένων με ασταξανθίνη, τα οποία υποβλήθηκαν σε τηγάνισμα. Η ασταξανθίνη φαίνεται να συνέβαλε στη σταθεροποίηση του κίτρινου

χρώματος (παράμετρος b^*) στο σησαμέλαιο μέχρι το 13ο λεπτό, σε σύγκριση με τα μη εμπλουτισμένα δείγματα (Πίνακας 27). Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σταθεροποίηση στη συνολική χρωματική εξέλιξη. Συγκεκριμένα, στην περίοδο μεταξύ 15ου και 20ου λεπτού, παρατηρείται απότομη μείωση της φωτεινότητας, της χροιάς και του κίτρινου χρώματος (παράμετροι L^* , H και b^*), ενώ το κόκκινο χρώμα ενισχύεται (παράμετρος a^*). Σύμφωνα με τον Lalas (2008), το κόκκινο χρώμα αποδίδεται στην οξείδωση των λιπαρών οξέων και στον σχηματισμό πυρολυτικών προϊόντων συμπύκνωσης, ενώ η μείωση του κίτρινου χρώματος (παράμετρος b^*) σχετίζεται πιθανώς με την αποικοδόμηση των φυσικά περιεχόμενων καροτενοειδών. Επιπλέον, επισημαίνει ότι η δημιουργία δευτερευόντων συστατικών με διπλούς δεσμούς, ομάδες καρβοξυλίου, εστέρα, υπεροξειδίου και υδροξυλίου και μοριακό βάρος 300-551 συμβάλλει στην πτώση της φωτεινότητας κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, όπως πράγματι παρατηρείται στο 20ο λεπτό. Αντίθετα, η προσθήκη ασταξανθίνης στο πυρηνέλαιο (Πίνακας 28) φαίνεται να ευνόησε τη σταθεροποίηση των τιμών παραμέτρων H^* και a^* , κάτι που ίσως παραπέμπει στην ικανότητα της ασταξανθίνης να παρέχει στο συγκεκριμένο έλαιο αντιοξειδωτικές ιδιότητες.

Ακόμη, συγκριθήκαν οι χρωματικοί δείκτες του σησαμελαίου και πυρηνελαίου που εμπλουτίστηκαν με τρούφα και υπέστησαν τηγάνισμα. Στην περίπτωση του σησαμελαίου (όπως φαίνεται στον Πίνακα 29, αλλά και στην κάτω σειρά της Εικόνας 2), η προσθήκη τρούφας είχε αρνητικές επιπτώσεις στο χρώμα του τηγανισμένου δείγματος. Συγκεκριμένα, σε σχέση με το μη εμπλουτισμένο σησαμέλαιο, ο εμπλουτισμός οδήγησε στην αύξηση της τιμής των παραμέτρων L^* και b^* , ενώ η παράμετρος a^* δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τον εμπλουτισμό, χαρίζοντας στο εμπλουτισμένο σησαμέλαιο χρυσοκίτρινη χροιά. Ο ίδιος εμπλουτισμός στο πυρηνέλαιο (Πίνακας 30) δεν επέφερε σημαντικές μεταβολές στο χρώμα, παρά σταθεροποίηση της τιμής της παραμέτρου L^* , σε σύγκριση με το μη εμπλουτισμένο δείγμα.

Ακολούθως, αξιολογήθηκαν οι χρωματικοί παράμετροι των δειγμάτων πυρηνελαίου, σησαμελαίου εμπλουτισμένων και μη, τα οποία υποβλήθηκαν σε θερμική επεξεργασία σε φούρνο στους 85 και 110 °C.

Στους 85 °C, οι χρωματικές παράμετροι L^* , H και a^* του σησαμελαίου, το οποίο εμπλουτίστηκε με ασταξανθίνη (Πίνακας 31), φαίνεται να παρέμειναν σχετικά σταθερές στην πάροδο των 72 ωρών. Ταυτόχρονα, η τιμή της παραμέτρου b^* μειώθηκε, υποδεικνύοντας μια σταδιακή απώλεια της κίτρινης απόχρωσης. Αυτή η μεταβολή ενδέχεται να σχετίζεται με την αποικοδόμηση με την αποικοδόμηση των φυσικά

περιεχόμενων καροτενοειδών και την αλληλεπίδρασή της με τα προϊόντα οξείδωσης κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας. Παρά τις μεταβολές αυτές, η ασταξανθίνη συνέβαλε στη διατήρηση της συνολικής χρωματικής σταθερότητας του σησαμελαίου, καθυστερώντας την απώλεια της φωτεινότητας και της κίτρινης απόχρωσης.

Ομοίως, στους 110 °C (Πίνακας 39), φαίνεται πως η ασταξανθίνη παραμένει αποτελεσματική στη διατήρηση της συνολικής χρωματικής σταθερότητας, δεδομένης της σταθερότητας της παραμέτρου H. Ωστόσο, στις υπόλοιπες παραμέτρους, οι διακυμάνσεις είναι πιο έντονες σε σύγκριση με την επεξεργασία στους 85 °C. Αυτές είναι πιθανόν να οφείλονται στην μεγαλύτερη θερμοκρασία, η οποία επιταχύνει την καταστροφή των καροτενοειδών.

Το αντίθετο, παρόλα αυτά, παρατηρείται στο εμπλουτισμένο πυρηνέλαιο (Πίνακας 32 και 40), το οποίο δεν επηρεάζεται σημαντικά από την θερμότητα, δεδομένης της σχετικής σταθερότητας των παραμέτρων H, a* και b* στους 85 και 110 °C. Επομένως, είναι σαφές ότι η υψηλότερη θερμοκρασία δεν επηρεάζει και τα δύο εμπλουτισμένα έλαια εξίσου και πως η ασταξανθίνη δρα σημαντικά στην σταθερότητα του χρώματος.

Στη συνέχεια, ο εμπλουτισμός με τρούφα στο σησαμέλαιο μετά από ψήσιμο στους 85 °C (Πίνακας 33) ανέδειξε επίσης θετικά αποτελέσματα συγκρατώντας ένα πιο φωτεινό χρυσοκίτρινο χρώμα. Συγκεκριμένα, η φωτεινότητα μέσω της παραμέτρου L* αυξήθηκε ενώ η μεταβλητές a* και b* παρέμειναν εξαιρετικά σταθερές μετά τις 2 ώρες. Ομοίως, εξαιρετικά αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στο πυρηνέλαιο εμπλουτισμένο με τρούφα (Πίνακας 34). Οι παράμετροι a*, b* και H παρουσιάζουν εξαιρετική σταθερότητα και, παράλληλα, η φωτεινότητα αυξάνεται στην διάρκεια των 72 ωρών.

Θετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται και στους 110 °C για τα εμπλουτισμένα σησαμέλαια και πυρηνέλαια με τρούφα (Πίνακας 41 και 42). Παρά την εμφανή επίδραση της θερμότητας, συγκριτικά με τα παραπάνω δείγματα, η επίδραση των αντιοξειδωτικών της τρούφας βελτίωσε σημαντικά την οξειδωτική σταθερότητα των εν λόγω ελαίων, σε σχέση με τα μη εμπλουτισμένα (Πίνακας 37 και 38). Συγκεκριμένα, στο εμπλουτισμένο σησαμέλαιο παρατηρείται σημαντικά μειωμένος ρυθμός μεταβολής των παραμέτρων H και a*, ο οποίος σχετίζεται με την παρεμπόδιση της οξείδωσης των λιπαρών οξέων και του σχηματισμού πυρολυτικών προϊόντων συμπίκνωσης (Lalas, 2008). Αντίθετα, στο εμπλουτισμένο πυρηνέλαιο η διαφορά παρατηρείται στις παραμέτρους L* και a*, η οποία αποδίδεται στις μειωμένες αντιδράσεις οξείδωσης και πολυμερισμού του εμπλουτισμένου ελαίου (Srivastava & Semwal, 2015).

Παρόλα αυτά, αξιοσημείωτη διαφορά παρατηρήθηκε στο εμπλουτισμένο σησαμέλαιο με ασταξανθίνη (Πίνακας 39) και στο εμπλουτισμένο σησαμέλαιο με τρούφα (Πίνακας 41), στους 110 °C. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσθήκη της ασταξανθίνης παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση στην οξειδωτική σταθερότητα σε σχέση με την τρούφα, δεδομένου πως οι παράμετροι L^* και H εμφανίζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην χρωματική αλλοίωση, διατηρώντας την φωτεινή κιτρινοπράσινη χροιά του σησαμελαίου σταθερή. Ωστόσο, αντίστοιχα αξιόλογες διαφορές δεν σημειώνονται στα δείγματα πυρηνελαίου με ασταξανθίνη και πυρηνελαίου με τρούφα στους 110 °C (Πίνακας 40 και 42), σησαμελαίου με ασταξανθίνη και σησαμελαίου με τρούφα στους 85 °C (Πίνακας 31 και 33) και πυρηνελαίου με ασταξανθίνη και πυρηνελαίου με τρούφα στους 85 °C (Πίνακας 32 και 34).

Τέλος, στους 85 °C δοκιμάστηκε και ο εμπλουτισμός του σησαμελαίου και του πυρηνελαίου με το β -καροτένιο (Πίνακας 35 και 36). Στα εμπλουτισμένα δείγματα σησαμελαίου ο χρόνος παραμονής στον φούρνο ήταν 90 ώρες, ενώ τα δείγματα του πυρηνελαίου θερμάνθηκαν για 72 ώρες. Το β -καροτένιο είναι ένα θερμοευαίσθητο αντιοξειδωτικό, το οποίο καταστρέφεται σε θερμοκρασίες άνω των 70 °C (Liu et al., 2014). Έτσι, οι 85 °C επιλέχθηκαν ως η ιδανική θερμοκρασία όπου το β -καροτένιο δεν διασπάται σημαντικά. Επιπλέον, η παρουσία του β -καροτενίου στα δείγματα των ελαίων προκάλεσε σημαντική αύξηση της τιμής της παραμέτρου b^* (Lalas, 2008), συγκριτικά με όλα τα προηγούμενα δείγματα. Οπτικά, αυτό αποτυπώνεται σε ένα έντονο κίτρινο χρώμα, που χαρακτηρίζει την ταυτότητα του συγκεκριμένου ελαίου.

Στο σησαμέλαιο, η προσθήκη του β -καροτενίου (Πίνακας 35) φαίνεται να μετρίασε τις μεταβολές των παραμέτρων L^* , H , a^* και b^* , κατά τις πρώτες 3 ώρες, σε σύγκριση με το πυρηνέλαιο (Πίνακας 36). Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε ότι και τα δύο έλαια καταστρέφονται σημαντικά, αφού παρατηρούνται έντονες αυξομειώσεις σε όλες τις χρωματικές παραμέτρους. Αυτή η συμπεριφορά ενδεχομένως να αποδίδεται στην προ-οξειδωτική δράση των προϊόντων διάσπασης του β -καροτενίου.

