



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙV: ΣΥΝΘΕΣΗΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΡΟΦΙΜΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΛΜΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ
ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ
ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ**

ΚΟΥΡΜΠΕΤΗ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΤΑΟΥΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ, 2017

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΛΜΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ**

ΚΟΥΡΜΠΕΤΗ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΤΑΟΥΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ, 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η επίβλεψη του θέματος έγινε από τον καθηγητή κ. Π. Ταούκη.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Π. Ταούκη για την ανάθεση του θέματος καθώς και για την υποστήριξη και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Υποψήφιους Διδάκτορες Β. Ανδρέου και Γ. Δημόπουλο για την υποστήριξη τους και τον χρόνο που αφιέρωσαν στην διάρκεια της συνεργασίας μας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστώ τους Καθηγητές και όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για τη βοήθεια που μου πρόσφεραν όποτε την χρειάστηκα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο αποτελεί ένα από τα πλέον εκτιμώμενα φυτικά ελαία παγκοσμίως για τα διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της βιομηχανίας στην παραγωγή του ελαιόλαδου είναι η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας παραλαβής του. Μόνο το 80% περίπου του ελαίου που περιλαμβάνει ο καρπός είναι εύκολο να παραληφθεί. Η ελαιοβιομηχανία για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό, αυξάνει το χρόνο ή/και την θερμοκρασία της μάλαξης. Όμως, η αύξηση τόσο της θερμοκρασίας όσο και της διάρκειας της μάλαξης επηρεάζει αρνητικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου που προκύπτει. Πληθώρα ερευνών έχουν γίνει παγκοσμίως για την εύρεση νέων τεχνολογιών που θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις για αυξημένη απόδοση σε ελαιόλαδο με παράλληλη διατήρηση της ποιότητας του. Η τεχνολογία των Παλμικών ή Παλλόμενων Ηλεκτρικών Πεδίων (Pulsed Electric Field, PEF) και η τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης (High Pressure) αποτελούν δυο από τις πιο υποσχόμενες μη θερμικές τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων, οι οποίες προκαλούν διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών του ελαιόκαρπου και οδηγούν σε πιθανή αύξηση της απόδοσης της εκχυλισιμότητας του ελαίου.

Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή των μη θερμικών τεχνολογιών, των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ) και της Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ) σε ελαιόπαστα για αύξηση της απόδοσης παραγωγής παρθένου ελαιόλαδου με παράλληλη διατήρηση των ποιοτικών του χαρακτηριστικών (ελεύθερη οξύτητα, αριθμός υπεροξειδίων, ολικές φαινολικές ενώσεις, απορρόφηση στο υπεριώδες, χλωροφύλλες, καροτένια και ελεύθερα λιπαρά οξέα) και αύξηση του χρόνου ζωής του.

Χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές ποικιλίες ελιάς, η Κορωνέικη και η Τσουνάτη. Αρχικά, στην πρώτη ενότητα πειραμάτων μελετήθηκε η επίδραση των συνθηκών μάλαξης (θερμοκρασία: 15,30,40 °C και χρόνος: 0-60 min) στην απόδοση του ελαιόλαδου και στους ποιοτικούς του δείκτες και επιλέχθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες με κριτήριο την μέγιστη απόδοση και την διατήρηση της ποιότητας του ελαίου. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι με αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης, αυξάνεται η απόδοση του ελαιόλαδου και στις δυο ποικιλίες. Μάλιστα, επιβεβαιώθηκε το πόσο σημαντικό είναι το στάδιο της μάλαξης στην εξαγωγή ελαιόλαδου. Από τους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου επηρεάστηκε σημαντικά η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων και των χλωροφυλλών, η οποία αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης. Ως βέλτιστες συνθήκες μάλαξης στην ανεπεξέργαστη ελαιόπαστα επιλέχθηκαν οι 30 °C και 30 min.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε πείραμα για την αξιολόγηση της επίδρασης των προεπεξεργασιών με ΠΗΠ (0,5-1,6 kV/cm, 250 και 2250 παλμοί, 300 Hz, 15μs στους 20°C) και ΥΠ (50-600 MPa, 1 και 5 min στους 20 °C) στην απόδοση του ελαιόλαδου και στους ποιοτικούς δείκτες του. Στα αποτελέσματα της προεπεξεργασίας με ΠΗΠ που προέκυψαν έγινε φανερό ότι σε μικρές εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου (0,5-0,7kV/cm) η απόδοση του ελαιόλαδου δεν μεταβάλλεται σημαντικά σε καμία ποικιλία, ενώ στις μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου η απόδοση αυξάνεται σημαντικά. Η βέλτιστη

συνθήκη για τα ΠΗΠ ήταν 0,9 kV/cm ένταση ηλεκτρικού πεδίου, 250 παλμούς, στα 300 Hz με πλάτος παλμού 15μs, στους 20 °C. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας με ΥΠ έδειξαν ότι η αύξηση της πίεσης και του χρόνου επεξεργασίας δεν επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση του ελαιόλαδου, έτσι επιλέχθηκε μια ήπια συνθήκη. Η βέλτιστη συνθήκη της ΥΠ ήταν για 200 MPa και 1 min στους 20 °C. Οι ποιοτικοί δείκτες που επηρεάστηκαν από την προεπεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ και ΥΠ ήταν οι συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καρωτένιων που αυξήθηκαν ανάλογα της έντασης των συνθηκών. Αυτό ισοδυναμεί με πιθανή αύξηση της οξειδωτικής σταθερότητας του ελαίου που έχει προεπεξεργαστεί με μία από τις δυο τεχνολογίες κατά την αποθήκευση.

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας (15,30,40 °C) και του χρόνου (0-60 min) μάλαξης στην απόδοση και στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου της προεπεξεργασμένης με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόπαστας. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των προεπεξεργασμένων δειγμάτων με το ανεπεξέργαστο ελαιόλαδο εξάγεται το συμπέρασμα ότι η προεπεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ της ελαιόπαστας οδηγεί σε υψηλότερες αποδόσεις σε ελαιόλαδο σε όλες τις συνθήκες μάλαξης. Στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης και επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ, τα καλύτερα αποτελέσματα έδειξε η προεπεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ για την αύξηση της απόδοσης καθώς και για την αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών φαινολών στην Κορωνέικη ποικιλία και την Τσουνάτη. Επίσης, η Τσουνάτη ποικιλία είχε μεγαλύτερες αποδόσεις από την Κορωνέικη ανεξάρτητα από την μέθοδο επεξεργασίας ή μη. Το γεγονός αυτό εξηγείται από το μεγαλύτερο μέγεθος του καρπού της Τσουνάτης ποικιλίας και την προχωρημένη ωρίμανση του.

Συμπερασματικά, οι προεπεξεργασμένες με ΠΗΠ ή ΥΠ ελαιόπαστες, αν μαλαχθούν στην ίδια θερμοκρασία και χρόνο με την ανεπεξέργαστη, θα οδηγήσουν σε αυξημένες αποδόσεις σε ελαιόλαδο. Εναλλακτικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πιο ήπιες συνθήκες μάλαξης (θερμοκρασία και χρόνος) για την προεπεξεργασμένη με ΠΗΠ ή ΥΠ ελαιόπαστα και να οδηγήσουν σε παρόμοια απόδοση σε ελαιόλαδο με την ανεπεξέργαστη ελαιόπαστα που όμως έχει μαλαχθεί σε πιο έντονες συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου. Αυτό θα μπορούσε να ισοδυναμεί και σε λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις για την εξαγωγή ελαιόλαδου αλλά και σε καλύτερη ποιότητα και διάρκεια ζωής του ελαιόλαδου, εφόσον θα έχει επεξεργαστεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία και χρόνο μάλαξης.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας με σκοπό την μελέτη της διάρκειας ζωής του ελαιόλαδου και την επίδραση της προεπεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ σε αυτήν. Το πείραμα δεν ολοκληρώθηκε αφού μετά από 10 μήνες το ελαιόλαδο δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές στην ποιότητα του. Προκαταρκτικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το ελαιόλαδο έχει πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και η προεπεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ πιθανώς αυξάνουν την διάρκεια ζωής του.

Επομένως, οι μη θερμικές τεχνολογίες των ΠΗΠ και της ΥΠ θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως κατάλληλες μέθοδοι για να ενσωματωθούν στην γραμμή παραγωγής της βιομηχανίας εξαγωγής ελαιόλαδου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα ΠΗΠ και η ΥΠ

θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ως προεπεξεργασίες για την παραγωγή υψηλής ποιότητας εξαιρετικά παρθένου ελαιόλαδου με αυξημένη απόδοση, βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά και πιθανά αύξηση της διάρκειας ζωής του.

STUDY OF THE EFFECT OF PULSED ELECTRIC FIELDS AND HIGH PRESSURE ON THE YIELD, QUALITY AND SHELF LIFE OF OLIVE OIL

The extra virgin olive oil is one of the most valued and consumed vegetable oil worldwide for its sensory characteristics. One of the major problems of the oil industry in the production of olive oil is the effectiveness of the extraction process. Only about 80% of the oil contained in the fruit is easy to obtain. To address this problem the modern oil industry increases the time and/or the temperature of the kneading. However, the increase in both temperature and duration of the kneading adversely affect the sensory characteristics of the olive oil obtained. Plenty of research has been done worldwide to find new technologies that can meet the demands for increased oil yield while maintaining the quality. Pulsed Electric Fields and High Pressure are two of the most promising non-thermal food processing technologies, which can cause disruption of cell membranes in olives and lead to a possible increase in the extraction of olive oil.

The aim of this thesis is the application of the non-thermal technologies, Pulsed Electric Fields (PEF) and High Pressure (HP) to oil paste to increase the yield of olive oil while maintaining the quality characteristics (acidity, peroxide value, total phenolic compounds, UV absorption, chlorophylls, carotenoids and free fatty acids) and increase its shelf life.

Two different varieties of olives, Koroneiki and Tsounati were used. Initially, in the first experiment segment, the effect of kneading conditions (temperature: 15, 30, 40 °C and time: 0-60 min) on the oil yield and the quality characteristics was studied, and the optimum conditions were chosen, in terms of maximum yield and maintaining the quality of the oil. The results of the experiment showed that by increasing the kneading temperature and time, there was an increase in the oil yield in both varieties. It confirmed the importance of the step of kneading in the olive oil extraction. The quality characteristics of olive oil that were significantly affected, were the concentration of phenolic compounds and chlorophylls, which increased with increasing of the kneading temperature and time. The optimal kneading conditions of the untreated oil paste that were selected, is 30 °C and 30 minutes.

Then, an experiment was carried out in order to evaluate the effect of the pretreatment with PEF (0,5-1,6 kV/cm, 250 and 2250 pulses, 300 Hz, 15ms at 20 °C) and HP (50-600 MPa, 1 and 5 min at 20 °C) on the oil yield and its quality characteristics. In the results obtained from the pretreatment of oil paste with PEF, it became obvious that in small electric field intensities (0,5-0,7kV/cm) the oil yield did not change significantly in both varieties, while in the larger electric field intensities the oil yield increased significantly. The optimum condition for the PEF pretreatment was 0,9 kV/cm electric field intensity, 250 pulses at 300 Hz with a pulse width of 15ms, at 20°C. The results of pretreatment with HP showed that increasing the pressure and the processing time did not significantly affect the oil yield, thus a mild condition was chosen. The optimum condition of the HP was 200 MPa and 1 minute processing at 20°C. The quality characteristics that were affected by pretreatment of the oil paste with PEF and HP were

the concentrations of phenolic compounds, chlorophylls and carotenoids, which increased as the intensity of the pretreatment conditions heighten. This equates to a possible increase of the oxidative stability of the olive oil that has been pretreated with one of the two technologies during the storage.