Παρόλο που και τα δύο έλαια υφίστανται σημαντική αλλοίωση μετά την προσθήκη β -καροτενίου, το εμπλουτισμένο πυρηνέλαιο φαίνεται να επηρεάζεται ακόμη περισσότερο. Συγκεκριμένα, η παράμετρος H (χροιά) του πυρηνελαίου παρουσιάζει μεγάλη αύξηση σε σχέση με το αρχικό δείγμα, υποδηλώνοντας ότι η έντονη κίτρινη απόχρωση του αρχικού δείγματος μετατρέπεται σε πιο καστανοκίτρινο τόνο. Αντίθετα, το εμπλουτισμένο σησαμέλαιο καταφέρνει να διατηρήσει τον πορτοκαλοκίτρινο τόνο του, γεγονός που αποδεικνύει χρωματική σταθερότητα.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Υποδείξεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν εμπλουτισμένα και μη δείγματα σησαμελαίου και πυρηνελαίου πριν και μετά από τη θερμική επεξεργασία τους σε θερμοκρασίες 85 και 110 °C, όπως επίσης μετά από τη διεργασία του τηγάνισματος. Ο εμπλουτισμός των ελαίων έγινε με επιλογή κατάλληλης προσθήκης βιοδραστικών ουσιών, αλλά και τροφίμου, όπως η ασταξανθίνη, το β-καροτένιο και η τρούφα, αντίστοιχα, με στόχο την αύξηση της οξειδωτικής σταθερότητας αυτών. Η επιλογή του πυρηνελαίου βασίστηκε στο γεγονός ότι είναι ένα έλαιο πλούσιο σε αντιοξειδωτικές ουσίες, αλλά υποβαθμισμένο, λόγω της διαδικασίας του εξευγενισμού, το οποίο μέσω του εμπλουτισμού μπορεί να καταστεί προϊόν προστιθέμενης αξίας. Η επιλογή του σησαμελαίου βασίστηκε στο γεγονός ότι λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είναι ένα έλαιο επιρρεπές στην οξείδωση. Η μελέτη των ελαίων βασίστηκε στα αποτελέσματα της φασματοσκοπίας μέσου υπερύθρου, όπως και στη μέτρηση των παραμέτρων του χρώματος στα δείγματα αυτών. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα της φασματοσκοπικής και χρωματομετρικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να αξιολογηθούν: α) η επίδραση των μεμονωμένων θερμικών διεργασιών στη σύσταση και χρώμα των ελαίων, β) η επίδραση του εμπλουτισμού ως προς την βιοδραστική ουσία για τη σταθερότητα των ελαίων και γ) η συγκριτική μελέτη των διαφορετικών ελαίων.

Αρχικά, τα μη εμπλουτισμένα και θερμικά επεξεργασμένα δείγματα σησαμελαίου και πυρηνελαίου, τα οποία υποβλήθηκαν σε φασματοσκοπία μέσου υπερύθρου και χρωματομετρία, επηρεάστηκαν διαφορετικά από τη θερμότητα. Το σησαμέλαιο, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε ακόρεστα λιπαρά οξέα, αποδείχθηκε λιγότερο σταθερό κατά τη θερμική επεξεργασία. Συγκεκριμένα, παρουσίασε σημαντικές χρωματικές μεταβολές και αντιδράσεις οξείδωσης και αποικοδόμησης, όπως η εμφάνιση υδροϋπεροξειδίων και η ισομερίωση των *cis* διπλών δεσμών σε *trans*. Αντίθετα, η φασματοσκοπική ανάλυση του πυρηνελαίου απέδειξε μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα κατά τη θερμική επεξεργασία, καθιστώντας το καταλληλότερο για τηγάνισμα και άλλες θερμικές επεξεργασίες. Ωστόσο, οι χρωματικές παράμετροι του πυρηνελαίου μεταβλήθηκαν σημαντικά, καθιστώντας το χρώμα πιθανώς μη αποδεκτό για τον

καταναλωτή και υποδηλώνοντας ότι, παρόλο που το έλαιο είναι σταθερό από άποψη οξείδωσης, η θερμική επεξεργασία επηρεάζει αρνητικά την αισθητηριακή του ποιότητα.

Επιπλέον, ο εμπλουτισμός των ελαίων με βιοδραστικά συστατικά είχε σημαντικές επιπτώσεις στις φυσικοχημικές ιδιότητες τους. Ο εμπλουτισμός του πυρηνέλαιου με τρούφα φαίνεται πως ενίσχυσε σημαντικά την οξειδωτική του σταθερότητα, παρεμποδίζοντας την εμφάνιση υδροϋπεροξειδίων και τις χρωματικές μεταβολές κατά την θερμική επεξεργασία. Το εμπλουτισμένο σησαμέλαιο επωφελήθηκε κατά περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, κατά το τηγάνισμα το εμπλουτισμένο δείγμα σησαμελαίου δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο μη εμπλουτισμένο, ενώ τα δείγματα που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία σε φούρνο εμφάνισαν βελτιωμένη σταθερότητα και στις δύο αναλύσεις.

Η προσθήκη β-καροτενίου προκάλεσε έντονες μεταβολές στο χημικό προφίλ και το χρώμα των δειγμάτων σησαμελαίου και πυρηνελαίου που υποβλήθηκαν σε θερμική επεξεργασία σε φούρνο στους 85 °C. Αυτή η συμπεριφορά φαίνεται να σχετίζεται με την θερμοευαισθησία του β-καροτενίου, το οποίο, υπό υψηλές θερμοκρασίες, υφίσταται αποικοδόμηση. Τα προϊόντα αποικοδόμησης του β-καροτενίου πιθανόν εμφανίζουν προοξειδωτική δράση, επιταχύνοντας τις οξειδωτικές αντιδράσεις στα έλαια κατά τη θερμική επεξεργασία.

Στην συνέχεια, προσθήκη ασταξανθίνης φαίνεται να ενίσχυσε την οξειδωτική σταθερότητα του σησαμελαίου. Η φασματοσκοπική ανάλυση αποκάλυψε μειωμένη παραγωγή υδροϋπεροξειδίων και περιορισμένες μεταβολές στις χαρακτηριστικές ζώνες απορρόφησης του φάσματος, υποδεικνύοντας ότι η ασταξανθίνη συμβάλλει στην επιβράδυνση των οξειδωτικών αντιδράσεων. Επιπλέον, με την χρωματομετρία καταγράφηκαν λιγότερες μεταβολές στο χρώμα, συγκριτικά με τα μη εμπλουτισμένα δείγματα σησαμελαίου, επιβεβαιώνοντας τη συμβολή της ασταξανθίνης στη διατήρηση της ποιότητας του ελαίου. Αντίθετα, στην περίπτωση του εμπλουτισμένου πυρηνελαίου δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην ήδη υψηλή οξειδωτική του σταθερότητα.

Η μελέτη ανέδειξε ένα ενδιαφέρον φαινόμενο, όπου παρατηρήθηκε ισομερίωση από τη μορφή *trans* προς *cis* κατά τη θερμική επεξεργασία δειγμάτων σησαμελαίου. Αυτή η μεταβολή ενδέχεται να συνδέεται με τις συνθήκες οξείδωσης και τις χημικές αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη θέρμανση, είτε με την ενδεχόμενη ισομερίωση κάποιων *trans* διπλών δεσμών της απελευθερωμένης ασταξανθίνης. Η περαιτέρω διερεύνηση αυτού του φαινομένου θα μπορούσε να αποτελέσει το

επίκεντρο μελλοντικών ερευνών, με στόχο την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την ισομερίωση των *trans* διπλών δεσμών σε *cis* και τον ενδεχόμενο ρόλο των προσθέτων ουσιών στη διαδικασία αυτή. Επιπρόσθετα, οι επόμενες μελέτες θα μπορούσαν να εστιάσουν στη βελτίωση των συνθηκών επεξεργασίας, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ανεπιθύμητες χημικές μετατροπές και να ενισχυθεί η σταθερότητα των ελαίων.

Συνοψίζοντας, αποδεικνύεται ότι η ποιότητα των φυτικών ελαίων επηρεάζεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας και η προσθήκη αντιοξειδωτικών παίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της οξειδωτικής τους σταθερότητας. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν είναι πάντα προβλέψιμα και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η σύσταση του ελαίου και η φύση των βιοδραστικών ουσιών. Η έρευνα αυτή παρέχει πολύτιμα δεδομένα για την επιλογή κατάλληλων αντιοξειδωτικών ουσιών για τον εμπλουτισμό φυτικών ελαίων, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας και την αύξηση της διάρκειας ζωής τους.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα αυτά τα ευρήματα, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για ακόμη εκτενέστερη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των μελετούμενων αντιοξειδωτικών στην βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας του πυρηνελαίου και του σησαμελαίου. Παράλληλα, προτείνεται η διεξαγωγή πειραμάτων επιταχυνόμενης φθοράς για την αξιολόγηση της οξειδωτικής σταθερότητας, καθώς και αναλύσεις βασικών ποιοτικών παραμέτρων όπως η μέτρηση του αριθμός των υπεροξειδίων, της π-ανισιδίνης και των φαινολικών ενώσεων. Η χρήση της χρωματογραφίας θα μπορούσε επίσης να προσφέρει επιπλέον πληροφορίες για την παρακολούθηση των μεταβολών στη σύσταση των ελαίων, διευκρινίζοντας περαιτέρω τις χημικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη θερμική επεξεργασία.

Επιπλέον, η μελέτη θα μπορούσε να εστιάσει στη χρήση άλλων ελαίων πέρα από το πυρηνέλαιο και το σησαμέλαιο, αναλύοντας τα διάφορα φαινόμενα που παρουσιάζουν κατά την θερμική τους επεξεργασία. Η διερεύνηση αυτών των παραμέτρων θα συμβάλλει στη βελτίωση της κατανόησης των μηχανισμών οξείδωσης και θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για την ενίσχυση της οξειδωτικής σταθερότητας των φυτικών ελαίων.

Παράρτημα Αποτελεσμάτων 1: Απορροφήσεις ελαίων εμπλουτισμένων και μη στο μέσο υπέρυθρο

Πίνακας 10: Απορροφήσεις στο IR εμπλουτισμένων και μη δειγμάτων σησαμελαίου, κατά το τηγάνισμα.

	S0	S3	S5	S7	S10	S15	S20	S25	S30	S35
586-588							0.007	0.007	0.006	0.006
721-723	0.080	0.082	0.079	0.078	0.077	0.076	0.075	0.074	0.071	0.070
914	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003
966-972	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003			0.001
1095-1099	0.028	0.026	0.025	0.025	0.027	0.024	0.026	0.028	0.029	0.029
1159-1162	0.161	0.160	0.151	0.149	0.144	0.144	0.143	0.140	0.138	0.138
1236-1238	0.034	0.034	0.033	0.033	0.031	0.030	0.030	0.030	0.029	0.029
1350-1380	0.033	0.036	0.040	0.043	0.048	0.048	0.048	0.049	0.050	0.050
1460-1465	0.143	0.144	0.138	0.137	0.136	0.135	0.134	0.133	0.131	0.132
1488-1490		0.003	0.003							0.001
1743	0.641	0.647	0.638	0.642	0.644	0.642	0.648	0.646	0.631	0.630
2854	0.402	0.399	0.383	0.379	0.373	0.369	0.366	0.362	0.358	0.357
2922	0.781	0.773	0.745	0.737	0.724	0.721	0.714	0.708	0.697	0.697
3005-3007	0.064	0.069	0.070	0.067	0.068	0.065	0.064	0.061	0.059	0.057
3523-3528			0.004	0.007	0.006	0.008	0.009	0.008	0.011	0.014
3640-3530			0.015	0.017	0.016	0.019	0.014	0.019	0.015	0.035

Πίνακας 11: Απορροφήσεις στο IR μη εμπλουτισμένων δειγμάτων πυρηνελαίου, κατά το τηγάνισμα.