Subsequently, a study of the effect of the kneading temperature (15, 30, 40 °C) and time (0-60 min) in oil yield and the quality characteristics of olive oil pretreated with PEF and HP oil paste was carried out. Comparing the results of the pretreated samples with the control sample, it can be concluded that the pretreatment of oil paste with PEF and HP leads to higher oil yields on all kneading conditions. In optimal conditions of kneading and treatment with PEF and HP, the best results were showed in the pretreatment of the oil paste with PEF to increase the efficiency and the concentration of total phenols in Koroneiki and Tsounati variety. Also, Tsounati variety had higher yields than the Koroneiki regardless of the treatment method. This is explained by the larger size of fruit of the Tsounati variety and the late ripening.

In conclusion, the pretreated PEF or HP oil paste will lead to increased oil yields compared with the untreated oil paste, if the kneading happened in the same temperature and time. Alternatively, they could be used milder kneading conditions (temperature and time) for the pretreated with PEF or HP oil paste and lead to the same oil yield with the untreated oil paste when the kneading happened in higher temperature and time conditions. This could be equivalent to less energy requirements for the extraction of olive oil, and also in a better quality and life duration of the olive oil, as it would be treated at a lower kneading temperature and time.

Finally, an accelerated experiment was carried out in order to study the shelf life of olive oil and the effect of the pretreatment with PEF and HP in its life duration. The experiment could not be completed, because after 10 months at the tested conditions the olive oil showed no significant differences in its quality. These early results have shown that olive oil has a very long shelf life and the pretreatment with PEF and HP may increase that further.

Therefore, the non-thermal technologies PEF and HP could be described as suitable methods to integrate into the production line of the oil extraction in the oil industry. The results show that PEF and HP could be applied as pretreatments for producing high quality extra virgin olive oil with an increased oil yield, improved quality characteristics and increased shelf life.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ	17
1.1 Γενικά για τα Φυτικά Έλαια	17
1.2 Κατηγορίες Φυτικών Ελαίων.....	17
1.3 Τα συστατικά των φυτικών ελαίων	17
1.4 Ελαιόλαδο	17
1.4.1 Εισαγωγή.....	17
1.4.2 Σύσταση ελαιόκαρπου	19
1.4.3 Ποικιλίες ελιάς.....	19
1.4.4 Χημική σύσταση του ελαιόλαδου	20
1.4.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του ελαιόλαδου	21
1.4.6 Κατηγορίες ελαιόλαδου.....	23
1.4.7 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου	25
1.4.8 Ποιοτικοί δείκτες ελαιόλαδου	26
1.5 Ένζυμα ελαιόλαδου	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ	33
2.1 Εισαγωγή.....	33
2.2 Συγκομιδή του ελαιόκαρπου	33
2.2.1 Παραδοσιακό Σύστημα.....	33
2.2.2 Σύστημα πυκνής φύτευσης.....	34
2.2.3 Σύστημα υπερπυκνής φύτευσης.....	35
2.3 Πλύσιμο και αφαίρεση φύλλων.....	37
2.4 Άλεση ή σύνθλιψη.....	38
2.5 Ανάμιξη της πάστας ελιάς (Μάλαξη).....	38
2.6 Εξαγωγή ελαιόλαδου από την ελαιόπαστα.....	39
2.6.1 Πίεση.....	39
2.6.2 Φυγοκέντρηση: τριφασική και διφασική	39
2.6.3 Επιλεκτική διήθηση: διαδικασία sinolea	40
2.7 Επεξεργασία των αποβλήτων ελαιοπαραγωγής.....	40
2.8 Αποθήκευση και εμφιάλωση του ελαιόλαδου	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΑΛΜΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	43
3.1 Ορισμός των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων.....	43
3.2 Ηλεκτροδιάτρηση	43
3.3 Μέτρηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης.....	45
3.4 Παράμετροι της διεργασίας των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων	46

3.4.1 Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (σε kV/cm)	46
3.4.2 Η θερμοκρασία διεργασίας.....	46
3.4.3 Ο χρόνος διεργασίας (σε msec – msec)	47
3.4.4 Το σχήμα του παλμού	47
3.4.5 Η ειδική ενέργεια (σε kJ/kg).....	48
3.5 Εξαρτήματα του συστήματος ΠΗΠ.....	48
3.5.1 Σχεδιασμός του θαλάμου επεξεργασίας	48
3.6 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των ΠΗΠ	50
3.7 Εφαρμογές της τεχνολογίας των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων	51
3.8 Βιβλιογραφική ανασκόπηση της εφαρμογής των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων για αύξηση της παραγωγικότητας.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΥΠΕΡΥΨΗΛΗ ΠΙΕΣΗ.....	55
4.1 Η τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης.....	55
4.2 Βασικές Αρχές της Υπερυψηλής Πίεσης	56
4.2.1 Ισοστατική Αρχή	56
4.2.2 Αρχή Le Chatelier	56
4.2.3 Σχέση Arrhenius.....	56
4.3 Παράμετροι της διεργασίας ΥΠ	57
4.3.1 Εφαρμοζόμενη πίεση.....	57
4.3.2 Θερμοκρασία συμπεριλαμβανομένης και της αδιαβατικής θέρμανσης	57
4.3.3 Χρόνος επεξεργασίας.....	57
4.4 Μηχανολογικός Εξοπλισμός της ΥΠ	58
4.5 Πλεονεκτήματα της Υπερυψηλής Πίεσης.....	59
4.6 Εφαρμογές της τεχνολογίας της Υπερυψηλής Πίεσης	60
4.7 Βιβλιογραφική ανασκόπηση της εφαρμογής της Υπερυψηλής Πίεσης για αύξηση της παραγωγικότητας	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	63
5.1 Πρώτες ύλες.....	63
5.2 Πειραματική Διαδικασία	63
5.3 Προσδιορισμός απόδοσης.....	67
5.4 Εξοπλισμός.....	67
5.5 Αναλυτικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των ποιοτικών δεικτών του ελαιόλαδου	68
5.5.1 Ελεύθερη Οξύτητα.....	68
5.5.2 Αριθμός Υπεροξειδίων	69
5.5.3 Ολικές Φαινολικές Ενώσεις.....	69
5.5.4 Χλωροφύλλες-Καροτένια.....	71

5.5.5 Απορρόφηση στο υπεριώδες Κ ₂₃₂ -Κ ₂₇₀	71
5.5.6 Προφίλ ελεύθερων λιπαρών οξέων	72
5.6 Μοντελοποίηση των συνθηκών μάλαξης για την αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο και φαινολικές ενώσεις.....	72
5.7 Επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας των δειγμάτων ελαιόλαδου	73
5.8 Στατιστική Επεξεργασία.....	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	75
6.1 Πρώτη ενότητα πειραμάτων – Μάλαξη ανεπεξεργαστης ελαιόπαστας.....	75
6.1.1 Ποικιλία Κορωνέικη	75
6.1.2 Ποικιλία Τσουνάτη.....	78
6.2 Δεύτερη ενότητα πειραμάτων – Προεπεξεργασία με ΠΗΠ ή ΥΠ.....	83
6.2.1 Ποικιλία Κορωνέικη	84
6.2.2 Ποικιλία Τσουνάτη.....	86
6.3 Τρίτη ενότητα πειραμάτων – Μάλαξη προεπεξεργασμένης με ΠΗΠ ή ΥΠ ελαιόπαστας.....	96
6.3.1 Ποικιλία Κορωνέικη	97
6.3.2 Ποικιλία Τσουνάτη.....	98
6.4 Μοντελοποίηση των συνθηκών μάλαξης για την αύξηση της απόδοσης	108
6.4.1 Μοντέλο αύξησης απόδοσης ελαιόλαδου	108
6.4.2 Μοντέλο αύξησης απόδοσης φαινολικών ενώσεων.....	112
6.5 Επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας	115
6.5.1 Ποικιλία Κορωνέικη	116
6.5.2 Ποικιλία Τσουνάτη.....	122
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	129
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	133
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ

1.1 Γενικά για τα Φυτικά Έλαια

Εδώδιμα έλαια είναι κυρίως φυτικά έλαια που έχουν υποβληθεί σε αρκετές διεργασίες για την αφαίρεση ανεπιθύμητων συστατικών. Για να καταστούν κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, τα περισσότερα εδώδιμα έλαια υποβάλλονται σε διεργασίες εξουγενισμού, όπως εξουδετέρωση, αποχρωματισμό και απόσπηση. Μεταξύ των εδώδιμων ελαίων, μόνο το παρθένο ελαιόλαδο, μπορεί να καταναλωθεί χωρίς περαιτέρω επεξεργασία (Lerma Garcia, 2012). Τα περισσότερα φυτικά έλαια λαμβάνονται από σπόρους και καρπούς. Η εκχύλιση των σπόρων επιτυγχάνεται ασκώντας πίεση και/ή με εκχύλιση με διαλύτη. Έλαια όπως το φοινικέλαιο και το ελαιόλαδο, από την άλλη πλευρά, πιέζονται έξω από τα μαλακά φρούτα (ενδοσπέρμιο). Οι σπόροι δίνουν έλαια σε διαφορετικές αναλογίες (Gunstone, 2011).

1.2 Κατηγορίες Φυτικών Ελαίων

Τα βασικότερα φυτικά έλαια είναι:

- Φοινικέλαιο
- Σογιέλαιο
- Ελαιοκράμβη
- Ηλιέλαιο
- Βαμβακέλαιο
- Αραχιδέλαιο
- Ελαιόλαδο

1.3 Τα συστατικά των φυτικών ελαίων

Τα συστατικά των φυτικών ελαίων μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες, τα σαπωνοποιημένα (τριγλυκερίδια, ελεύθερα λιπαρά οξέα, φωσφατίδια) και τα ασαπωνοποίητα (υδρογονάνθρακες, λιπαρές αλκοόλες) κλάσματα. Το ασαπωνοποίητο κλάσμα αποτελεί γενικά το 0,5-1,5 % του ελαίου (Lerma Garcia, 2012).

1.4 Ελαιόλαδο

1.4.1 Εισαγωγή

Το ελαιόλαδο προέρχεται από τα φρούτα *Olea europaea L.* Το δέντρο της ελιάς έχει διάρκεια ζωής μερικούς αιώνες (300-600 χρόνια). Το ύψος του αιωνόβιου δέντρου μπορεί να φτάσει τα 25 μέτρα αν είναι μεγάλο σε ηλικία, αλλά συνήθως το ιδανικό ύψος για την καλλιέργειά του είναι τα 4-5 μέτρα, ώστε να είναι εύκολη η συγκομιδή. Επίσης είναι ανθεκτικό σε αντίξοες συνθήκες (ξηρασία, άγονα εδάφη κλπ), όμως χρειάζεται ήπιο κλίμα (θερμοκρασία όχι κάτω από -9 °C το χειμώνα και κανονικές έως υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι) (Tsimidou et al, 2003).



Εικόνα 1.1: Καλλιέργεια από ελιές

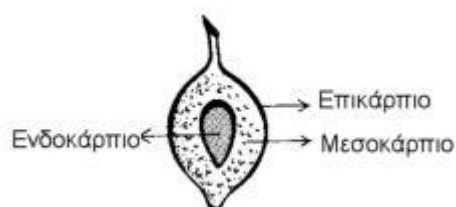
Το ελαιόλαδο είναι ένα σημαντικό συστατικό της Μεσογειακής διατροφής, για τις χώρες της Μεσογείου αποτελεί την κυριότερη πηγή λιπαρών στην κουζίνα τους. Έχει όμως κερδίσει και το ενδιαφέρον των καταναλωτών της Βόρειας Ευρώπης, των ΗΠΑ, του Καναδά, και άλλων χωρών ως συστατικό μιας υγιεινής διατροφής, αφού έρευνες έχουν αποδείξει ότι το θετικό ρόλο του ελαιόλαδου στην αποφυγή ορισμένων ασθενειών και ιδιαίτερα της στεφανιαίας νόσου (Gunstone, 2011). Το ελαιόλαδο παράγεται σχεδόν αποκλειστικά στην Ισπανία, την Ιταλία, την Ελλάδα, την Τυνησία, την Τουρκία, το Μαρόκο και την Πορτογαλία με 31, 31, 18, 4, 5, 2,5 και 2% της παγκόσμιας παραγωγής, αντίστοιχα). Περισσότερα από 800 εκατομμύρια δέντρα, καλύπτουν συνολική έκταση 25 εκατομμύριων στρεμμάτων, με απόδοση περίπου 2 εκατομμύρια τόνους ελαίου. Αν και η παραγωγή ελαιόλαδου αποτελεί το 2% του όγκου των εδώδιμων ελαίων παγκοσμίως, η αγοραία αξία του έχει σημαντικό μερίδιο (15%) στο διεθνές εμπόριο, λόγω της υψηλής τιμής του (Tsimidou et al, 2003).



Εικόνα 1.2: Παγκόσμιος χάρτης με τις περιοχές που καλλιεργούν ελιές

1.4.2 Σύσταση ελαιόκαρπου

Ο καρπός του δέντρου έχει σχήμα ωοειδές, που συχνά καταλήγει σε μυτερό άκρο. Ο ελαιόκαρπος αποτελείται από δύο κύρια μέρη, το περικάρπιο και το ενδοκάρπιο (κουκούτσι). Το περικάρπιο περιλαμβάνει το επικάρπιο (φλούδα) και το μεσοκάρπιο (σάρκα, πούλπα) και αντιστοιχεί στο 65-83% του συνολικού βάρους του καρπού. Το ενδοκάρπιο περιέχει το ενδοσπέρμιο και αντιστοιχεί στο 13-30% του συνολικού βάρους του ελαιόκαρπου (Τζίκα, 2008).



Εικόνα 1.3: Τα μέρη του ελαιόκαρπου σε εγκάρσια τομή (Τζίκα, 2008).

1.4.3 Ποικιλίες ελιάς

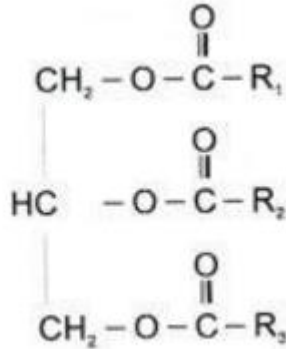
Οι πιο γνωστές ποικιλίες ελιάς για παραγωγή ελαιόλαδου είναι: Κορωνέικη, Μεγαρίτικη και Τσουνάτη στην Ελλάδα, Coratina, Leccino και Frantoio στην Ιταλία και Picual, Hogiblanca, Arbequina της Καταλονίας και Lechin της Σεβίλλης στην Ισπανία (Tsimidou et al, 2003).



Εικόνα 1.4: Ελιές κατά την συγκομιδή

1.4.4 Χημική σύσταση του ελαιόλαδου

Το ελαιόλαδο δεν είναι ποτέ μια καθαρή λιπαρή ουσία, είναι κατά κύριο λόγο ένα μίγμα τριγλυκεριδίων, δηλαδή τριεστέρων της γλυκερόλης (τριακυλο-γλυκερολών) με ελεύθερα λιπαρά οξέα.



Εικόνα 1.5: Δομή τριγλυκεριδίου (Τζίκα, 2008).

Τα κυριότερα συστατικά είναι οι τριακυλο-γλυκερόλες και τα δευτερεύοντα συστατικά είναι τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα οποία είναι προϊόντα υδρόλυσης των τριγλυκεριδίων, και μη γλυκεριδικά συστατικά (0,5-1,5%). Τα μη γλυκεριδικά συστατικά περιλαμβάνουν τις εξής κατηγορίες: φωσφολιπίδια (φωσφατίδια), μόνο- και διάκυλο-γλυκερόλες, φαινόλες, τοκοφερόλες, στερόλες, τριτερπενικές αλκοόλες, πτητικές ενώσεις και χρωστικές ουσίες (χλωροφύλλες, καροτένια) (Gunstone, 2011, ΕΦΕΤ, 2012). Η περιεκτικότητα σε ελεύθερα λιπαρά οξέα ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του ελαιόλαδου και αποτελεί σημαντικό κριτήριο ποιότητας για το ελαιόλαδο (Gunstone, 2011).

Τα σημαντικότερα λιπαρά οξέα του ελαιόλαδου είναι ακόρεστα. Μεταξύ αυτών σε μεγαλύτερη αναλογία είναι (με αύξοντα αριθμό):

- το μονοακόρεστο ελαϊκό (C18:1)
- το λινελαϊκό (C18:2)
- το α-λινολενικό (C18:3)
- το αραχιδονικό (C20:4)
- το παλμιτελαϊκό (C16:1)

Από τα κορεσμένα οξέα σε μεγαλύτερη αναλογία είναι το παλμιτικό (C16:0), το στεατικό (C18:0), το μυριστικό (C14:0) (Τζίκα, 2008).

Η σύνθεση του ελαιόλαδου μπορεί ακόμα να επηρεαστεί από το κλίμα, το υψόμετρο και το στάδιο ωρίμανσης του καρπού πριν την συγκομιδή. Το ελαιόλαδο έχει παρόμοια σύνθεση στα λιπαρά οξέα με εκείνη του υψηλού σε ελαϊκό οξύ ηλιέλαιο, αλλά διαφέρει σημαντικά από κάθε άλλο είδος εδώδιμου ελαίου (Tsimidou et al, 2003).

1.4.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του ελαιόλαδου

Είναι γενικά αποδεκτό ότι το κλίμα έχει μια μεγάλη επίδραση στην χημική σύνθεση των φυτικών ελαίων. Γενικά, σε θερμότερα κλίματα, τα έλαια που παράγονται έχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε ελαϊκό οξύ και υψηλότερες συγκεντρώσεις σε παλμιτικό, λινελαϊκό και σε μερικές περιπτώσεις α-λινολενικό οξύ. Πολλές μελέτες έχουν αναφέρει σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των ελαίων από ελαιώνες που καλλιεργούνται κοντά στη Μεσόγειο Θάλασσα και εκείνων που συγκομίζονται στα βουνά. Έτσι, τα παρθένα ελαιόλαδα που προέρχονται από χαμηλά ύψη έχουν υψηλότερες ποσότητες σε στερόλες, τοκοφερόλες, και φαινόλες και χαμηλότερες περιεκτικότητες σε χλωροφύλλες και ακόρεστα λιπαρά οξέα από ό,τι τα έλαια από τα βουνά. Επίσης οι ελιές σε μεγάλα υψόμετρα ωριμάζουν πιο αργά. Το γεγονός ότι η αναλογία ακόρεστων/κορεσμένων λιπαρών οξέων αυξάνεται με το υψόμετρο, στο οποίο καλλιεργούνται οι ελιές, έχει μεγάλη σημασία τόσο στην διατηρησιμότητα του ελαιόλαδου όσο και στην οργανοληπτική ποιότητα του. Τα ελαιόλαδα από χαμηλά υψόμετρα έχουν μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα επειδή το ποσοστό των ακόρεστων λιπαρών οξέων αυξάνει καθώς η θερμοκρασία μειώνεται μέσα στην ίδια περιοχή καλλιέργειας (Aparicio et al, 2013).

Εκτός από το υψόμετρο και τις κλιματικές μεταβλητές, τα εδάφη επηρεάζουν τη χημική σύνθεση των παρθένων ελαιόλαδων. Όσον αφορά το είδος του εδάφους δεν έχει κάποια σημαντική επίδραση στη σύνθεση του ελαιόλαδου εκτός από την ικανότητά του να απορροφά αρκετό νερό ώστε να είναι διαθέσιμο για τα δέντρα. Στο έδαφος όμως προστίθενται τα λιπάσματα που επηρεάζουν το ελαιόλαδο, ειδικά τα νιτρικά και φωσφορικά έχουν αποδειχθεί ότι επηρεάζουν τα λιπαρά οξέα του. Σε ιδανικές ποσότητες φωσφορικών λιπασμάτων παρατηρείται αύξηση του ελαϊκού και α-λινολενικού οξέος. Αν όμως η ποσότητα των νιτρικών λιπασμάτων ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια τότε το ελαϊκό οξύ μειώνεται όπως και οι πολυφαινόλες. Ακόμη, η συγκέντρωση του άλατος στο χώμα επηρεάζει την σύνθεση του ελαιόλαδου. Η συγκέντρωση των αλειφατικών και τριτερπενικών αλκοολών, όπως και η αναλογία λινελαϊκού/λινολενικού οξέος αυξάνονται σημαντικά όταν το χώμα περιέχει αλάτι (Aparicio et al, 2013).

Μέχρι πρόσφατα, η ελιά καλλιεργούταν σε ξηρά εδάφη και δεν χρειαζόταν πότισμα, λόγω όμως ξηρασίας στην λεκάνη της Μεσογείου, οι παραδοσιακές πρακτικές έχουν αρχίσει να αλλάζουν και η άρδευση των ελαιώνων αυξάνεται εκθετικά σε όλες τις χώρες παραγωγής με παράλληλη αύξηση της απόδοσης σε καρπούς. Η άρδευση των ελαιόδεντρων επηρεάζει τα χημικά συστατικά που σχετίζονται με την πικράδα της ελιάς. Επίσης, η περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα καθώς και το σύνολο των πολυφαινολών, που ευθύνονται εν μέρει για την πικρή γεύση, είναι χαμηλότερα στα παρθένα ελαιόλαδα που αρδεύονται. Η πικρή και στυφή γεύση θεωρείται ένα οργανοληπτικό χαρακτηριστικό των παρθένων ελαιόλαδων. Επίσης, στις ελιές με χαμηλά επίπεδα υγρασίας εκχυλίζεται πιο εύκολα το λάδι, αντίθετα αν οι ελιές περιέχουν μεγάλη ποσότητα νερού τότε μπορεί να δημιουργηθεί γαλάκτωμα που δύσκολα διαχωρίζεται.

Επιπρόσθετα, ένας παράγοντας που επηρεάζει τη χημική σύνθεση του ελαιόλαδου είναι η ποικιλία της ελιάς. Μετά από συγκριτικές αναλύσεις των ποικιλιών

Arbequina, Coratina, Κορωνέικη και Picual, μερικές από τις πιο σημαντικές ποικιλίες, μπόρεσε να εξακριβωθεί το γεγονός ότι παρθένα ελαιόλαδα διαφορετικών ποικιλιών έχουν διαφορετικές χημικές ιδιότητες. Οι διαφορετικές χημικές ιδιότητες των συγκεκριμένων ποικιλιών φαίνονται παρακάτω:

- Arbequina: έχει υψηλές συγκεντρώσεις στις κύριες στερόλες, σε λινελαϊκό οξύ αλλά χαμηλές συγκεντρώσεις σε ελαϊκό οξύ.
- Coratina: έχει υψηλές συγκεντρώσεις σε φαινόλες, μεθυλεστέρες και τριτερπενικές αλκοόλες σε αντίθεση με το ελαϊκό οξύ που βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις.
- Picual: έχει χαμηλή συγκέντρωση σε τριτερπενικό οξύ και σε λινελαϊκό οξύ.
- Κορωνέικη: έχει υψηλές συγκεντρώσεις σε όλες σχεδόν τις αλειφατικές αλκοόλες και στα λιπαρά οξέα λινελαϊκό και αραχιδικό (Aparicio et al, 2013).