	P0	P3	P5	P7	P10	P15	P20	P25	P30	P35
586-588		0.007	0.004	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006
721-723	0.063	0.067	0.067	0.066	0.067	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066
966-972	0.003									0.001
1027-1033		0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004
1095-1099	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.016
1116-1118	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
1159-1162	0.133	0.145	0.143	0.142	0.142	0.143	0.144	0.144	0.144	0.146
1236-1238	0.025	0.028	0.028	0.027	0.027	0.028	0.027	0.028	0.029	0.029
1350-1380	0.044	0.031	0.032	0.033	0.033	0.034	0.033	0.033	0.032	0.031
1460-1465	0.134	0.142	0.141	0.140	0.140	0.141	0.141	0.142	0.141	0.142
1488-1490	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002					
1743	0.584	0.573	0.569	0.570	0.571	0.578	0.576	0.576	0.572	0.574
2854	0.392	0.412	0.406	0.403	0.402	0.406	0.405	0.407	0.406	0.410
2922	0.755	0.783	0.776	0.771	0.773	0.779	0.780	0.779	0.777	0.782
3005-3008	0.044	0.044	0.039	0.037	0.041	0.039	0.038	0.038	0.040	0.037
3523-3528	0.015					0.005	0.005	0.005	0.005	0.006
3640-3530	0.024	0.002	0.005	0.003	0.002	0.004	0.018	0.013	0.018	0.014

Πίνακας 12: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, κατά το τηγάνισμα.

	SX0	SX3	SX5	SX7	SX13	SX15	SX20	SX30
586-588		0.004	0.008	0.003	0.007	0.004	0.004	0.004
721-723	0.080	0.083	0.083	0.081	0.080	0.080	0.081	0.075
914	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002
966-972	0.004	0.004	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002	0.003
1095-1099	0.028	0.026	0.029	0.025	0.023	0.024	0.028	0.019
1159-1162	0.161	0.162	0.160	0.160	0.158	0.158	0.159	0.151
1236-1238	0.034	0.035	0.034	0.035	0.034	0.034	0.035	0.032
1350-1380	0.033	0.034	0.034	0.034	0.033	0.034	0.035	0.034
1460-1465	0.143	0.146	0.145	0.145	0.142	0.143	0.144	0.143
1488-1490		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
1743	0.641	0.647	0.641	0.642	0.633	0.636	0.640	0.611
2854	0.402	0.403	0.398	0.396	0.394	0.393	0.396	0.397
2922	0.781	0.779	0.774	0.771	0.763	0.763	0.765	0.769
3005-3007	0.064	0.068	0.068	0.066	0.065	0.065	0.059	0.055
3523-3528					0.006	0.005	0.007	0.006
3640-3530		0.009	0.002	0.010	0.005	0.017	0.008	0.010

Πίνακας 13: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, κατά το τηγάνισμα.

	PX0	PX3	PX5	PX7	PX13	PX15	PX20	PX30
586-588		0.006			0.006		0.006	0.007
721-723	0.063	0.067	0.067	0.065	0.065	0.064	0.065	0.069
869-871			0.004		0.004	0.004		0.004
966-972	0.003							
1027-1033		0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
1095-1099	0.017	0.018	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.020
1116-1118	0.005	0.0053	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.002
1159-1162	0.133	0.144	0.143	0.141	0.139	0.140	0.140	0.145
1236-1238	0.025	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.030
1350-1380	0.044	0.033	0.033	0.034	0.034	0.034	0.035	0.034
1460-1465	0.134	0.142	0.141	0.140	0.138	0.138	0.139	0.138
1488-1490	0.002	0.002						
1743	0.584	0.569	0.571	0.566	0.558	0.562	0.573	0.594
2854	0.392	0.413	0.411	0.404	0.394	0.399	0.398	0.389
2922	0.755	0.785	0.781	0.769	0.757	0.758	0.759	0.751
3005-3008	0.044	0.039	0.042	0.040	0.040	0.040	0.039	0.047
3523-3528			0.004	0.004	0.005	0.007	0.008	0.010
3640-3530	0.024	0.005	0.002	0.007	0.012	0.013	0.014	0.025

Πίνακας 14: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, κατά το τηγάνισμα.

	STr0	STr3	STr5	STr7	STr10	STr15	STr20	STr25	STr30	STr35
586-588		0.009	0.007	0.008	0.008	0.007			0.007	0.007
721-723	0.080	0.085	0.084	0.084	0.086	0.085	0.083	0.082	0.080	0.078
914	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
966-972	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.001		0.002	0.004
1095-1099	0.028	0.026	0.026	0.027	0.026	0.028	0.029	0.030	0.031	0.031
1159-1162	0.161	0.166	0.166	0.163	0.163	0.162	0.160	0.160	0.160	0.159
1236-1238	0.034	0.036	0.036	0.035	0.034	0.035	0.035	0.034	0.035	0.034
1350-1380	0.033	0.019	0.031	0.034	0.038	0.040	0.042	0.043	0.043	0.042
1460-1465	0.143	0.147	0.147	0.146	0.149	0.148	0.149	0.148	0.147	0.147
1488-1490		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003			
1743	0.641	0.646	0.641	0.652	0.666	0.662	0.669	0.671	0.678	0.661
2854	0.402	0.404	0.403	0.400	0.405	0.402	0.401	0.398	0.399	0.393
2922	0.781	0.777	0.777	0.773	0.781	0.777	0.776	0.770	0.768	0.762
3005-3008	0.064	0.063	0.067	0.063	0.068	0.062	0.061	0.058	0.061	0.052
3523-3528		0.004	0.005	0.006		0.006	0.008	0.009	0.009	0.011
3640-3530		0.001	0.007	0.004	0.004	0.007	0.003	0.001	0.002	0.003

Πίνακας 15: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, κατά το τηγάνισμα.

	PX0	PTr3	PTr5	PTr7	PTr10	PTr15	PTr20	PTr25	PTr30	PTr35
586-588		0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.006
721-723	0.063	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.068	0.068	0.068	0.068
869-871			0.003				0.004	0.004		
914		0.001								
966-972	0.003	0.001		0.001				0.002		
1027-1033		0.004	0.005	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
1095-1099	0.017	0.018	0.018	0.017	0.018	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
1116-1118	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004
1159-1162	0.133	0.147	0.146	0.147	0.148	0.149	0.149	0.150	0.150	0.150
1236-1238	0.025	0.028	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
1350-1380	0.044	0.032	0.018	0.031	0.031	0.030	0.017	0.029	0.030	0.029
1460-1465	0.134	0.145	0.144	0.145	0.144	0.144	0.144	0.145	0.145	0.144
1488-1490	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002		
1743	0.584	0.582	0.579	0.581	0.579	0.579	0.576	0.580	0.589	0.585
2854	0.392	0.415	0.411	0.413	0.413	0.413	0.414	0.418	0.418	0.416
2922	0.755	0.786	0.780	0.785	0.786	0.786	0.785	0.788	0.787	0.787
3005-3008	0.044	0.037	0.042	0.041	0.042	0.037	0.040	0.040	0.040	0.039
3523-3528					0.002					
3640-3530	0.024	0.001			0.003	0.005	0.010	0.006	0.007	0.009

Πίνακας 16: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 85 °C.

	SX85 0h	SX85 2h	SX85 6h	SX85 24h	SX85 48h	SX85 60h	SX85 72h
586-588		0.006		0.007	0.007		
721-723	0.080	0.078	0.077	0.077	0.075	0.075	0.075
914	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
966-972	0.004	0.003	0.003			0.001	
1095-1099	0.028	0.024	0.024	0.026	0.025	0.023	0.021
1116-1118							0.141
1159-1162	0.161	0.154	0.150	0.143	0.144	0.143	0.030
1236-1238	0.034	0.033	0.033	0.033	0.031	0.031	0.003
1350-1380	0.033	0.036	0.040	0.041	0.042	0.042	0.044
1460-1465	0.143	0.140	0.139	0.136	0.135	0.134	0.133
1488-1490		0.002	0.002	0.002	0.002		
1743	0.641	0.636	0.635	0.622	0.624	0.629	0.625
2854	0.402	0.392	0.387	0.379	0.374	0.369	0.369
2922	0.781	0.764	0.752	0.741	0.733	0.723	0.724
3005-3007	0.064	0.066	0.066	0.063	0.063	0.063	0.064
3523-3528		0.003	0.005		0.005	0.007	
3640-3530		0.005	0.006	0.007	0.009	0.011	0.011

Πίνακας 17: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 85 °C.

	PX85 0h	PX85 2h	PX85 6h	PX85 24h	PX85 48h	PX85 60h	PX85 72h
586-588		0.007	0.005	0.006	0.006	0.006	0.007
721-723	0.063	0.069	0.069	0.068	0.070	0.069	0.068
966-972	0.003						
1027-1033		0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004
1095-1099	0.017	0.017	0.017	0.018	0.017	0.018	0.017
1116-1118	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
1159-1162	0.133	0.147	0.146	0.146	0.145	0.145	0.144
1236-1238	0.025	0.028	0.028	0.028	0.027	0.028	0.029
1350-1380	0.044	0.033	0.034	0.034	0.036	0.037	0.039
1460-1465	0.134	0.145	0.144	0.144	0.144	0.145	0.145
1488-1490	0.002	0.002	0.002				
1743	0.584	0.576	0.578	0.576	0.580	0.590	0.593
2854	0.392	0.409	0.411	0.409	0.405	0.411	0.411
2922	0.755	0.782	0.779	0.778	0.778	0.786	0.780
3005-3008	0.044	0.035	0.039	0.039	0.039	0.041	0.039
3523-3528	0.015	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005	0.007
3640-3530	0.024	0.002	0.003		0.007	0.007	0.008

Πίνακας 18: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 85 °C.

	STr85 0h	STr85 2h	STr85 6h	STr85 24h	STr85 48h	STr85 60h	STr85 72h
586-588		0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007
721-723	0.080	0.081	0.082	0.081	0.080	0.081	0.081
914	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003
966-972	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
1095-1099	0.028	0.029	0.024	0.028	0.028	0.028	0.029
1159-1162		0.160	0.158	0.156	0.154	0.154	0.154
1236-1238	0.161	0.034	0.033	0.032	0.031	0.034	0.033
1350-1380	0.034	0.032	0.035	0.037	0.038	0.040	0.041
1460-1465	0.033	0.143	0.143	0.143	0.142	0.142	0.142
1488-1490	0.143	0.003		0.003	0.003	0.003	0.002
1743		0.626	0.630	0.632	0.631	0.642	0.646
2854	0.641	0.398	0.400	0.397	0.395	0.397	0.399
2922	0.402	0.773	0.773	0.771	0.765	0.774	0.771
3005-3007	0.781	0.062	0.063	0.062	0.061	0.067	0.062
3523-3528	0.064		0.003		0.002	0.004	0.007
3640-3530	0.003		0.009	0.006	0.004	0.008	0.002

Πίνακας 19: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων πυρηγελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 85 °C.

	PTr85 0h	PTr85 2h	PTr85 6h	PTr85 24h	PTr85 48h	PTr85 60h	PTr85 72h
586-588		0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.006
721-723	0.063	0.069	0.069	0.070	0.070	0.070	0.069
966-972	0.003	0.001	0.001			0.001	0.001
1027-1033		0.004	0.004	0.006	0.005	0.004	0.004
1095-1099	0.017	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
1116-1118	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
1159-1162	0.133	0.147	0.147	0.146	0.147	0.145	0.146
1236-1238	0.025	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027
1350-1380	0.044	0.033	0.034	0.035	0.035	0.036	0.037
1460-1465	0.134	0.144	0.144	0.145	0.144	0.144	0.145
1488-1490	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
1743	0.584	0.580	0.581	0.583	0.587	0.584	0.590
2854	0.392	0.415	0.415	0.416	0.417	0.413	0.417
2922	0.755	0.780	0.781	0.784	0.783	0.778	0.786
3005-3008	0.044	0.037	0.035	0.035	0.039	0.036	0.038
3523-3528	0.015	0.004	0.005	0.005	0.004	0.003	0.006
3640-3530	0.024	0.006	0.004	0.003		0.006	0.003

Πίνακας 20: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με β-καροτένιο, σε φούρνο στους 85 °C.

	SC85 0h	SC85 1h	SC85 3h	SC85 12h	SC85 24h	SC85 36h	SC85 50h	SC85 60h	SC85 72h	SC85 90h
586-588	0.006	0.007	0.006	0.005	0.007		0.007	0.006	0.006	0.007
721-723	0.080	0.081	0.079	0.081	0.082	0.081	0.080	0.079	0.079	0.081
914	0.005	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
966-972	0.003	0.004		0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
1095-1099	0.029	0.024	0.019	0.025	0.025	0.029	0.029	0.023	0.028	0.029
1159-1162	0.141	0.159	0.142	0.156	0.154	0.153	0.151	0.145	0.147	0.145
1236-1238	0.028	0.033	0.029	0.032	0.030	0.031	0.032	0.030	0.031	0.029
1350-1380	0.070	0.035	0.034	0.042	0.044	0.048	0.052	0.052	0.055	0.062
1460-1465	0.144	0.142	0.141	0.144	0.143	0.145	0.145	0.142	0.143	0.144
1488-1490		0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002		
1743	0.726	0.638	0.574	0.659	0.659	0.676	0.690	0.656	0.685	0.706
2854	0.398	0.402	0.397	0.405	0.402	0.404	0.403	0.396	0.397	0.401
2922	0.775	0.776	0.774	0.781	0.779	0.782	0.783	0.768	0.771	0.774
3005-3007	0.073	0.065	0.068	0.066	0.064	0.069	0.067	0.070	0.071	0.073
3523-3528	0.010	0.008		0.002	0.005	0.002	0.007	0.006	0.008	0.009
3640-3530	0.025	0.004	0.009	0.006		0.002	0.009	0.016	0.019	0.015

Πίνακας 21: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων πρηνηλαίου εμπλουτισμένου με β-καροτένιο, σε φούρνο στους 85 °C.

	PC85 0h	PC85 1h	PC85 3h	PC85 12h	PC85 24h	PC85 30h	PC85 36h	PC85 50h	PC85 60h	PC85 72h
586-588	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.007	0.005		0.005	0.005
721-723	0.068	0.067	0.068	0.068	0.069	0.066	0.067	0.067	0.067	0.067
966-972					0.001					
1027-1033	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.005	0.005	0.005
1095-1099	0.017	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
1116-1118	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
1159-1162	0.146	0.144	0.144	0.145	0.146	0.142	0.142	0.143	0.142	0.144
1236-1238	0.027	0.027	0.028	0.027	0.029	0.027	0.028	0.028	0.028	0.028
1350-1380	0.036	0.037	0.037	0.037	0.036	0.040	0.037	0.039	0.037	0.037
1460-1465	0.144	0.143	0.143	0.144	0.144	0.142	0.141	0.143	0.141	0.142
1488-1490	0.002	0.002								
1743	0.583	0.586	0.587	0.582	0.589	0.595	0.578	0.590	0.578	0.581
2854	0.416	0.414	0.414	0.412	0.416	0.411	0.403	0.409	0.405	0.413
2922	0.788	0.787	0.786	0.786	0.791	0.780	0.774	0.784	0.774	0.781
3005-3008	0.037	0.039	0.042	0.043	0.043	0.042	0.040	0.042	0.041	0.041
3523-3528	0.002	0.003	0.007	0.004	0.003	0.008	0.006	0.010	0.009	0.008
3640-3530	0.003		0.008	0.014	0.012	0.018	0.017	0.019	0.020	0.018

Πίνακας 22: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 110 °C.

	SX110 0h	SX110 2h	SX110 6h	SX110 24h	SX110 48h	SX110 60h	SX110 72h
586-588							0.007
721-723	0.080	0.086	0.086	0.084	0.079	0.076	0.084
914	0.004	0.003	0.004				0.004
966-972	0.004	0.002	0.002		0.008	0.018	
1095-1099	0.028	0.029	0.029	0.026	0.033	0.033	0.027
1159-1162	0.161	0.166	0.166	0.164	0.162	0.160	0.161
1236-1238	0.034	0.035	0.035	0.035	0.034	0.033	0.035
1350-1380	0.033	0.034	0.034	0.035	0.036	0.039	0.041
1460-1465	0.143	0.149	0.148	0.147	0.148	0.150	0.148
1488-1490		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
1743	0.641	0.657	0.657	0.651	0.649	0.640	0.673
2854	0.402	0.408	0.402	0.401	0.402	0.398	0.401
2922	0.781	0.779	0.778	0.769	0.768	0.772	0.773
3005-3007	0.064	0.062	0.063	0.064	0.058	0.042	0.067
3523-3528					0.001		
3640-3530		0.001	0.010	0.017	0.006	0.002	0.011

Πίνακας 23: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων πυρηγελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 110 °C.

	PX110 0h	PX110 2h	PX110 4h	PX110 24h	PX110 48h	PX110 60h	PX110 72h
586-588		0.007		0.006		0.007	0.006
721-723	0.063	0.070	0.069	0.070	0.070	0.070	0.070
869-871		0.004		0.005			
966-972	0.003				0.001		
1027-1033		0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005
1095-1099	0.017	0.018	0.017	0.017	0.018	0.017	0.017
1116-1118	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
1159-1162	0.133	0.147	0.145	0.146	0.147	0.146	0.146
1236-1238	0.025	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
1350-1380	0.044	0.033	0.033	0.033	0.034	0.034	0.033
1460-1465	0.134	0.145	0.144	0.145	0.145	0.145	0.145
1488-1490	0.002	0.002	0.002	0.002			0.002
1743	0.584	0.577	0.575	0.577	0.580	0.579	0.576
2854	0.392	0.417	0.412	0.416	0.418	0.412	0.416
2922	0.755	0.782	0.777	0.781	0.783	0.780	0.780
3005-3008	0.044	0.040	0.039	0.037	0.036	0.036	0.036
3523-3528	0.015	0.002	0.003	0.005	0.005	0.005	0.003
3640-3530	0.024	0.005	0.005	0.006	0.006	0.002	0.008

Πίνακας 24: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 110 °C.

	STr110 0h	STr110 2h	STr110 6h	STr110 24h	STr110 48h	STr110 60h	STr110 72h
586-588		0.008	0.007		0.007	0.008	0.008
721-723	0.080	0.085	0.084	0.084	0.082	0.084	0.083
914	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
966-972	0.004	0.003	0.001	0.002	0.002	0.003	0.002
1095-1099	0.028	0.026	0.025	0.023	0.024	0.025	0.024
1159-1162		0.165	0.161	0.161	0.159	0.161	0.159
1236-1238	0.161	0.035	0.034	0.034	0.033	0.035	0.034
1350-1380	0.034	0.033	0.032	0.033	0.034	0.036	0.037
1460-1465	0.033	0.147	0.145	0.146	0.144	0.147	0.147
1488-1490	0.143	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
1743		0.645	0.629	0.632	0.636	0.650	0.651
2854	0.641	0.403	0.401	0.398	0.392	0.403	0.403
2922	0.402	0.781	0.769	0.771	0.760	0.777	0.775
3005-3007	0.781	0.061	0.061	0.066	0.060	0.062	0.066
3523-3528	0.064	0.003	0.003	0.002	0.004	0.004	0.005
3640-3530	0.003	0.005		0.004	0.006	0.005	0.009

Πίνακας 25: Απορροφήσεις στο IR δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 110 °C.

	PTr110 0h	PTr110 2h	PTr110 6h	PTr110 24h	PTr110 48h	PTr110 60h	PTr110 72h
586-588		0.007	0.006	0.005	0.007	0.006	0.005
721-723	0.063	0.071	0.071	0.068	0.067	0.067	0.066
869-871				0.004			0.004
966-972	0.003					0.001	
1027-1033		0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
1095-1099	0.017	0.018	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
1116-1118	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
1159-1162	0.133	0.149	0.148	0.145	0.144	0.144	0.143
1236-1238	0.025	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
1350-1380	0.044	0.034	0.034	0.032	0.033	0.033	0.033
1460-1465	0.134	0.146	0.144	0.142	0.142	0.142	0.141
1488-1490	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
1743	0.584	0.582	0.580	0.575	0.580	0.574	0.572
2854	0.392	0.416	0.412	0.411	0.414	0.411	0.410
2922	0.755	0.777	0.774	0.786	0.781	0.783	0.780
3005-3008	0.044	0.037	0.036	0.042	0.035	0.038	0.039
3523-3528	0.015		0.003		0.002	0.003	
3640-3530	0.024	0.009	0.006	0.001	0.002	0.002	0.010

Παράρτημα Αποτελεσμάτων 2: Μετρήσεις χρώματος

Πίνακας 26: Τιμές CIELab των μη εμπλουτισμένων δειγμάτων σησαμελαίου, κατά το τη-
γάρισμα.

Δείγματα	Χρόνος (min)	L*	C	H	a*	b*
S0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
S3	3	58,41 ± 0,31	9,81 ± 0,33	100,81 ± 0,17	-1,84 ± 0,05	9,64 ± 0,33
S5	5	58,29 ± 0,10	11,74 ± 0,30	99,86 ± 0,11	-2,01 ± 0,09	11,56 ± 0,30
S7	7	57,54 ± 0,10	11,24 ± 0,08	98,08 ± 0,12	-1,58 ± 0,03	11,13 ± 0,08
S10	10	57,25 ± 0,66	10,74 ± 0,31	95,88 ± 0,06	-1,10 ± 0,08	10,69 ± 0,31
S15	15	56,98 ± 0,07	9,46 ± 0,05	96,68 ± 0,02	-1,10 ± 0,04	9,39 ± 0,05
S20	20	61,45 ± 0,60	10,45 ± 0,51	97,81 ± 0,33	-1,42 ± 0,09	10,35 ± 0,52
S25	25	57,34 ± 0,70	10,76 ± 0,45	97,85 ± 0,26	-1,47 ± 0,13	10,66 ± 0,43
S30	30	57,88 ± 0,78	13,01 ± 1,24	97,91 ± 0,85	-1,79 ± 0,28	12,88 ± 1,29
S35	35	56,98 ± 0,46	14,75 ± 0,93	98,45 ± 0,53	-2,09 ± 0,06	14,07 ± 0,78

Πίνακας 27: Τιμές CIELab των μη εμπλουτισμένων δειγμάτων πυρηγελαίου, κατά το τη-
γάρισμα.