Η ωριμότητα της ελιάς είναι επίσης σημαντική για το χρονικό προσδιορισμό της συγκομιδής της, επειδή η συσσώρευση των λιπαρών οξέων αυξάνεται καθώς ωριμάζει όπως και η απόδοση σε λάδι. Παλαιότερα, οι ελιές αγοράζονταν κυρίως για το λάδι τους οπότε οι αγρότες φρόντιζαν να γίνεται η συγκομιδή όταν οι ελιές ήταν αρκετά ώριμες. Όμως, μελέτες σχετικά με την εξέλιξη των χημικών συστατικών κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης επέτρεψαν να καθοριστεί όχι μόνο η καλύτερη στιγμή για τη συγκομιδή, αλλά και να τονιστεί η σημασία της ωριμότητας της ελιάς στην οργανοληπτική ποιότητα του ελαιόλαδου. Τα παρθένα ελαιόλαδα που προέρχονται από υπερώριμες ελιές έχουν υψηλότερη απόδοση, αλλά η περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη είναι σχετικά χαμηλή, σε φαινόλες ακόμη χαμηλότερη και περιέχουν μικρότερα ποσά μερικών αρωματικών ενώσεων. Επιπλέον, η καθυστερημένη συγκομιδή αυξάνει την πιθανότητα για ελαττώματα στον καρπό. Οι ελαττωματικές ελιές παράγουν κατώτερης ποιότητας ελαιόλαδο με υψηλότερη υπεροξειδωση και μερικές φορές με υψηλότερη ελεύθερη οξύτητα (Aparicio et al, 2013).

Πίνακας 1.1: Τα στάδια ωρίμανσης του καρπού της ελιάς και τα χαρακτηριστικά τους.

Στάδιο ωρίμανσης του καρπού	Χαρακτηριστικά
<p>Πρώτο στάδιο: Άγουρη ελιά</p>	<p>Χρώμα πράσινο, σκληρή και άγουρη. Το λάδι που παράγει είναι συνήθως πικρό και πικάντικο, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε φαινόλες και βαθύ πράσινο, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε χλωροφύλλες. Η απόδοση εκχύλισης είναι χαμηλή.</p>
<p>Ενδιάμεσο στάδιο ωρίμανσης: Μετάβαση από άγουρη σε ώριμη ελιά</p>	<p>Η ελιά αρχίζει καθώς ωριμάζει αλλάζει το χρώμα της από πράσινο σε κιτρινοπράσινο κι έπειτα εμφανίζει σκουρόχρωμες στάμπες. Θεωρείται το ιδανικό στάδιο για συγκομιδή με σκοπό την παραγωγή λαδιού. Είναι φρουτώδες, λίγο πικρό και λίγο πικάντικο. Έχει μέγιστη ποσότητα σε φαινόλες και μέγιστη απόδοση.</p>
<p>Τελευταίο στάδιο: Ώριμη ελιά</p>	<p>Το χρώμα πλέον γίνεται μαύρο. Οι φαινόλες και οι χλωροφύλλες μειώνονται και αυξάνονται τα καροτένια. Το λάδι χαρακτηρίζεται ως γλυκό, έχει χρώμα χρυσαφί, είναι λιγότερο πικρό και πικάντικο και δεν είναι σταθερό (Sibbett et al, 2005).</p>

1.4.6 Κατηγορίες ελαιόλαδου

Το ελαιόλαδο κατατάσσεται σε δυο κατηγορίες με βάση την ποιότητα του: στα παρθένα ελαιόλαδα και στα πυρηνέλαια, τα οποία με τη σειρά τους ταξινομούνται σε υποκατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους.

1.4.6.1 Παρθένα Ελαιόλαδα

Τα παρθένα ελαιόλαδα λαμβάνονται από τον ελαιόκαρπο μόνο με μηχανικές μεθόδους ή άλλες φυσικές επεξεργασίες με συνθήκες που δεν προκαλούν αλλοίωση του ελαίου. Δεν πρέπει να έχουν υποστεί καμία άλλη επεξεργασία πλην της πλύσης, της μετάγγισης, της φυγοκέντρησης και της διήθησης. Εντούτοις, δεν έχουν όλα τα παρθένα ελαιόλαδα εξαιρετική ποιότητα. Για αυτόν τον λόγο, τα παρθένα ελαιόλαδα κατανέμονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους (οξύτητα, οργανοληπτικός έλεγχος, απουσία ελαττωμάτων).

Οι υποκατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

- **Εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο:** Θεωρείται το καλύτερο ελαιόλαδο. Σε οργανοληπτικούς ελέγχους βαθμολογείται για το άρωμα και τη γεύση του με ίσο ή μεγαλύτερο του 6,5. Παρθένο ελαιόλαδο του οποίου η περιεκτικότητα σε

ελεύθερα λιπαρά οξέα, εκφραζόμενη σε ελαϊκό οξύ, δεν υπερβαίνει τα 0,8 g ανά 100 g.

- **Παρθένο ελαιόλαδο:** Είναι το ελαιόλαδο που μπορεί να μεταβληθεί ελαφρώς, είτε στους αναλυτικούς δείκτες του ή στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, αλλά πάντα σε μια μικρή κλίμακα. Αυτές οι αλλαγές, ειδικά οργανοληπτικά, είναι σχεδόν ανεπαίσθητη, αλλά το παρθένο ελαιόλαδο είναι υποτιμημένο σε σχέση με την ποιότητα του εξαιρετικά παρθένου ελαιόλαδου. Οι οργανοληπτικοί έλεγχοι δείχνουν βαθμολογία ίση ή μεγαλύτερη από 5,5. Επιπρόσθετα, η περιεκτικότητα του σε ελεύθερα λιπαρά οξέα, εκφραζόμενη σε ελαϊκό οξύ, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 g ανά 100 g.
- **Κοινό παρθένο ελαιόλαδο:** Είναι παρθένο ελαιόλαδο, που ο βαθμός της οργανοληπτικής του αξιολόγησης, είναι ίσος ή ανώτερος του 3,5, ενώ η περιεκτικότητα σε ελεύθερα λιπαρά οξέα, εκφραζόμενη σε ελαϊκό οξύ, είναι το πολύ 3,3g ανά 100g. Το κοινό παρθένο ελαιόλαδο δεν περιλαμβάνεται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό (Lerma Garcia, 2012, Gunstone, 2011, ΕΦΕΤ, 2012).

1.4.6.2 Πυρηνέλαια

Το ακατέργαστο πυρηνέλαιο εκχυλίζεται με οργανικούς διαλύτες από το στερεό υπόλειμμα της ελιάς στα ελαιοτριβεία, δηλαδή τον ελαιοπυρήνα. Τα υλικά που αποτελούν τον πυρήνα της ελιάς είναι κουκούτσια, φλούδες από τις αλεσμένες ελιές, σπασμένη σάρκα ελιάς (ψύχα) και νερό. Είναι απαραίτητο να υποβληθεί σε εξευγενισμό, επειδή δεν είναι άμεσα κατάλληλο για κατανάλωση από τον άνθρωπο, αφού περιέχει πολλές ανεπιθύμητες ουσίες. Έχει εμπορευματοποιηθεί αναμιγνυόμενο με παρθένα ελαιόλαδα. Η περιεκτικότητά του σε ελεύθερα λιπαρά οξέα, εκφραζόμενη σε ελαϊκό οξύ, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1g ανά 100g (Lerma Garcia, 2012, ΕΦΕΤ, 2012).

Ανάλογα με την επεξεργασία που επιδέχεται ένα πυρηνέλαιο, κατηγοριοποιείται στις παρακάτω υποκατηγορίες:

- **Ακατέργαστο πυρηνέλαιο:** Το ελαιόλαδο αυτό προκύπτει από κατεργασία του ελαιοπυρήνα με οργανικούς διαλύτες.
- **Εξευγενισμένο πυρηνέλαιο:** Το ελαιόλαδο που λαμβάνεται με εξευγενισμό (χημική επεξεργασία) ακατέργαστου πυρηνέλαιου, χωρίς να μεταβάλλεται η αρχική σύνθεση της τριακυλογλυκερόλης. Η περιεκτικότητά του σε ελεύθερα λιπαρά οξέα, εκφραζόμενη σε ελαϊκό οξύ, δεν ξεπερνάει τα 0,3g ανά 100g (Gunstone, 2011).

Υπάρχει άλλη μια κατηγορία ελαιόλαδου που αποτελείται από μια μίξη εξευγενισμένων ελαιόλαδων και παρθένων. Το ελαιόλαδο αυτό προκύπτει από ανάμειξη εξευγενισμένου ελαιόλαδου και παρθένων ελαιόλαδων, εκτός από το ελαιόλαδο λαμπάντε (ελαιόλαδο που χρειάζεται εξευγενισμό για να γίνει εδώδιμο με ελεύθερη οξύτητα 3,3g/100g) (Lerma Garcia, 2012). Η περιεκτικότητά σε ελεύθερα λιπαρά οξέα, εκφραζόμενη σε ελαϊκό οξύ, δεν υπερβαίνει το 1 g ανά 100 g (ΕΦΕΤ, 2012).

1.4.7 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου

Η οργανοληπτική ποιότητα ενός τροφίμου επηρεάζει την αποδοχή και την ελκυστικότητα του. Καθορίζεται από ένα σύνολο θετικών χαρακτηριστικών που αξιολογούνται μέσω των αισθητηρίων οργάνων. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μπορεί να ανιχνευθούν από τα αισθητήρια όργανα είναι η εμφάνιση, το μέγεθος, το σχήμα, το χρώμα, το ιξώδες, οι κιναισθητικές αισθήσεις, όπως η σκληρότητα και η τραγανότητα, οι απτικές αισθήσεις, η οσμή και η γεύση. Ο αριθμός των χαρακτηριστικών αυτών μειώνεται δραστικά όσον αφορά το ελαιόλαδο, επειδή ορισμένα, όπως το μέγεθος, το σχήμα και οι κιναισθητικές αισθήσεις, δεν έχουν καμία σημασία στα υγρά προϊόντα, ενώ άλλα, όπως η θολερότητα και το ιξώδες, μπορεί εύκολα να μετρηθούν χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα όργανα. Επομένως, το χρώμα, η οσμή και η γεύση αποτελούν τις κύριες παραμέτρους για την αξιολόγηση της οργανοληπτικής ποιότητας του ελαιόλαδου.

1.4.7.1 Χρώμα

Το χρώμα είναι ίσως το σημαντικότερο οργανοληπτικό χαρακτηριστικό του ελαιόλαδου. Το χρώμα των παρθένων ελαιόλαδων, όταν είναι φρέσκο, κυμαίνεται ανάμεσα σε ανοιχτό κίτρινο και σε βαθύ πράσινο ανάλογα με την περιεκτικότητα του σε χλωροφύλλες και καροτενοειδή. Οι χλωροφύλλες δίνουν έλαια κίτρινοπράσινα, ενώ τα καροτενοειδή δίνουν αποχρώσεις μεταξύ κίτρινου και κόκκινου. Το επίπεδο αυτών των χρωστικών έχει σχέση με γενετικούς παράγοντες, το στάδιο ωρίμανσης της ελιάς καθώς και τις συνθήκες παραγωγής του ελαίου. Αυτές οι χρωστικές μειώνονται καθώς ωριμάζει ο καρπός και εξαφανίζονται με την πλήρη ωριμότητα της ελιάς.

1.4.7.2 Γεύση

Η γεύση είναι η αίσθηση που γίνεται αντιληπτή από τις γευστικές θηλές όταν αυτές ερεθίζονται από ορισμένες διαλυτές ουσίες. Οι τέσσερις βασικές διακριτές γεύσεις είναι: γλυκό, αλμυρό, ξινό και πικρό. Η γλυκιά αίσθηση προκαλείται από ουσίες όπως η σακχαρόζη, η αλμυρή από το αλάτι (χλωριούχο νάτριο), η όξινη από το pH κάποιων οξέων και η πικρή από ουσίες όπως η καφεΐνη και η κινίνη.