Δείγματα	Χρόνος (min)	L*	C	H	a*	b*
P0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
P3	3	52,78 ± 0,24	4,88 ± 0,17	102,81 ± 0,12	-1,08 ± 0,07	4,75 ± 0,16
P5	5	51,21 ± 0,19	5,81 ± 0,06	102,53 ± 0,06	-1,26 ± 0,02	5,67 ± 0,06
P7	7	58,20 ± 0,41	5,96 ± 0,19	103,17 ± 0,09	-1,36 ± 0,07	5,81 ± 0,18
P10	10	62,53 ± 0,50	7,13 ± 0,19	103,39 ± 0,10	-1,65 ± 0,09	6,93 ± 0,17
P15	15	53,85 ± 0,19	6,39 ± 0,05	102,30 ± 0,01	-1,36 ± 0,06	6,24 ± 0,04
P20	20	58,00 ± 0,71	6,36 ± 0,29	102,25 ± 0,17	-1,35 ± 0,13	6,22 ± 0,28
P25	25	51,85 ± 0,19	5,22 ± 0,03	102,28 ± 0,01	-1,11 ± 0,02	5,10 ± 0,03
P30	30	61,59 ± 0,41	6,89 ± 0,29	102,91 ± 0,19	-1,54 ± 0,08	6,72 ± 0,28
P35	35	61,08 ± 0,82	7,28 ± 0,07	102,70 ± 0,02	-1,60 ± 0,07	7,10 ± 0,05

Πίνακας 28: Τιμές CIELab των δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη,
κατά το τηγάρισμα.

Δείγματα	Χρόνος (min)	L*	C	H	a*	b*
SX 0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
SX 3	3	60,18 ± 0,18	11,33 ± 0,31	101,74 ± 0,14	-2,30 ± 0,05	11,09 ± 0,31
SX 5	5	59,32 ± 0,27	12,04 ± 0,18	100,24 ± 0,20	-2,14 ± 0,07	11,85 ± 0,17
SX 7	7	58,80 ± 0,17	12,02 ± 0,08	97,32 ± 0,02	-1,53 ± 0,02	11,93 ± 0,08
SX 13	13	58,05 ± 0,29	11,60 ± 0,51	95,34 ± 0,53	-1,08 ± 0,06	11,55 ± 0,52
SX 15	15	61,64 ± 0,36	9,06 ± 0,35	96,87 ± 0,07	-1,08 ± 0,05	9,00 ± 0,35
SX 20	20	51,14 ± 0,26	12,43 ± 0,55	92,32 ± 0,96	-0,50 ± 0,19	12,42 ± 0,55
SX 30	30	59,98 ± 0,12	14,05 ± 0,28	99,47 ± 0,08	-2,31 ± 0,03	13,86 ± 0,27

Πίνακας 29: Τιμές CIELab των δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, κατά το τηγάνισμα.

Δείγματα	Χρόνος (min)	L*	C	H	a*	b*
PX 0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
PX 3	3	62,91 ± 0,15	10,31 ± 0,29	104,55 ± 0,14	-2,59 ± 0,10	9,98 ± 0,28
PX 5	5	54,51 ± 0,11	13,27 ± 0,16	103,43 ± 0,34	-3,08 ± 0,10	12,90 ± 0,15
PX 7	7	54,08 ± 0,14	10,56 ± 0,13	103,94 ± 0,34	-2,54 ± 0,09	10,26 ± 0,13
PX 13	13	59,88 ± 0,13	10,32 ± 0,04	104,01 ± 0,10	-2,50 ± 0,02	10,01 ± 0,04
PX 15	15	59,12 ± 0,27	12,77 ± 0,24	103,22 ± 0,25	-2,92 ± 0,11	12,43 ± 0,22
PX 20	20	58,29 ± 1,76	10,03 ± 0,15	103,61 ± 0,10	-2,36 ± 0,05	9,75 ± 0,14
PX 30	30	59,07 ± 0,22	11,90 ± 0,15	100,13 ± 0,35	-2,09 ± 0,05	11,72 ± 0,15

Πίνακας 30: Τιμές CIELab των δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, κατά το τηγάνισμα.

Δείγματα	Χρόνος (min)	L*	C	H	a*	b*
STr 0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
STr 3	3	52,96 ± 0,37	6,73 ± 0,10	100,76 ± 0,45	-1,26 ± 0,06	6,61 ± 0,09
STr 5	5	52,73 ± 1,14	6,05 ± 1,35	99,83 ± 2,19	-1,07 ± 0,43	5,95 ± 1,29
STr 7	7	61,56 ± 1,99	9,26 ± 1,14	100,26 ± 1,04	-1,66 ± 0,36	9,11 ± 1,09
STr 10	10	60,77 ± 0,41	10,09 ± 0,29	97,02 ± 0,11	-1,23 ± 0,05	10,01 ± 0,29
STr 15	15	52,04 ± 0,15	7,60 ± 0,13	95,03 ± 0,21	-0,67 ± 0,03	7,57 ± 0,12
STr 20	20	51,31 ± 0,16	8,79 ± 0,07	94,65 ± 0,24	-0,71 ± 0,04	8,77 ± 0,07
STr 25	25	60,78 ± 0,42	13,28 ± 0,47	96,43 ± 0,55	-1,49 ± 0,10	13,20 ± 0,48
STr 30	30	61,16 ± 0,27	15,73 ± 0,25	96,02 ± 0,26	-1,65 ± 0,05	15,64 ± 0,25
STr 35	35	61,39 ± 0,47	15,18 ± 0,31	98,00 ± 0,96	-2,11 ± 0,21	15,03 ± 0,35

Πίνακας 31: Τιμές CIELab των δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, κατά το τηγάνισμα.

Δείγματα	Χρόνος (min)	L*	C	H	a*	b*
PTr 0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
PTr 3	3	61,08 ± 0,65	6,97 ± 0,19	103,50 ± 0,35	-1,63 ± 0,05	6,78 ± 0,19
PTr 5	5	53,73 ± 0,11	5,67 ± 0,07	103,46 ± 0,16	-1,32 ± 0,01	5,52 ± 0,07
PTr 7	7	61,19 ± 0,17	5,87 ± 0,19	102,49 ± 0,25	-1,27 ± 0,06	5,73 ± 0,17
PTr 10	10	52,99 ± 0,19	6,27 ± 0,18	102,77 ± 0,28	-1,38 ± 0,06	6,13 ± 0,21
PTr 15	15	58,46 ± 0,28	7,12 ± 0,20	102,68 ± 0,29	-1,56 ± 0,07	6,95 ± 0,19
PTr 20	20	57,16 ± 0,19	6,74 ± 0,35	102,24 ± 0,47	-1,43 ± 0,13	6,52 ± 0,25
PTr 25	25	52,30 ± 0,39	6,00 ± 0,36	102,61 ± 0,44	-1,31 ± 0,12	5,86 ± 0,35
PTr 30	30	52,00 ± 0,18	6,40 ± 0,06	102,83 ± 0,23	-1,42 ± 0,04	6,24 ± 0,06
PTr 35	35	53,41 ± 0,10	8,11 ± 0,12	103,12 ± 0,33	-1,84 ± 0,07	7,90 ± 0,11

Πίνακας 32: Τιμές CIELab των δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 85 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
SX 85 0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
SX 85 2	2	61,25 ± 0,09	11,83 ± 0,20	102,80 ± 0,15	-2,58 ± 0,04	11,54 ± 0,19
SX 85 6	6	61,12 ± 0,64	13,48 ± 0,21	102,17 ± 0,53	-2,84 ± 0,13	13,18 ± 0,21
SX 85 24	24	60,89 ± 0,23	10,06 ± 0,26	102,09 ± 0,24	-2,10 ± 0,03	9,83 ± 0,26
SX 85 48	48	61,81 ± 0,28	9,68 ± 0,08	101,13 ± 0,30	-1,87 ± 0,04	9,50 ± 0,08
SX 85 60	60	61,08 ± 0,18	9,21 ± 0,17	102,05 ± 0,13	-1,92 ± 0,02	9,01 ± 0,17
SX 85 72	72	61,07 ± 0,19	8,44 ± 0,16	102,27 ± 0,02	-1,80 ± 0,03	8,25 ± 0,16

Πίνακας 33: Τιμές CIELab των δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 85 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
PX 85 0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
PX 85 2	2	63,47 ± 0,17	10,29 ± 0,09	105,37 ± 0,47	-2,73 ± 0,10	9,93 ± 0,07
PX 85 6	6	54,67 ± 0,07	11,24 ± 0,14	105,11 ± 0,13	-2,93 ± 0,03	10,92 ± 0,09
PX 85 24	24	63,87 ± 0,02	14,17 ± 0,12	105,32 ± 0,04	-3,75 ± 0,02	13,67 ± 0,12
PX 85 48	48	64,57 ± 0,19	14,83 ± 0,15	105,16 ± 0,15	-3,88 ± 0,04	14,32 ± 0,15
PX 85 60	60	54,66 ± 0,13	11,07 ± 0,14	105,14 ± 0,33	-2,51 ± 0,33	8,92 ± 1,57
PX 85 72	72	63,86 ± 0,07	11,31 ± 0,11	105,37 ± 0,15	-2,72 ± 0,20	8,77 ± 0,07

Πίνακας 34: Τιμές CIELab των δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 85 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
STr 85 0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
STr 85 2	2	62,94 ± 0,50	7,67 ± 0,17	101,43 ± 0,30	-1,52 ± 0,07	7,51 ± 0,17
STr 85 6	6	54,12 ± 0,05	7,76 ± 0,17	99,83 ± 0,15	-1,33 ± 0,05	7,65 ± 0,17
STr 85 24	24	54,33 ± 0,27	7,48 ± 0,29	100,47 ± 0,19	-1,36 ± 0,08	7,35 ± 0,28
STr 85 48	48	63,34 ± 0,60	9,08 ± 0,26	100,86 ± 0,26	-1,71 ± 0,09	8,92 ± 0,25
STr 85 60	60	54,43 ± 0,29	8,28 ± 0,34	100,11 ± 0,27	-1,45 ± 0,09	8,16 ± 0,32
STr 85 72	72	63,23 ± 0,70	7,86 ± 0,15	100,45 ± 0,37	-1,42 ± 0,08	7,74 ± 0,14

Πίνακας 35: Τιμές CIELab των δειγμάτων πυρηγελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 85 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
PTr 0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
PTr 85 2	2	53,15 ± 0,10	7,73 ± 0,02	103,52 ± 0,16	-1,81 ± 0,03	7,51 ± 0,01
PTr 85 6	6	61,27 ± 0,06	9,39 ± 0,34	103,27 ± 0,28	-2,16 ± 0,04	9,15 ± 0,35
PTr 85 24	24	53,45 ± 0,25	9,34 ± 0,23	103,18 ± 0,10	-2,13 ± 0,07	9,08 ± 0,21
PTr 85 48	48	61,71 ± 0,49	10,26 ± 0,26	103,64 ± 0,13	-2,42 ± 0,05	9,97 ± 0,25
PTr 85 60	60	53,77 ± 0,33	9,76 ± 0,21	103,43 ± 0,13	-2,27 ± 0,03	9,49 ± 0,22
PTr 85 72	72	62,56 ± 0,25	11,71 ± 0,10	103,44 ± 0,03	-2,72 ± 0,02	11,39 ± 0,10

Πίνακας 36: Τιμές CIELab των δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με β-καροτένιο, σε φούρνο στους 85 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
SC 85 0	0	53,58 ± 0,19	30,61 ± 0,36	73,01 ± 0,19	8,94 ± 0,18	29,28 ± 0,33
SC 85 1	1	53,20 ± 0,26	29,33 ± 0,45	76,06 ± 0,11	7,06 ± 0,15	28,46 ± 0,42
SC 85 3	3	57,35 ± 0,22	35,92 ± 0,34	80,61 ± 0,34	5,86 ± 0,24	35,44 ± 0,32
SC 85 12	12	50,37 ± 0,40	24,51 ± 0,76	82,15 ± 0,18	3,35 ± 0,12	24,29 ± 0,75
SC 85 24	24	54,13 ± 0,10	30,77 ± 0,01	82,84 ± 0,29	3,83 ± 0,16	30,52 ± 0,02
SC 85 36	36	58,62 ± 0,08	37,45 ± 0,31	85,35 ± 0,27	3,03 ± 0,15	37,32 ± 0,32
SC 85 50	50	57,25 ± 0,31	35,86 ± 0,48	78,26 ± 0,13	7,30 ± 0,04	35,11 ± 0,49
SC 85 60	60	56,40 ± 0,32	33,88 ± 1,22	84,57 ± 0,24	3,21 ± 0,21	33,73 ± 1,20
SC 85 72	72	58,41 ± 0,31	37,26 ± 0,35	84,07 ± 0,45	3,85 ± 0,26	37,06 ± 0,38
SC 85 90	90	57,75 ± 0,22	36,37 ± 1,04	77,56 ± 0,14	7,83 ± 0,21	35,52 ± 1,02

Πίνακας 37: Τιμές CIELab των δειγμάτων πυρηγελαίου εμπλουτισμένου με β-καροτένιο, σε φούρνο στους 85 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
PC 85 0	0	48,93 ± 0,08	22,82 ± 0,25	74,88 ± 0,33	5,95 ± 0,18	22,03 ± 0,22
PC 85 1	1	49,16 ± 0,15	23,19 ± 0,19	77,94 ± 0,16	4,84 ± 0,09	22,68 ± 0,18
PC 85 3	3	58,28 ± 0,43	37,20 ± 0,82	86,61 ± 0,22	2,20 ± 0,19	37,14 ± 0,80
PC 85 12	12	56,09 ± 0,37	33,50 ± 0,27	81,34 ± 0,97	5,04 ± 0,59	33,12 ± 0,21
PC 85 24	24	47,89 ± 0,26	20,85 ± 0,51	79,42 ± 0,42	3,83 ± 0,10	20,49 ± 0,52
PC 85 30	30	50,38 ± 0,17	24,41 ± 0,33	84,38 ± 0,18	2,39 ± 0,10	24,29 ± 0,32
PC 85 36	36	50,03 ± 0,29	24,34 ± 0,48	82,50 ± 0,31	3,18 ± 0,08	24,14 ± 0,49
PC 85 50	50	55,96 ± 1,40	32,71 ± 3,16	92,45 ± 0,47	-1,39 ± 0,17	32,68 ± 3,17
PC 85 60	60	50,46 ± 0,11	24,81 ± 0,12	83,71 ± 0,32	2,72 ± 0,13	24,66 ± 0,13
PC 85 72	72	51,98 ± 0,14	26,48 ± 0,60	95,32 ± 0,12	-2,45 ± 0,11	26,37 ± 0,59

Πίνακας 38: Τιμές CIELab των μη εμπλουτισμένων δειγμάτων σησαμελαίου, σε φούρνο στους 110 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
S 110 0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
S 110 12	12	58,07 ± 0,05	4,76 ± 0,04	66,31 ± 0,09	4,88 ± 0,02	11,12 ± 0,04
S 110 24	24	55,17 ± 0,02	4,01 ± 0,07	56,51 ± 0,06	4,93 ± 0,01	7,45 ± 0,03
S 110 36	36	54,66 ± 0,03	3,63 ± 0,03	64,86 ± 0,03	4,66 ± 0,06	9,93 ± 0,06
S 110 48	48	53,40 ± 0,07	3,44 ± 0,04	68,90 ± 0,05	3,87 ± 0,02	10,03 ± 0,08
S 110 60	60	52,88 ± 0,09	2,93 ± 0,01	68,83 ± 0,02	3,92 ± 0,04	10,12 ± 0,02
S 110 72	72	51,20 ± 0,02	3,97 ± 0,06	51,84 ± 0,02	5,06 ± 0,03	6,44 ± 0,03

Πίνακας 39: Τιμές CIELab των μη εμπλουτισμένων δειγμάτων πυρηνελαίου, σε φούρνο στους 110 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
P 110 0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
P 110 12	12	44,57 ± 0,04	8,89 ± 0,01	102,81 ± 0,03	7,13 ± 0,01	9,92 ± 0,01
P 110 24	24	44,41 ± 0,02	8,87 ± 0,02	102,53 ± 0,07	6,93 ± 0,02	9,56 ± 0,01
P 110 36	36	42,88 ± 0,02	7,86 ± 0,03	103,17 ± 0,09	5,09 ± 0,02	9,67 ± 0,03
P 110 48	48	42,09 ± 0,02	7,72 ± 0,01	103,39 ± 0,04	5,17 ± 0,03	9,93 ± 0,07
P 110 60	60	41,47 ± 0,04	6,94 ± 0,02	102,30 ± 0,01	4,99 ± 0,01	10,21 ± 0,03
P 110 72	72	41,03 ± 0,02	6,91 ± 0,01	102,25 ± 0,04	4,08 ± 0,04	10,01 ± 0,04

Πίνακας 40: Τιμές CIELab των δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 110 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
SX 0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
SX 110 2	2	60,60 ± 0,35	9,03 ± 0,19	102,32 ± 0,24	-1,93 ± 0,02	8,83 ± 0,19
SX 110 6	6	59,96 ± 0,09	8,00 ± 0,22	101,83 ± 0,19	-1,64 ± 0,06	7,83 ± 0,21
SX 110 24	24	60,91 ± 0,35	7,03 ± 0,03	101,29 ± 0,19	-1,38 ± 0,02	6,89 ± 0,03
SX 110 48	48	61,19 ± 0,29	5,53 ± 0,08	102,37 ± 0,45	-1,19 ± 0,05	5,41 ± 0,07
SX 110 60	60	61,02 ± 0,15	4,35 ± 0,09	102,09 ± 0,25	-0,91 ± 0,03	4,24 ± 0,09
SX 110 72	72	59,91 ± 0,24	8,04 ± 0,04	100,21 ± 0,13	-1,43 ± 0,02	7,91 ± 0,04

Πίνακας 41: Τιμές CIELab των δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με ασταξανθίνη, σε φούρνο στους 110 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
PX 0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
PX 110 2	2	60,65 ± 0,27	15,59 ± 0,17	104,81 ± 0,13	-3,99 ± 0,08	15,07 ± 0,15
PX 110 6	6	59,01 ± 0,54	12,76 ± 0,55	104,74 ± 0,30	-3,25 ± 0,20	12,34 ± 0,52
PX 110 24	24	58,72 ± 1,06	11,24 ± 0,51	104,88 ± 0,09	-2,88 ± 0,13	10,86 ± 0,49
PX 110 48	48	63,59 ± 0,18	14,68 ± 0,57	104,36 ± 0,12	-3,64 ± 0,11	14,22 ± 0,56
PX 110 60	60	54,38 ± 0,13	9,97 ± 0,34	104,39 ± 0,27	-2,48 ± 0,12	9,66 ± 0,32
PX 110 72	72	54,27 ± 0,79	12,68 ± 0,76	103,10 ± 0,10	-2,88 ± 0,16	12,35 ± 0,74

Πίνακας 42: Τιμές CIELab των δειγμάτων σησαμελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 110 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
STr 110 0	0	55,24 ± 0,92	12,44 ± 0,97	100,62 ± 0,33	-2,34 ± 0,22	12,22 ± 0,94
STr 110 2	2	54,62 ± 0,23	9,40 ± 0,34	101,23 ± 0,27	-1,83 ± 0,11	9,22 ± 0,33
STr 110 6	6	53,04 ± 0,21	9,56 ± 0,32	95,59 ± 0,06	-0,93 ± 0,04	9,50 ± 0,32
STr 110 24	24	53,73 ± 0,19	10,35 ± 0,28	96,05 ± 0,01	-1,09 ± 0,03	10,29 ± 0,27
STr 110 48	48	61,64 ± 0,60	13,10 ± 0,33	95,87 ± 0,75	-1,19 ± 0,10	13,05 ± 0,33
STr 110 60	60	62,68 ± 0,29	9,32 ± 0,28	98,86 ± 0,25	-1,44 ± 0,03	9,20 ± 0,28
STr 110 72	72	51,21 ± 0,12	12,47 ± 0,60	89,85 ± 0,28	0,04 ± 0,06	12,47 ± 0,60

Πίνακας 43: Τιμές CIELab των δειγμάτων πυρηνελαίου εμπλουτισμένου με τρούφα, σε φούρνο στους 110 °C.

Δείγματα	Χρόνος (h)	L*	C	H	a*	b*
PTr 0	0	55,58 ± 0,09	10,19 ± 0,37	104,40 ± 0,11	-2,54 ± 0,10	9,87 ± 0,36
PTr 110 2	2	62,76 ± 0,34	8,12 ± 0,21	103,98 ± 0,39	-1,96 ± 0,10	7,88 ± 0,19
PTr 110 6	6	53,64 ± 0,17	13,06 ± 0,25	99,96 ± 0,11	-2,26 ± 0,02	12,86 ± 0,25
PTr 110 24	24	53,74 ± 0,07	10,99 ± 0,17	101,12 ± 0,13	-2,12 ± 0,06	10,78 ± 0,17
PTr 110 48	48	62,37 ± 0,46	11,37 ± 0,58	101,83 ± 0,22	-2,33 ± 0,16	11,13 ± 0,55
PTr 110 60	60	53,49 ± 0,09	8,87 ± 0,18	101,95 ± 0,16	-1,84 ± 0,06	8,68 ± 0,18
PTr 110 72	72	62,05 ± 0,20	10,48 ± 0,23	102,59 ± 0,12	-2,26 ± 0,03	10,23 ± 0,22

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Abdo, E. M., Shaltout, O. E., & Mansour, H. M. M. (2023). Natural antioxidants from agro-wastes enhanced the oxidative stability of soybean oil during deep-frying. *LWT*, *173*, 114321. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114321>

Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Bound phenolics in foods, a review. *Food Chemistry*, *152*, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>

Aladedunye, F. A., & Przybylski, R. (2009). Degradation and Nutritional Quality Changes of Oil During Frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *86*(2), 149–156. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1328-5>

Albini, A., Albini, F., Corradino, P., Dugo, L., Calabrone, L., & Noonan, D. M. (2023). From antiquity to contemporary times: How olive oil by-products and waste water can contribute to health. *Frontiers in Nutrition*, *10*, 1254947. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1254947>

Alexa, E., Dragomirescu, A., & Pop, G. (2009). *The use of FT-IR spectroscopy in the identification of vegetable oils adulteration*.