Οι φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου ευθύνονται κατά κύριο λόγο για την πικρή του γεύση. Η πικρή γεύση είναι η πιο σημαντική γευστική αντίληψη στα παρθένα ελαιόλαδα. Το επίπεδο των φαινολικών ενώσεων στα παρθένα ελαιόλαδα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από γενετικούς παράγοντες, το στάδιο ωρίμανσης των καρπών και την τεχνολογική διαδικασία παραγωγής του ελαίου (μάλαξη, εκχύλιση). Η συγκέντρωση σε φαινολικές ουσίες αυξάνεται με την ωρίμανση του καρπού μέχρι να φτάσει σε ένα μέγιστο, που παρατηρείται γενικά καθώς οι ελιές παίρνουν ένα σκουρόχρωμο (μωβ) χρώμα. Από αυτό το στάδιο και έπειτα, η περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες μειώνεται.

1.4.7.3 Οσμή

Ως οσμή του παρθένου ελαιόλαδου ορίζεται το άθροισμα των αισθήσεων που γίνονται αντιληπτές όταν διάφορες χημικές ουσίες, που μεταφέρονται στον αέρα κατά την εισπνοή και την εκπνοή, φτάσουν και να διεγείρουν τους υποδοχείς όσφρησης που βρίσκονται στους νευρώνες του οσφρητικού επιθήλιου. Ο μηχανισμός που επιτρέπει στον άνθρωπο να προσδιορίζει την ένταση και την ποιότητα των εύοσμων ερεθισμάτων

σωστά δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή. Η οσμή φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με χημικούς παράγοντες, όπως η αστάθεια και ο υδρόφοβος χαρακτήρας και με την στερεοχημική δομή οσμηρών ουσιών αντί για τη συγκέντρωσή τους. Από έρευνες έχει αποδειχτεί ότι το ελαιόλαδο περιέχει περισσότερες από 100 πτητικές ουσίες που προσδιορίστηκαν από χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας αερίου (GCMS), και ευθύνονται για το ειδικό άρωμα του παρθένου ελαιόλαδου.

Το στάδιο ωρίμανσης του καρπού κατά τη συγκομιδή επηρεάζει σημαντικά την οσμή του ελαίου. Η βέλτιστη οσμή επιτυγχάνεται όταν το ελαιόλαδο έχει τη μέγιστη περιεκτικότητα σε πτητικές ουσίες. Αυτό επιτυγχάνεται σε διάφορες χρονικές στιγμές ανάλογα με την ποικιλία της ελιάς, αν και το σύστημα επεξεργασίας και οι συνθήκες που ακολουθούνται κατά τη διάρκεια της παραγωγής του ελαιόλαδου είναι επίσης υπεύθυνες για τις αλλαγές στην πτητική σύνθεση του και, ως εκ τούτου, στην ποιότητα και τη δύναμη της οσμής του. Επίσης, αρνητικές συνέπειες για την οσμή του ελαιόλαδου προκαλούνται όταν η σύνθλιψη των καρπών εκτελείται από μεταλλικούς σπαστήρες και όταν η μάλαξη της ελαιόπαστας γίνεται για μεγάλες χρονικές περιόδους και υψηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον, τα συστήματα εξαγωγής στα οποία η επαφή μεταξύ νερού και λαδιού είναι η ελάχιστη, όπως είναι τα συστήματα πίεσης και η διφασική φυγοκέντρωση, παρέχουν ελαιόλαδα με ισχυρότερη οσμή.

1.4.7.4 Άρωμα

Ένας επιπρόσθετος οργανοληπτικός παράγοντας για το ελαιόλαδο είναι το άρωμα (flavor). Οι αισθήσεις που γίνονται αντιληπτές όταν ένα παρθένο ελαιόλαδο καταναλώνεται, οφείλονται στη συνδυασμένη διέγερση των οσφρητικών και γευστικών υποδοχέων. Ο συνδυασμός των αισθήσεων που προκαλούνται από τις αισθήσεις της όσφρησης και της γεύσης ονομάζεται άρωμα. Επομένως, εκτός από τις χωριστές αισθήσεις που προκύπτουν από τη διέγερση των προαναφερθέντων αισθήσεων, οι αλληλεπιδράσεις της γεύσης-γεύσης και οσμής-οσμής στο επίπεδο του υποδοχέα, καθώς και οι αλληλεπιδράσεις της γεύσης-αρώματος συμβάλουν στο άρωμα του ελαιόλαδου. Τέτοιες αλληλεπιδράσεις μπορούν να τροποποιήσουν σημαντικά τις πληροφορίες που θα μπορούσαν να ληφθούν κανονικά από το απλό άθροισμα των επιμέρους αισθήσεων που προκύπτουν από τη γεύση και τη μυρωδιά. (Aparicio et al, 2013).

1.4.8 Ποιοτικοί δείκτες ελαιόλαδου

1.4.8.1 Ελεύθερη Οξύτητα

Ελεύθερη οξύτητα στο ελαιόλαδο ορίζεται ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του ελαιόλαδου σε ελεύθερα λιπαρά οξέα και εκφράζεται σε γραμμάρια ελαιϊκού οξέος ανά 100 γραμμάρια ελαιόλαδου. Ένα ειδικό ένζυμο η λιπάση, που βρίσκεται στον καρπό της ελιάς δρα λιπολυτικά ειδικά στις θέσεις 1 και 3 των τριγλυκεριδίων και έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ελεύθερων λιπαρών οξέων (που είναι υπεύθυνα για την οξύτητα στο ελαιόλαδο) και μόνο- και δι- γλυκεριδίων.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ελεύθερη οξύτητα

Η εφαρμογή καλής βιομηχανικής πρακτικής κατά την διάρκεια παραγωγής του ελαιόλαδου έχει σαν αποτέλεσμα την παραλαβή ελαιόλαδου με χαμηλή οξύτητα. Υψηλότερη οξύτητα αποκτούν τα ελαιόλαδα όταν ο ελαιόκαρπος έχει αποθηκευτεί για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή διευκολύνεται η ανάπτυξη ικανού αριθμού μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα την αύξηση της υδρόλυσης των γλυκεριδίων και την παραγωγή ελεύθερων λιπαρών οξέων, ενώ παράλληλα, σε μικρότερο ποσοστό, παράγονται λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας (οξικό, προπιονικό, βουτυρικό, ισοβουτυρικό κ.ά.) τα οποία μαζί με άλλες δυσάρεστες στην οσμή ουσίες αποδίδουν στο έλαιο χαρακτηριστική οσμή που είναι γνωστή και ως ατροχάδο. Η υδρόλυση των τριγλυκεριδίων, αποτέλεσμα της οποίας είναι η αύξηση της οξύτητας του ελαιόλαδου, μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι ο βαθμός ωρίμανσης, η υγρασία, η θερμοκρασία, τα ένζυμα και οι μικροοργανισμοί. Η επαφή των τριγλυκεριδίων με το νερό έχει σαν συνέπεια την υδρόλυση. Συνεπώς, η επίδραση υψηλής υγρασίας δημιουργεί προβλήματα τόσο άμεσα καθώς προάγει τη διαδικασία της υδρόλυσης όσο και έμμεσα υποβοηθώντας τη δράση των λιπολυτικών ενζύμων και μικροοργανισμών. Η λιπάση δρα λιπολυτικά στον καρπό της ελιάς, ειδικότερα στις κυψελίδες που έχουν καταστραφεί. Επιπλέον, η λιπολυτική της δράση αυξάνεται σημαντικά σε θερμοκρασίες μεταξύ 35 και 40 °C, ενώ μειώνεται με την πτώση της θερμοκρασίας. Η υδρόλυση λαμβάνει χώρα κατά κύριο λόγο πριν την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Συνεπώς, η οξύτητα εξαιτίας αυτής μεταβάλλεται πολύ λίγο μετά την εξαγωγή του από τον ελαιόκαρπο (ΕΦΕΤ, 2012).

1.4.8.2 Αριθμός υπεροξειδίων

Τα υπεροξειδία είναι χημικές ενώσεις που δημιουργούνται από την επίδραση του οξυγόνου στο ελαιόλαδο. Ο αριθμός των υπεροξειδίων οφείλεται στα υδροϋπεροξειδία, τα οποία είναι προϊόντα του πρωτογενούς σταδίου οξειδωσης των ακόρεστων λιπαρών οξέων των τριγλυκεριδίων. Η οξειδωση μπορεί να είναι ενζυμική ή χημική. Η ενζυμική οξειδωση οφείλεται στην δράση των λιποξειδασών, ενζύμων που υπάρχουν στον ελαιόκαρπο. Όταν το ελαιόλαδο διαχωρίζεται από τα απόνερα στο ελαιοτριβείο, αυτά τα ένζυμα που είναι υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες απομακρύνονται με τα απόνερα. Με αυτό τον τρόπο το ελαιόλαδο παύει να υπόκειται στην δράση των ενζύμων. Η χημική οξειδωση γίνεται κατά την διάρκεια της συντήρησης του ελαιόλαδου μέσω ενός μηχανισμού σχηματισμού ελεύθερων ριζών.

Παράγοντες που επηρεάζουν το αριθμό υπεροξειδίων

Η εφαρμογή ορθών γεωργικών πρακτικών κατά την καλλιέργεια και συγκομιδή, η τήρηση ορθών πρακτικών αποθήκευσης, καθώς και η εφαρμογή των κανόνων ορθής βιομηχανικής πρακτικής καθ' όλη τη διαδικασία παραγωγής του ελαιόλαδου στο ελαιοτριβείο προάγουν την παραγωγή ελαιόλαδου με χαμηλό αριθμό υπεροξειδίων. Τα ένζυμα της λιποξειδάσης δρουν οξειδωτικά όσο υπάρχει επαφή ανάμεσα στο λάδι και στα απόνερα, είτε λόγω του ότι οι κυψελίδες έχουν σπάσει κατά την διάρκεια της συγκομιδής και αποθήκευσης ή κατά την διάρκεια του σπασίματος και των λειτουργιών της αλέσεως. Η δράση των λιποξειδασών ποικίλλει ανάλογα με την θερμοκρασία, αλλά

αυτά τα ένζυμα είναι ενεργά ακόμη και στους -40 °C. Η χημική οξείδωση ευνοείται από το φως, την υψηλή θερμοκρασία, την παρουσία οξυγόνου, και μεταλλικών στοιχείων. Όταν η συγκέντρωση των υπεροξειδίων ξεπεράσει τα 20 mg/kg ελαιόλαδου, τότε το ελαιόλαδο έχει υποστεί οξειδωτικές ή άλλες αλλοιώσεις και συνδέονται με μείωση της διάρκειας ζωής του. Συνεπώς, ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των υπεροξειδίων μας επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ηλικία και το είδος της αποθήκευσης (υπό τις ενδεδειγμένες ή μη συνθήκες) του ελαιόλαδου (ΕΦΕΤ, 2012, Mailer et al, 2006).

1.4.8.3 Απορρόφηση στο υπεριώδες K₂₃₂-K₂₇₀

Η φασματοφωτομετρική εξέταση στο υπεριώδες είναι οι απορροφήσεις στα μήκη κύματος 232nm και 270nm, συμβατικά παριστάμενες με K. Ο δείκτης ΔK ορίζεται ως μαθηματική σχέση υπολογισμού συντελεστών απορρόφησης υπεριώδους ακτινοβολίας.

$$\Delta K = K_m - \frac{K_{m-4} + K_{m+4}}{2}$$

όπου K_m είναι ο δείκτης απορρόφησης σε μήκος κύματος m, το μήκος κύματος μέγιστης απορρόφησης γύρω από τα 270nm.