AL-Tarifi, B. Y., Mahmood, A., Assaw, S., & I. Sheikh, H. (2020). Application of Astaxanthin and its Lipid Stability in Bakery Product. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *8*(3), 962–974. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.3.24>

Arslan, F. N. (2018). ATR–FTIR Spectroscopy Combined with Chemometrics for Rapid Classification of Extra Virgin Olive Oils and Edible Oils from Different Cultivars Available on The Turkish Markets. *Anadolu University Journal of Science and Technology-A Applied Sciences and Engineering*, 1–1. <https://doi.org/10.18038/aubtda.425374>

Bijla, L., Hmitti, A., Fadda, A., Oubannin, S., Gagour, J., Aissa, R., Laknifli, A., Sakar, E. H., & Gharby, S. (2024). Valorization of spent coffee ground as a natural antioxidant and its use for sunflower oil shelf-life extension. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *126*(2), 2300115. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202300115>

- Campbell, K. A., & Glatz, C. E. (2009). Mechanisms of Aqueous Extraction of Soybean Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22), 10904–10912. <https://doi.org/10.1021/jf902298a>
- Chen, C., Ai, Q., & Wei, Y. (2021). Potential role of hydroxytyrosol in neuroprotection. *Journal of Functional Foods*, 82, 104506. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104506>
- Chew, S. C., & Nyam, K. L. (2020). Refining of edible oils. In *Lipids and Edible Oils* (pp. 213–241). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817105-9.00006-9>
- Clemente, T. E., & Cahoon, E. B. (2009). Soybean Oil: Genetic Approaches for Modification of Functionality and Total Content. *Plant Physiology*, 151(3), 1030–1040. <https://doi.org/10.1104/pp.109.146282>
- Daskalaki, D., Kefi, G., Kotsiou, K., & Tasioula-Margari, M. (2009). Evaluation of phenolic compounds degradation in virgin olive oil during storage and heating. *J. Food Nutr. Res.*
- De Souza, T. R. P., Olenka, L., & Peternella, W. S. (2020). A Study of Degradation in Vegetable Oils by Exposure to Sunlight Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Materials Sciences and Applications*, 11(10), 678–691. <https://doi.org/10.4236/msa.2020.1110046>
- Di Giovacchino, L., Sestili, S., & Di Vincenzo, D. (2002). Influence of olive processing on virgin olive oil quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9–10), 587–601. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200210\)104:9/10<587::AID-EJLT587>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200210)104:9/10<587::AID-EJLT587>3.0.CO;2-M)
- Dodoo, D., Adjei, F., Tulashie, S. K., Adukpoh, K. E., Agbolebe, R. K., Gawou, K., & Manu, G. P. (2022). Quality evaluation of different repeatedly heated vegetable oils for deep-frying of yam fries. *Measurement: Food*, 7, 100035. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100035>
- Ebrahimi, Y., AL-Baghdady, H. F. A., Hameed, N. M., Heri, A., Ali, M. S., Hammoodi, H. A., Kzar, H. H., Khodaei, S. M., Alikord, M., & Pirhadi, M. (2022). *Common fatty acids and polyphenols in olive oil and its benefits to heart and human health*. <https://doi.org/10.22124/CJES.2022.5976>

Eke-Ejiofor, J., Beleya, E. A., & Allen, J. E. (2021). *Effect of variety on the quality parameters of crude soybean oil*. 9, 69–75.

El Yamani, M., Sakar, E. H., Boussakouran, A., Benali, T., & Rharrabti, Y. (2020). *Antibacterial and antioxidant potentials of phenolic extracts from olive mill wastewater and their use to enhance the stability of olive oil*. 27(44).

El Yamani, M., Sakar, E. H., Boussakouran, A., & Rharrabti, Y. (2020). Activity of two natural additives in improving the stability of virgin olive oil quality during storage. *OCL*, 27, 44. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020039>

Elkhaleefa, A., & Shigidi, I. (2015). Optimization of Sesame Oil Extraction Process Conditions. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 05(03), 305–310. <https://doi.org/10.4236/aces.2015.53031>

Fadda, A., Sanna, D., Sakar, E. H., Gharby, S., Mulas, M., Medda, S., Yesilcubuk, N. S., Karaca, A. C., Gozukirmizi, C. K., Lucarini, M., Lombardi-Boccia, G., Diaconeasa, Z., & Durazzo, A. (2022). Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils. *Sustainability*, 14(2), 849. <https://doi.org/10.3390/su14020849>

Fernandes, J. C. B., & Draghi, P. F. (2016). Thermal Stability of Soybean Oil: When must we discard it? *MOJ Food Processing & Technology*, 2(5). <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00051>

Gambacorta, G., Faccia, M., Pati, S., Lamacchia, C., Baiano, A., & La Notte, E. (2007). Changes In the Chemical and Sensorial Profile of Extra Virgin Olive Oils Flavored with Herbs and Spices During Storage. *Journal of Food Lipids*, 14(2), 202–215. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2007.00080.x>

Ganesan, K., Sukalingam, K., & Xu, B. (2018). Impact of consumption and cooking manners of vegetable oils on cardiovascular diseases- A critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 132–154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.003>

Gharby, S. (2022). Refining Vegetable Oils: Chemical and Physical Refining. *The Scientific World Journal*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/6627013>

Gobana, G. M., & Geleta, T. E. (2022). *Characterization and Optimization of Soybean Oil from Soybean Seed (Keta and Billo 19) Variety*. 68.

Gomna, A., N'Tsoukpoe, K. E., Le Pierrès, N., & Coulibaly, Y. (2019). Review of vegetable oils behaviour at high temperature for solar plants: Stability, properties and current applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 200, 109956. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.109956>

He, C., Qin, L., Yang, J., & Zhu, Y. (2023). Revealing the heat-induced cis-trans isomerization of unsaturated fatty acids in camellia oil. *LWT*, 173, 114293. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114293>

Hwang, H.-S., Ball, J. C., Doll, K. M., Anderson, J. E., & Vermillion, K. (2020). Investigation of polymers and alcohols produced in oxidized soybean oil at frying temperatures. *Food Chemistry*, 317, 126379. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126379>

Hwang, L. S. (2005). Sesame Oil. In *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Industrial and Nonedible Products from Oils and Fats: Vol. 6 (2)* (5th ed., pp. 537–576). John Wiley & Sons, Inc.

Jimenez-Lopez, C., Carpena, M., Lourenço-Lopes, C., Gallardo-Gomez, M., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2020). Bioactive Compounds and Quality of Extra Virgin Olive Oil. *Foods*, 9(8), 1014. <https://doi.org/10.3390/foods9081014>

Kagan-Zur, V., Roth-Bejerano, N., Sitrit, Y., & Morte, A. (2014). *Desert truffles: Phylogeny, physiology, distribution and domestication*. Springer.

Kapellakis, I. E., Tsarakis, K. P., & Crowther, J. C. (2008). Olive oil history, production and by-product management. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11157-007-9120-9>

Kasimoglu, Z., Tontul, I., Soyulu, A., Gulen, K., & Topuz, A. (2018). The oxidative stability of flavoured virgin olive oil: The effect of the water activity of rosemary. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 2080–2086. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9822-4>

Kehili, M., Choura, S., Zammel, A., Allouche, N., & Sayadi, S. (2018). Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. *Food Chemistry*, 246, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.034>

- Kim, N. H., Jung, S. Y., Park, Y. A., Lee, Y. J., Jo, J. Y., Lee, S. M., & Oh, Y. H. (2020). *Fatty acid composition and characterisation of commercial vegetable oils with chemometric approaches*. 27(2), 270–279.
- Kouli, G.-M., Panagiotakos, D. B., Kyrou, I., Magriplis, E., Georgousopoulou, E. N., Chrysohoou, C., Tsigos, C., Tousoulis, D., & Pitsavos, C. (2019). Olive oil consumption and 10-year (2002–2012) cardiovascular disease incidence: The ATTICA study. *European Journal of Nutrition*, 58(1), 131–138. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1577-x>
- Kozłowska, M., & Gruczyńska, E. (2018). Comparison of the oxidative stability of soybean and sunflower oils enriched with herbal plant extracts. *Chemical Papers*, 72(10), 2607–2615. <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0516-5>
- Lalas, S. (2008). Quality of Frying Oil. In *Quality of Frying Oil. In: "Advances in Deep-fat Frying of Foods"* (pp. 57–75). CRC Press.
- Lerma-García, M. J., Ramis-Ramos, G., Herrero-Martínez, J. M., & Simó-Alfonso, E. F. (2010). Authentication of extra virgin olive oils by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 118(1), 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.092>
- Li, M., Luo, J., Nawaz, M. A., Stockmann, R., Buckow, R., Barrow, C., Dunshea, F., & Rasul Suleria, H. A. (2024). Phytochemistry, Bioaccessibility, and Bioactivities of Sesame Seeds: An Overview. *Food Reviews International*, 40(1), 309–335. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2168280>
- Liu, R., Lu, M., Zhang, T., Zhang, Z., Jin, Q., Chang, M., & Wang, X. (2020). Evaluation of the Antioxidant Properties of Micronutrients in Different Vegetable Oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(2), 1900079. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900079>
- Liu, W., & Lu, G. H. (2018). Cis-trans isomerization of unsaturated fatty acids in edible oils to prepare trans fat. *Grasas y Aceites*, 69(3), 268. <https://doi.org/10.3989/gya.0225181>
- Liu, Y., Hou, Z., Yang, J., & Gao, Y. (2014). Effects of antioxidants on the stability of β -Carotene in O/W emulsions stabilized by Gum Arabic. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1380-0>

- Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L., & Del Bino, S. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, *140*(1), 3-12.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>
- Manzoor, S., Masoodi, F. A., Rashid, R., & Dar, M. M. (2022). Improving oxidative stability of soyabean oil by apple pomace extract during deep frying of french fries. *Food Bioscience*, *49*, 101874. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101874>
- Mateos, R., Sarria, B., & Bravo, L. (2020). Nutritional and other health properties of olive pomace oil. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(20), 3506–3521. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698005>
- Moczkowska, M., Karp, S., Horbanczuk, O. K., Hanula, M., Wyrwicz, J., & Kurek, M. A. (2020). Effect Of Rosemary Extract Addition on Oxidative Stability and Quality of Hemp Seed Oil. *Food and Bioproducts Processing*, *124*, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.08.002>
- Molina-Garcia, L., Santos, C. S. P., Cunha, S. C., Casal, S., & Fernandes, J. O. (2017). *Comparative Fingerprint Changes of Toxic Volatiles in Low PUFA Vegetable Oils Under Deep-Frying*. *94*, 169–338. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2943-1>
- Morales, M. T., & Przybylski, R. (2013). Olive Oil Oxidation. In R. Aparicio & J. Harwood (Eds.), *Handbook of Olive Oil* (pp. 479–522). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7777-8_13
- Mukhametov, A., Mamayeva, L., Kazhymurat, A., Akhlan, T., & Yerbulekova, M. (2023). Study of vegetable oils and their blends using infrared reflectance spectroscopy and refractometry. *Food Chemistry: X*, *17*, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100386>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, *4*(1), 97. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Nascimento, T. A. D., Lopes, T. I. B., Nazario, C. E. D., Oliveira, S. L., & Alcantara, G. B. (2021). Vegetable oils: Are they true? A point of view from ATR-FTIR, ¹H NMR,

and regiospecific analysis by ¹³C NMR. *Food Research International*, *144*, 110362. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110362>

Oboulbiga, E. B., Douamba, Z., Compaoré-Séréme, D., Semporé, J. N., Dabo, R., Semde, Z., Tapsoba, F. W.-B., Hama-Ba, F., Songré-Ouattara, L. T., Parkouda, C., & Dicko, M. H. (2023). Physicochemical, potential nutritional, antioxidant and health properties of sesame seed oil: A review. *Frontiers in Nutrition*, *10*, 1127926. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1127926>