Η απορρόφηση στα 232nm οφείλεται στα:

- Υδροϋπεροξειδία, τα οποία παράγονται σε ένα πρωταρχικό στάδιο οξείδωσης.
- Συζυγή διένια, τα οποία παράγονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση οξείδωσης.

Η τιμή του συντελεστή απορρόφησης K₂₃₂ αυξάνεται όταν ο ελαιόκαρπος αποθηκεύεται για πολλές ημέρες μέχρι την έκθλιψη του και το ελαιόλαδο έχει αποθηκευτεί σε ακατάλληλες συνθήκες.

Η απορρόφηση στα 270nm οφείλεται στις:

- Καρβονυλικές ομάδες (κετόνες και αλδεΐδες), οι οποίες είναι δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης.
- Συζυγή τριένια, τα οποία παράγονται όταν το ελαιόλαδο υποβάλλεται σε βιομηχανική επεξεργασία.

Η τιμή του συντελεστή απορρόφησης K₂₇₀ εξαρτάται από το πόσο φρέσκο είναι το ελαιόλαδο. Παλαιά ελαιόλαδα ή μείγματα με παλαιά ελαιόλαδα έχουν αυξημένες τιμές του K₂₇₀. Επιπλέον, η τιμή του K₂₇₀ είναι πολύ χαμηλή αμέσως μετά την εμφιάλωση και αυξάνεται με την πάροδο της ηλικίας του ελαιόλαδου. Η έκθεση του ελαιόλαδου στην ηλιακή ακτινοβολία ή σε υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν την πρόοδο της γήρανσης.

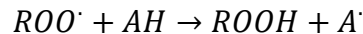
Παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση στο υπεριώδες, σαν κριτήριο ποιότητας

Λαμβάνοντας υπ' όψη το γεγονός ότι οι ουσίες που είναι υπεύθυνες για την απορρόφηση στο υπεριώδες (ως κριτήριο ποιότητας), είναι προϊόντα οξειδωτικών αντιδράσεων, είναι προφανές ότι ο αέρας, το φως, η θερμοκρασία και τα ίχνη μεταλλικών στοιχείων είναι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση στο υπεριώδες (ΕΦΕΤ, 2012).

1.4.8.4 Φαινολικές ενώσεις

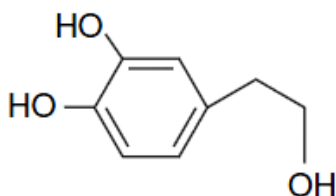
Το παρθένο ελαιόλαδο περιέχει φαινολικές ουσίες, που επηρεάζουν τη σταθερότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του. Ως φαινόλες ορίζονται οι ενώσεις που έχουν τουλάχιστον ένα βενζολικό δακτύλιο και ένα ή περισσότερα υδροξύλια στον δακτύλιο αυτό. Οι φαινόλες είναι πολικές ενώσεις, κατά κανόνα υδατοδιαλυτές, ελάχιστα λιποδιαλυτές και με έντονη αντιοξειδωτική δράση. Οι φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου προέρχονται κατά κύριο λόγο από τον καρπό, αλλά σε ένα μικρό βαθμό και από τα φύλλα της ελιάς που για κάποιο λόγο δεν απομακρύνθηκαν στο στάδιο της αποφύλλωσης και κατέληξαν να αλέθονται με τον καρπό.

Η τυροσόλη (4-υδροξυφαιναίθυλο αλκοόλη) και η υδροξυ-τυροσόλη (3,4- δι-υδροξυφαιναίθυλο αλκοόλη) συνήθως αναφέρονται ως οι κύριες φαινολικές ουσίες μαζί με την ελαιοευρωπαΐνη. Άλλες φαινολικές ενώσεις που περιέχονται στο ελαιόλαδο είναι: το καφεϊκό οξύ, το βανιλικό οξύ, το γαλλικό οξύ, το π-κουμαρικό οξύ, το ο-κουμαρικό. Η περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις διαφέρει από έλαιο σε έλαιο. Όταν η περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις υπερβεί τα 300 mg/kg, το ελαιόλαδο μπορεί να έχει μια πικρή γεύση. Η ελαιοευρωπαΐνη συμβάλει σημαντικά στην πικρή γεύση του ελαίου. Ωστόσο, η υψηλή περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες είναι ευεργετική στην διάρκεια ζωής του λαδιού και έχει αποδειχθεί ότι οι ολικές φαινόλες συμβάλουν σημαντικά στην οξειδωτική σταθερότητα του ελαιόλαδου. Δρουν ως αντιοξειδωτικά στο παρθένο ελαιόλαδο, δίνοντας μια ρίζα υδρογόνου στο προϊόν του σταδίου του πολλαπλασιασμού της οξείδωσης και δημιουργείται μια σταθερή ρίζα (A[·]). Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η:

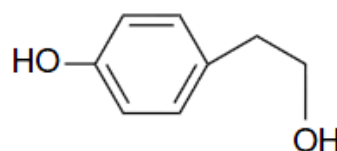


Μεταξύ των διαφόρων φαινολικών ενώσεων που δοκιμάστηκαν για τη συμβολή τους στη σταθερότητα του ελαιόλαδου, η υδροξυ-τυροσόλη και το καφεϊκό οξύ βρέθηκαν να είναι τα πιο ισχυρά αντιοξειδωτικά (Velasco et al, 2002, Tsimidou et al, 2003, Τζίκα, 2008, Aparicio et al, 2013).

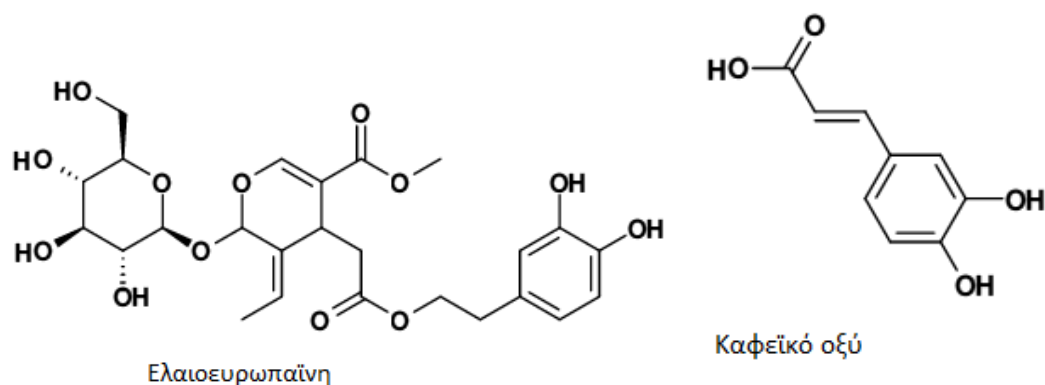
Οι φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου αναφέρονται ορισμένες φορές ως πολυφαινόλες. Ο όρος αυτός είναι συμβατικός επειδή δεν αποτελούν όλες οι φαινόλες πολύ-υδρόξυ παράγωγα (Τζίκα, 2008).



Υδροξυ-τυροσόλη



Τυροσόλη



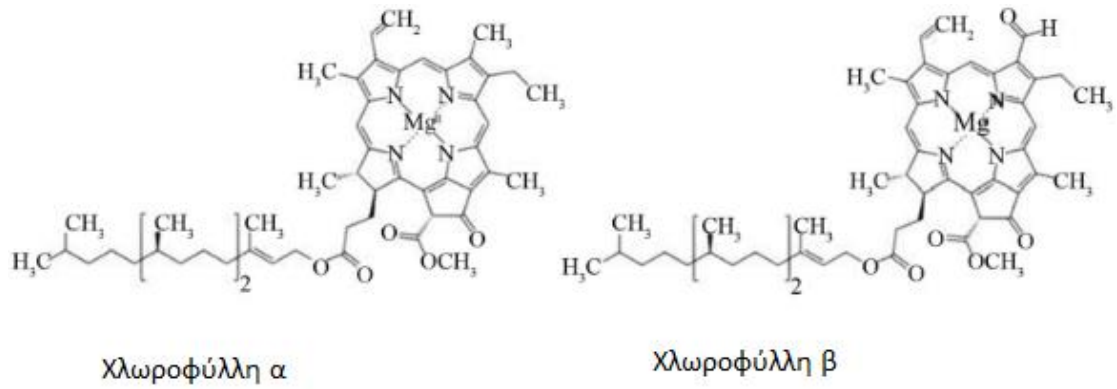
Εικόνα 1.6: Δομή των κυριότερων φαινολικών ενώσεων (Tsimidou et al, 2003, Τζίκια, 2008).

1.4.8.5 Χλωροφύλλες-Καροτένια

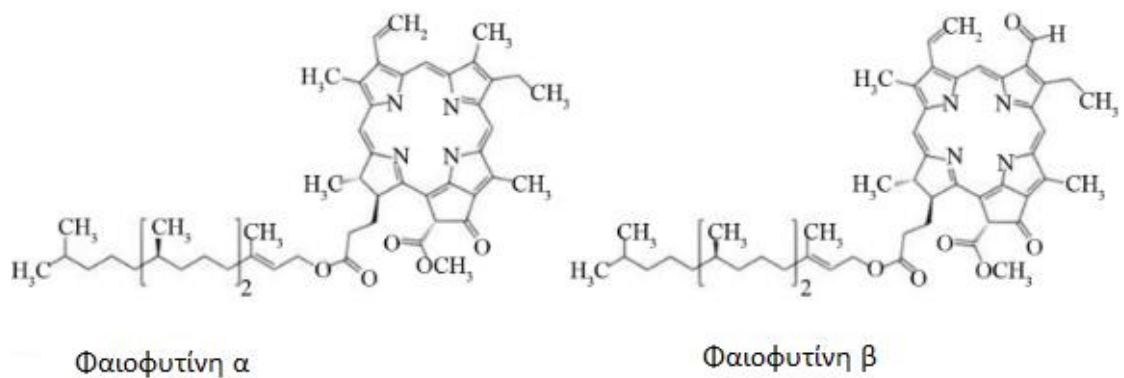
Οι χλωροφύλλες και τα καροτένια είναι υπεύθυνα για το κίτρινο/πράσινο χρώμα του ελαιόλαδου.

Στο ελαιόλαδο περιέχονται οι χλωροφύλλες α και β, οι οποίες έχουν πράσινο χρώμα και οι φαιοφυτίνες α και β, οι οποίες έχουν καφέ χρώμα. Οι χλωροφύλλες α και β μπορούν να βρεθούν στα φρέσκα έλαια. Η διαφορά ανάμεσα στις χλωροφύλλες α και β βρίσκεται στην αλδεϋδική ομάδα που έχει η β χλωροφύλλη αντί για μεθύλιο στο τρίτο άτομο άνθρακα. Οι χλωροφύλλες που περιέχονται στο παρθένο ελαιόλαδο κυμαίνονται από πολύ μικρές ποσότητες σε πάνω από 30 mg/kg ελαιόλαδου. Το επίπεδο παρουσίας των χλωροφυλλών και των καροτενοειδών στο ελαιόλαδο εξαρτάται από γενετικούς παράγοντες, το βαθμό ωρίμανσης του καρπού και τη τεχνολογία εξαγωγής του ελαιόλαδου. Το επίπεδο μειώνεται καθώς ωριμάζει ο καρπός. Σε περίπτωση απουσίας του φωτός, οι χλωροφύλλες δρουν ως αδύναμα αντιοξειδωτικά, πιθανόν δίνοντας ένα υδρογόνο για να σπάσει την αλυσιδωτή αντίδραση των ελεύθερων ριζών. Σε παρουσία του φωτός αντίθετα έχει αναφερθεί ότι, οι χλωροφύλλες δρουν ως ισχυροί προαγωγοί της οξειδωσης.