O'Brien, R. D. (2008). Soybean Oil Purification. In *Soybeans* (pp. 377–408). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50015-9>

Ordoudi, S. A., Strani, L., & Cocchi, M. (2023). Toward the Non-Targeted Detection of Adulterated Virgin Olive Oil with Edible Oils via FTIR Spectroscopy & Chemometrics: Research Methodology Trends, Gaps and Future Perspectives. *Molecules*, *28*(1), 337. <https://doi.org/10.3390/molecules28010337>

Oubannin, S., Asbbane, A., Bijla, L., Ait Bouzid, H., Gagour, J., Hallouch, O., Sakar, E. H., & Gharby, S. (2023). Co-processed [*Argania spinosa* L. (Skeels)] oil with thyme (*Thymus vulgaris* L.) leaves—New product optimization. *Food Chemistry Advances*, *3*, 100474. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100474>

Oubannin, S., Asbbane, A., Elhaidag, F., Bijla, L., Gagour, J., Ait Bouzid, H., El Harkaoui, S., Sakar, E. H., Matthäus, B., & Gharby, S. (2023). Enrichment of Argan [*Argania spinosa* (L.) Skeels] Oil with Saffron (*Crocus sativus* L.) Stigma Powder and Induced Changes in Oil Quality Attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, *2023*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2023/8895851>

Oubannin, S., Bijla, L., Ahmed, M. N., Ibourki, M., El Kharrassi, Y., Devkota, K., Bouyahya, A., Maggi, F., Caprioli, G., Sakar, E. H., & Gharby, S. (2024). Recent advances in the extraction of bioactive compounds from plant matrices and their use as potential antioxidants for vegetable oils enrichment. *Journal of Food Composition and Analysis*, *128*, 105995. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.105995>

Papaioannou, C. D., Sinanoglou, V. J., Strati, I. F., Proestos, C., Kyrana, V. R., & Lougovois, V. P. (2016). Impact of different preservation treatments on lipids of the smooth clam *Callista chione*. *International Journal of Food Science and Technology*.

- Peres, F., Roldão, M., Mourato, M., Martins, L. L., & Ferreira-Dias, S. (2021). Co-Processed Olive Oils with *Thymus mastichina* L.—New Product Optimization. *Life*, *11*(10), 1048. <https://doi.org/10.3390/life11101048>
- Petrakis, C. (2006). *Olive Oil Extraction*. 191–223. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-88-2.50013-4>
- Poiana, M.-A., Alexa, E., Munteanu, M.-F., Gligor, R., Moigradean, D., & Mateescu, C. (2015). Use of ATR-FTIR spectroscopy to detect the changes in extra virgin olive oil by adulteration with soybean oil and high temperature heat treatment. *Open Chemistry*, *13*(1), 000010151520150110. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0110>
- Popescu, A., Stoian, E., & Șerban, V. (2019). *Oil Seeds Crops Cultivated Area and Production in the EU-28—Trends and Correlations, 2008-2018*. *19*(4).
- Qin, Z., He, M.-K., Gao, X., Yuan, J.-Y., Liu, H.-M., Mei, H.-X., & Wang, X.-D. (2023). Degradation of the lignin in roasted sesame seed hull improves the oxidation stability of sesame oil. *LWT*, *188*, 115479. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115479>
- Rohman, A., & Man, Y. B. C. (2010). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for analysis of extra virgin olive oil adulterated with palm oil. *Food Research International*, *43*(3), 886–892. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.006>
- Ruiz-Méndez, M. V., Aguirre-González, M. R., & Marmesat, S. (2013). Olive Oil Refining Process. In R. Aparicio & J. Harwood (Eds.), *Handbook of Olive Oil* (pp. 715–738). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7777-8_19
- Salazar, D. M., Lopez-Cortes, I., & Salazar-Garcia, D. C. (2017). *Olive Oil: Composition and Health Benefits*. *1*, 41.
- Sánchez De Medina, V., Priego-Capote, F., Jiménez-Ot, C., & Luque De Castro, M. D. (2011). Quality and Stability of Edible Oils Enriched with Hydrophilic Antioxidants from the Olive Tree: The Role of Enrichment Extracts and Lipid Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(21), 11432–11441. <https://doi.org/10.1021/jf2020528>
- Saoudi, S., Chammem, N., Sifaoui, I., Bouassida-Beji, M., Jiménez, I. A., Bazzocchi, I. L., Silva, S. D., Hamdi, M., & Bronze, M. R. (2016). Influence of Tunisian aromatic

plants on the prevention of oxidation in soybean oil under heating and frying conditions. *Food Chemistry*, 212, 503–511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.186>

Srivastava, Y., & Semwal, A. D. (2015). A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of virgin coconut oil (VCO) during continuous/prolonged deep fat frying process using chemical and FTIR spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 984–991. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1078-8>

Subroto, E. (2020). Characteristics, Purification, and the Recent Applications of Soybean Oil in Fat-Based Food Products: A Review. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3003–3011. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/20872020>

Taoudiat, A., Djenane, D., Ferhat, Z., & Spigno, G. (2018). The effect of *Laurus nobilis* L. essential oil and different packaging systems on the photo-oxidative stability of Chemlal extra-virgin olive oil. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 4212–4222. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3357-x>

Tena, N., Aparicio-Ruiz, R., & García-González, D. L. (2013). Time Course Analysis of Fractionated Thermoxidized Virgin Olive Oil by FTIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(13), 3212–3218. <https://doi.org/10.1021/jf305422d>

Tsuzuki, W. (2010). Cis–trans isomerization of carbon double bonds in monounsaturated triacylglycerols via generation of free radicals. *Chemistry and Physics of Lipids*, 163(7), 741–745. <https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2010.06.006>

Uzun, H., Kaynak, E. G., Ibanoglu, E., & Ibanoglu, S. (2018). Chemical and structural variations in hazelnut and soybean oils after ozone treatments. *Grasas y Aceites*, 69(2), 253. <https://doi.org/10.3989/gya.1098171>

Valta, K., Aggeli, E., Papadaskalopoulou, C., Panaretou, V., Sotiropoulos, A., Malamis, D., Moustakas, K., & Haralambous, K.-J. (2015). Adding Value to Olive Oil Production Through Waste and Wastewater Treatment and Valorisation: The Case of Greece. *Waste and Biomass Valorization*, 6(5), 913–925. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9373-4>

Vidal, A. M., Moya, M., Alcalá, S., Romero, I., & Espinola, F. (2022). Enrichment of Refined Olive Oils with Phenolic Extracts of Olive Leaf and Exhausted Olive Pomace. *Antioxidants*, 11(2), 204. <https://doi.org/10.3390/antiox11020204>

Vlachos, N., Skopelitis, Y., Psaroudaki, M., Konstantinidou, V., Chatzilazarou, A., & Tegou, E. (2006). Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils. *Analytica Chimica Acta*, 573–574, 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.05.034>

Vladimír, M., Matwijekzuk, A. P., Niemczynowicz, A., Kycia, R. A., Karcz, D., Gładyszewska, B., Ślusarczyk, L., & Burg, P. (2021). Chemometric approach to characterization of the selected grape seed oils based on their fatty acids composition and FTIR spectroscopy. *Scientific Reports*, 11(1), 19256. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98763-6>

Wan, Y., Li, H., Fu, G., Chen, X., Chen, F., & Xie, M. (2015). The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2571–2578. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7035>

Wang, T. (2002). Soybean Oil. *Food Research International*, 36(7), 754–755. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00033-4)

Wen, C., Shen, M., Liu, G., Liu, X., Liang, L., Li, Y., Zhang, J., & Xu, X. (2023). Edible vegetable oils from oil crops: Preparation, refining, authenticity identification and application. *Process Biochemistry*, 124, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.11.017>

Wu, S., Wang, L., Shu, F., Cao, W., Chen, F., & Wang, X. (2013). Effect of refining on the lignan content and oxidative stability of oil pressed from roasted sesame seed. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(6), 1187–1192. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12074>

Yang, Y., Song, X., Sui, X., Qi, B., Wang, Z., Li, Y., & Jiang, L. (2016). Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 80, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.044>

Yao, Q., Ma, J., Chen, X., Zhao, G., & Zang, J. (2023). A natural strategy for astaxanthin stabilization and color regulation: Interaction with proteins. *Food Chemistry*, 402, 134343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134343>

- Yubero-Serrano, E. M., Lopez-Moreno, J., Gomez-Delgado, F., & Lopez-Miranda, J. (2019). Extra virgin olive oil: More than a healthy fat. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(S1), 8–17. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0304-x>
- Zaaboul, F., Zhao, Q., Xu, Y., & Liu, Y. (2022). Soybean oil bodies: A review on composition, properties, food applications, and future research aspects. *Food Hydrocolloids*, 124, 107296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107296>
- Zahran, H., & Najafi, Z. (2020). Enhanced Stability of Refined Soybean Oil Enriched with Phenolic Compounds of Olive Leaves. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63(1), 215–224. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2019.16592.2010>
- Zanon Costa, C., Falabella Sousa-Aguiar, E., Peixoto Gimenes Couto, M. A., & Souza De Carvalho Filho, J. F. (2020). Hydrothermal Treatment of Vegetable Oils and Fats Aiming at Yielding Hydrocarbons: A Review. *Catalysts*, 10(8), 843. <https://doi.org/10.3390/catal10080843>
- Zeb, A. (2021). A comprehensive review on different classes of polyphenolic compounds present in edible oils. *Food Research International*, 143, 110312. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110312>
- Zeb, A., & Murkovic, M. (2013). Pro-Oxidant Effects of β -Carotene During Thermal Oxidation of Edible Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(6), 881–889. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2221-4>
- Zhang, X., Li, C., Zhou, Z., Liu, B., Zhang, Y., Yang, M., Gao, T., Liu, M., Zhang, N., Said, Z., Sharma, S., & Ali, H. M. (2023). Vegetable Oil-Based Nanolubricants in Machining: From Physicochemical Properties to Application. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 36(1), 76. <https://doi.org/10.1186/s10033-023-00895-5>
- Zhang, Y., Wang, M., Zhang, X., Qu, Z., Gao, Y., Li, Q., & Yu, X. (2023). Mechanism, indexes, methods, challenges, and perspectives of edible oil oxidation analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(21), 4901–4915. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2009437>
- Zhou, Y., Zhao, W., Lai, Y., Zhang, B., & Zhang, D. (2020). Edible Plant Oil: Global Status, Health Issues, and Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1315. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01315>

Ελληνόγλωσση

Ανώτατο Χημικό Συμβούλιο. (1997, Ιανουάριος). *Κώδικας Τροφίμων και Ποτών, VIII. Εδώδιμα λίπη και έλαια, Άρθρο 73: Σπορέλαια. Έκδοση 1. [ΦΕΚ 54/B/ 31-1-1997].*
<https://www.aade.gr/himeio/viii-edodima-lipi-kai-elaia>

Συμβούλιο Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2007, Νοέμβρης 16). *ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΚ) αριθ. 1234/2007 του Συμβουλίου της 22ας Οκτωβρίου 2007 για τη θέσπιση κοινής οργάνωσης των γεωργικών αγορών και ειδικών διατάξεων για ορισμένα γεωργικά προϊόντα («Ενιαίος κανονισμός ΚΟΑ»).* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R1234>