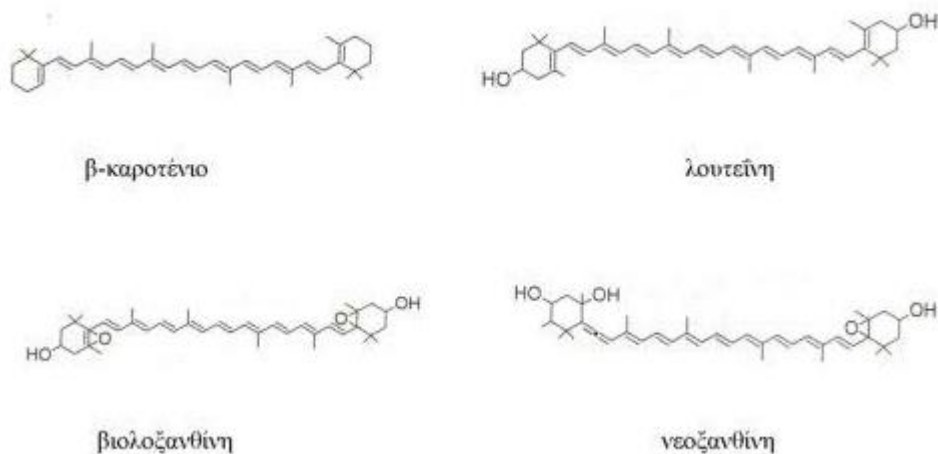
Τα κύρια καροτενοειδή που υπάρχουν στο ελαιόλαδο είναι το β-καροτένιο, η λουτεΐνη, η βιολαξανθίνη και η νεοξανθίνη. Το συνολικό περιεχόμενο των καροτενοειδών στο ελαιόλαδο κυμαίνεται μεταξύ 1 και 20 mg/kg ελαίου, οι φυσιολογικές τιμές τους δεν υπερβαίνουν τα 10 mg/kg (Tsimidou et al, 2003, Τζίκια, 2008). Τα καροτένια και κυρίως το β-καροτένιο είναι προστατεύουν το ελαιόλαδο από την οξειδωση, ενεργώντας ως απλοί καταστολείς οξυγόνου. Απουσία φωτός, τα καροτενοειδή και τα προϊόντα οξειδωσής τους μπορούν να δράσουν προοξειδωτικά στα φυτικά έλαια (Velasco et al, 2002).



Εικόνα 1.7: Δομή των χλωροφυλλών α και β (Ching-Yun Hsu et al, 2013).



Εικόνα 1.8: Δομή των φαιοφυτίνων α και β (Ching-Yun Hsu et al, 2013).



Εικόνα 1.9: Η δομή των κυριότερων καροτενοειδών που απαντώνται στο ελαιόλαδο (Τζίκα, 2008).

1.4.8.6 Ελεύθερα λιπαρά οξέα

Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα είναι λιπαρά οξέα που έχουν διασπαστεί από τα μόρια του ελαίου ή των τριγλυκεριδίων. Η αναλογία των ελεύθερων λιπαρών οξέων είναι μεταβλητή και εξαρτάται από το βαθμό της υδρόλυσης των τριγλυκεριδίων. Όμως, η σύνθεση των λιπαρών οξέων του ελαιόλαδου ποικίλλει ανάλογα με την ποικιλία, τις κλιματολογικές συνθήκες και την τοποθεσία της παραγωγής (Aparicio et al, 2013). Κάθε

παρτίδα του ελαίου θα πρέπει να ελέγχεται για τα ελεύθερα λιπαρά οξέα. Οι ελιές όψιμης συγκομιδής τείνουν να έχουν υψηλότερα ποσοστά ελεύθερων λιπαρών οξέων. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μπορούν να επηρεάσουν την οργανοληπτική αξία του ελαίου (Mailer et al, 2006).

Το προφίλ των λιπαρών οξέων είναι ένα μέτρο των αναλογιών των επιμέρους λιπαρών οξέων του ελαιόλαδου και επομένως είναι ένας σημαντικός παράγοντας της ποιότητας ελαίου. Τα ποσοστά των διαφορετικών λιπαρών οξέων μπορεί να επηρεάσουν την οξειδωτική σταθερότητα του ελαίου καθώς και τον προσδιορισμό της θρεπτικής αξίας του. Μερικά λιπαρά οξέα θεωρούνται καλύτερα από άλλα. Για παράδειγμα, το ελαιϊκό οξύ είναι το πιο επιθυμητό διατροφικά λιπαρό οξύ. Το λινολενικό οξύ, με τρεις διπλούς δεσμούς, είναι το πιο χημικά δραστικό και ως εκ τούτου ανεπιθύμητο από άποψη σταθερότητας. Το παλμιτικό οξύ είναι ένα κορεσμένο λιπαρό οξύ και είναι επίσης ανεπιθύμητο (Mailer et al, 2006).

1.5 Ένζυμα ελαιόλαδου

Στο ελαιόλαδο περιέχονται και ενδογενή ένζυμα όπως πηκτινάσες, λιπάσες, λιποξυγενάσες, υδροϋπεροξειδιακές λυάσες, β-γλυκοσιδάσες, υπεροξειδάσες, και πολυφαινολικές οξειδάσες. Τα ένζυμα αυτά εξάγονται από τον καρπό της ελιάς. Οι σημαντικότερες κατηγορίες ενδογενών ενζύμων είναι η β-γλυκοζιδάση, η οποία υδρολύει τους φαινολικούς γλυκοζίτες, η λιποξυγενάση, η υπεροξειδάση και η πολυφαινολική οξειδάση (Hbaied et al, 2015).

Η λιποξυγενάση προκαλεί την οξείδωση των ακόρεστων λιπαρών οξέων με αποτέλεσμα το σχηματισμό ανεπιθύμητων ελευθέρων ενώσεων που καταστρέφουν πρωτεΐνες και βιταμίνες. Επιπλέον, συντελούν και σε σχηματισμό υπεροξειδίων που οδηγούν σε δυσάρεστη γεύση και οσμή του ελαιόλαδου (Andreou et al, 2015).

Η πολυφαινολική οξειδάση είναι υπεύθυνη για την ενζυμική οξείδωση των πολυφαινολών οδηγώντας σε σκουρόχρωμα ελαιόλαδα. Η πολυφαινολική οξειδάση είναι το κύριο ένζυμο που συμμετέχει στην οξείδωση των μονοφαινολών και των ο-διφαινολών. Η οξείδωση τους περιλαμβάνει δυο αντιδράσεις: την υδροξυλίωση των μονοφαινολών σχηματίζοντας ο-διφαινόλες και την οξείδωση αυτών σε ο-κινόνες. Οι κινόνες που σχηματίζονται πολυμερίζονται και αντιδρούν δευτερογενώς με άλλες ενώσεις προς δημιουργία καστανών ή μελανών χρωστικών (Andreou et al, 2015, Hbaied et al, 2016).

Η υπεροξειδάση είναι μια γλυκοπρωτεΐνη η οποία καταλύει την οξείδωση των φαινολικών ενώσεων σε πολύ δραστικά και εύκολα πολυμεριζόμενα ενδιάμεσα ελευθέρων ριζών μέσω είτε υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) είτε οργανικών υπεροξειδίων ως οξειδωτικό μέσο (Hbaied et al, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Τα βασικά στάδια της μεθόδου εξαγωγής του ελαιόλαδου από τον καρπό είναι πρώτα από όλα η συγκομιδή και η άλεση των ελαιόκαρπων, έπειτα η μάλαξη της πάστας και τέλος ο διαχωρισμός του ελαιόλαδου. Παρακάτω περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες τα στάδια της διαδικασίας παραλαβής του ελαιόλαδου.

2.2 Συγκομιδή του ελαιόκαρπου

Σοβαρά προβλήματα στη παραδοσιακή καλλιέργεια της ελιάς αλλά και η τεράστια εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας είχαν ως αποτέλεσμα τα τελευταία 30 χρόνια τον επανασχεδιασμό των ελαιώνων και την εντατικοποίηση της καλλιέργειας. Τα κυριότερα αίτια της εντατικοποίησης αυτής είναι η αύξηση σε ανάγκες ελαιοκομικών προϊόντων, καθώς και η τεχνολογική, οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Η χαμηλή παραγωγικότητα και το υψηλό κόστος παραγωγής των παραδοσιακών ελαιώνων, ειδικά για τη συγκομιδή ήταν επίσης ένας λόγος της αναζήτησης νέων και πιο παραγωγικών μορφών καλλιέργειας (Vossen, 2007, Βέμμος, 2009). Όσο περισσότερα δέντρα φυτεύονται ανά στρέμμα, τόσο πιο γρήγορα τα δένδρα καρποφορούν, γεγονός που κάνει το σύστημα αυτό περισσότερο επιθυμητό στους επενδυτές και τους καλλιεργητές (Aragicio et al, 2013). Τα συστήματα καλλιέργειας που λειτουργούν σήμερα στην παραγωγή ελαιόλαδου είναι τρία, το παραδοσιακό σύστημα, το σύστημα πυκνής φύτευσης (high-density) και το σύστημα υπερπυκνής φύτευσης (superhigh density).

2.2.1 Παραδοσιακό Σύστημα

Το παραδοσιακό σύστημα παραγωγής ελαιόλαδου εφαρμόζεται σε ξηρές καλλιεργούμενες εκτάσεις κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου, όπου τα ελαιόδεντρα απέχουν συνήθως μεταξύ τους περίπου 8 έως 18 μέτρα. Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται από την απουσία συστηματικής καλλιέργειας (Βέμμος, 2009). Οι αποδόσεις του συστήματος αυτού είναι αρκετά χαμηλές με μεγάλη καθυστέρηση πριν από την πλήρη παραγωγή (15-40 χρόνια) και μεγάλη διαφορά στην καρποφορία. Η συγκομιδή των δέντρων που καλλιεργούνται με το παραδοσιακό σύστημα δεν είναι αποδοτική. Γίνεται με τα χέρια ή με βίαια κτύπημα των καρπών με χρήση μακριών ράβδων επάνω σε δίχτυα (Aragicio et al, 2013, Vossen, 2007, Κώτσιου, 2015). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει μειονεκτήματα, όπως ο τραυματισμός τόσο του δέντρου όσο και του καρπού και η μόλυνση του καρπού που πέφτει στο έδαφος από βακτήρια, μύκητες (Κώτσιου, 2015). Η συγκομιδή των δέντρων με μηχανικούς δονητές είναι δύσκολη και δαπανηρή, επειδή οι κορμοί των ελιών είναι μεγάλοι και μόνο επιμέρους κλαδιά δονούνται, όχι όλο το δέντρο (Vossen, 2007). Το θετικό χαρακτηριστικό του παραδοσιακού συστήματος είναι ότι τα δέντρα που καλλιεργούνται είναι όμορφα, μεγαλειώδη και κάποια πολύ μεγάλα σε ηλικία, με μεγάλη ποικιλία και ενδιαφέρον στη γεύση του ελαιόλαδου που παράγουν (Aragicio et al, 2013).



Εικόνα 2.1: Παραδοσιακός ελαιώνας στην Ελλάδα.

2.2.2 Σύστημα πυκνής φύτευσης

Οι ελαιώνες πυκνής φύτευσης ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 για να επιτευχθεί η πλήρης παραγωγή σε αρδευόμενες καλλιέργειες ταχύτερα σε αντίθεση με το παραδοσιακό σύστημα. Τα δέντρα φυτεύονται συνήθως με την εν-σειρά απόσταση τους πιο κοντά από ότι είναι η μεταξύ σειρών απόσταση τους για να δημιουργηθούν δεντροστοιχίες. Η συγκομιδή των ελαιόδεντρων στο σύστημα πυκνής φύτευσης γίνεται με δονητές κορμού. Το σύστημα έχει μεγάλη προσαρμοστικότητα και εξυπηρετεί κάθε ποικιλία ελιάς, τύπο χώματος και εδάφους. Σε απότομες εκτάσεις όπου τρακτέρ και μηχανικοί δονητές δεν μπορούν να λειτουργήσουν, τα δέντρα συλλέγονται με τον παραδοσιακό τρόπο (χέρια, ραβδιά). Σε μερικά μεγάλα περιβόλια με επίπεδο έδαφος η συγκομιδή γίνεται με πολύ μεγάλους over-the-row δονητές, που περιβάλλουν ολόκληρο το δέντρο. Κινούνται από δέντρο σε δέντρο χωρίς διακοπή, με δονούμενες ράβδους που χτυπούν τον καρπό προς ιμάντες που τον μεταφέρουν σε ένα ρυμουλκούμενο που κινείται σε μια διπλανή σειρά.



Εικόνα 2.2: Ελαιώνας πυκνής φύτευσης στην Αργεντινή.

Τα συνολικά οφέλη του συστήματος υψηλής πυκνότητας είναι σημαντικές αυξήσεις στις αποδόσεις, συνήθως το διπλάσιο ή τριπλάσιο από ό,τι είχε επιτευχθεί με το παραδοσιακό σύστημα. Επιπλέον οι καλλιέργειες φτάνουν σε πλήρη παραγωγή νωρίτερα σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα (6-7 χρόνια), έχουν λιγότερες διαφορές στην καρποφορία και είναι πιο αποτελεσματικές στη συγκομιδή. Τα κύρια προβλήματα με το σύστημα πυκνής φύτευσης είναι ότι τα δέντρα εξακολουθούν να απαιτούν πολλά χρόνια για να φτάσουν σε πλήρη παραγωγικότητα, το κόστος συγκομιδής είναι υψηλό και υπάρχει αδυναμία στον έλεγχο της ανάπτυξης των δέντρων (συνωστισμός, αλληλοσκίαση) (Aparicio et al, 2013, Vossen, 2007, Βέμμος, 2009).

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται αποτελεσματικά σε Αργεντινή, Αυστραλία, Χιλή, Ιταλία, Πορτογαλία και Ισπανία (Aparicio et al, 2013).

2.2.3 Σύστημα υπερπυκνής φύτευσης

Επιτυχείς ελαιώνες με το σύστημα υπερπυκνής φύτευσης έγιναν για πρώτη φορά από καλλιεργητές στην Καταλονία της Ισπανίας στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Στόχος της εισαγωγής του συστήματος είναι η πλήρης εκμηχάνιση της συλλογής των καρπών για τη μείωση του κόστους παραγωγής. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί συγκεκριμένες ποικιλίες, τα δέντρα φυτεύονται σε αποστάσεις 1-1,5 μέτρα σε μια σειρά και 3-5 μέτρα μεταξύ των σειρών. Εφαρμόζεται εκτός της Ισπανίας, που είναι η κύρια χώρα εφαρμογής του, στις ΗΠΑ (Καλιφόρνια), Χιλή, Αργεντινή, Αυστραλία ενώ δοκιμάζεται επίσης στην Τυνησία, Μαρόκο, Ιταλία, Γαλλία, Πορτογαλία, Ισραήλ, και άλλες ελαιοπαραγωγικές χώρες. Τα τελευταία χρόνια άρχισε να διαδίδεται και στη χώρα μας (Vossen, 2007, Βέμμος, 2009).

Οι τρεις πιο γνωστές ποικιλίες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα υπερπυκνής φύτευσης μέχρι σήμερα είναι: *Arbequina*, *Arbosana* και *Κορωνέικη*.

- Η ποικιλία ***Arbequina*** αποτελεί την πιο ευρέως καλλιεργήσιμη ποικιλία εδώ και πολλά χρόνια στο σύστημα πυκνής φύτευσης και ιδιαίτερα στο σύστημα υπερπυκνής φύτευσης. Είναι ποικιλία που συγκομίζεται πρώιμα, έχει πολύ καλής ποιότητας λάδι με φρουτώδη γεύση. Παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα στην παραγωγή και είναι ανθεκτική στο κρύο.
- Η ποικιλία ***Arbosana*** έχει καρπούς που μοιάζουν πολύ με αυτούς της *Arbequina*, όμως ωριμάζουν λίγο αργότερα και έχουν λιγότερο σφρίγος (*vigor*) σε σύγκριση με την *Arbequina*. Είναι πολύ παραγωγική και με σταθερές αποδόσεις. Το λάδι της είναι εξαιρετικής ποιότητας, περισσότερο πικάντικο και πικρό από αυτό της *Arbequina*. Επίσης είναι πολύ ανθεκτική στο κρύο.
- Η ***Κορωνέικη*** είναι μια από τις κύριες ποικιλίες ελιάς στην Ελλάδα, παράγει εξαιρετικό λάδι, έχει ετήσια μεγάλη παραγωγή και πρώιμη καρποφορία. Έχει περίπου το ίδιο σφρίγος με την *Arbequina*, αλλά μικρότερο μέγεθος καρπών. Είναι ευαίσθητη στο κρύο. Η ποιότητα του λαδιού της είναι εξαιρετική, δεν είναι πολύ πικρό και είναι αρκετά πικάντικο (Vossen, 2007, Αρβανίτης, 2009).



Εικόνα 2.3:Ελαιώνας υπερπυκνής φύτευσης στην Καλιφόρνια.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το σύστημα υπερπυκνής φύτευσης είναι πολλά. Τα ελαιόδεντρα αναπτύσσονται πρόωρα, τείνουν να παράγουν μια καλή σοδειά κάθε χρόνο, ξεκινούν την καρποφορία σε νεαρή ηλικία και παράγουν λάδι με εξαιρετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά (Aragicío et al, 2013, Vossen, 2007). Ωστόσο, οι ποικιλίες αυτές που εφαρμόζεται το σύστημα υπερπυκνής φύτευσης δεν είναι ποικιλίες νάνοι και επομένως χρειάζονται περιορισμένη ύδρευση, γονιμοποίηση την κατάλληλη στιγμή και συγκεκριμένο τρόπο κλαδέματος (Aragicío et al, 2013). Επίσης, απαιτείται υψηλότερο

κόστος αρχικής εγκατάστασης (περισσότερα δέντρα ανά στρέμμα) και το συνολικό κόστος της εγκατάστασης είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με το σύστημα πυκνής φύτευσης. Το σύστημα υπερπυκνής φύτευσης απαιτεί ένα υψηλό βαθμό τεχνικής ικανότητας από τον χειριστή της καλλιέργειας, λόγω της απαίτησης διαχείρισης του μεγέθους, έκθεσης στο φως και της ευαισθησίας σε ασθένειες λόγω των μικρών αποστάσεων μεταξύ των δέντρων (Aragicio et al, 2013, Vossen, 2007, Βέμμος, 2009). Μερικοί ερευνητές πιστεύουν ότι το σύστημα αυτό να εξακολουθεί να είναι σε πειραματικό στάδιο και ότι δεν έχει αποδειχθεί μακροπρόθεσμα η αποτελεσματικότητά του. Η ποιότητα του παραγόμενου λαδιού, αν και δεν έχει μελετηθεί αρκετά, μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά από την έντονη αλληλοσκίαση των δένδρων (Aragicio et al, 2013, Βέμμος, 2009).



Εικόνα 2.4: Μηχάνημα συγκομιδής ελαιόδεντρων.

2.3 Πλύσιμο και αφαίρεση φύλλων

Πρώτα γίνεται ο καθαρισμός και η διαλογή των καρπών, που περιλαμβάνει απομάκρυνση ξένων προσμίξεων και καρπών προσβεβλημένων από ασθένειες. Τα περισσότερα ελαιοτριβεία χρησιμοποιούν μεταφορικές ταινίες και ανεμιστήρες για να απομακρύνουν τα φύλλα και άλλα υπολείμματα. Η απομάκρυνση των φύλλων είναι απαραίτητη, επειδή σε μεγάλες ποσότητες η χλωροφύλλη επιδρά αρνητικά στη διατήρηση της ποιότητας, επιταχύνοντας την οξείδωση του ελαιόλαδου. Στη συνέχεια ακολουθεί το πλύσιμο του καρπού με καθαρό νερό. Οι ελιές πλένονται μόνο εφόσον έχουν συλλεχθεί από το έδαφος, επειδή η επιπλέον υγρασία μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα της εκχύλισης, αφού σχηματίζονται γαλακτώματα νερού-ελαίου (Vossen, 2007, Τζια, 1987, Γαλαζούλας, 2003).

2.4 Άλεση ή σύνθλιψη

Οι ελιές συνθλίβονται για να σπάσουν τα κύτταρα και να απελευθερωθεί το λάδι για ευκολότερη εκχύλιση. Κατά την θραύση των καρπών χρειάζεται προσοχή για να αποφεύγεται η αύξηση της θερμοκρασίας της ελαιόπαστας. Οι δύο βασικοί τύποι μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την έκθλιψη του ελαιόκαρπου είναι: πετρόμυλος και σφυρόμυλος. Οι περισσότερες ελιές συνθλίβονται με το κουκούτσι και το μέγεθος των θραυσμάτων του κουκουτσιού ορίζει την ποιότητα της πάστας (Vossen, 2007, Τζια, 1987).

Τα ελαιοτριβεία με πέτρα αποτελούν την παλαιότερη μέθοδο. Η αργή κίνηση μυλοπετρών δεν θερμαίνει την πάστα και έχει ως αποτέλεσμα τη λιγότερη γαλακτωματοποίηση, έτσι ώστε το λάδι να εξαγάγεται με μεγαλύτερη ευκολία. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι: τα ογκώδη μηχανήματα και η βραδύτητα τους, το υψηλό κόστος και η αδυναμία τους να λειτουργούν συνεχώς. Σε αντίθεση, το μεγάλο πλεονέκτημα των σφυρόμυλων είναι η ταχύτητα και η συνεχής λειτουργία τους, η οποία μεταφράζεται σε υψηλή απόδοση, μικρό μέγεθος και χαμηλό κόστος. Η ταχεία σύνθλιψη του καρπού, ωστόσο, δημιουργεί περισσότερες γαλακτωματοποιήσεις μεταξύ ελαίου και νερού εντός της πάστας καθώς και υψηλότερες θερμοκρασίες. Ελαιόλαδο που παράγεται από έναν σφυρόμυλο έχει γενικότερα ισχυρότερη γεύση επειδή ο πολτός διασπάται περισσότερο. Τα περισσότερα πέτρινα ελαιοτριβεία έχουν αντικατασταθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών, λόγω της αναποτελεσματικότητάς τους. Ωστόσο, ορισμένοι παραγωγοί προτιμούν αυτή τη μέθοδο για ποικιλίες με υπερβολικά έντονη γεύση (Vossen, 2007).

2.5 Ανάμιξη της πάστας ελιάς (Μάλαξη)

Η μάλαξη αποτελεί το πιο σημαντικό στάδιο της επεξεργασίας του ελαιόκαρπου καθώς προετοιμάζει την πάστα για το διαχωρισμό του ελαίου. Συντελεί στη συνένωση των μικρών σταγονιδίων του ελαίου σε μεγαλύτερες σταγόνες, ώστε να διαχωριστούν πιο εύκολα από την υδατική φάση. Γίνεται για να αντιστραφεί η γαλακτωματοποίηση που συνέβη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της σύνθλιψης και είναι ιδιαίτερα σημαντική εάν η πάστα παρήχθη σε έναν σφυρόμυλο. Ιδανικά, ο μαλακτήρας έχει σχεδιαστεί για να εξασφαλίζει πλήρη ανάμιξη της πάστας, η οποία επιτυγχάνεται με περιστρεφόμενο έλικα, που φέρει μικρό αριθμό πτερυγίων. Η πάστα αναδεύεται με αργό ρυθμό για 30 έως 60 min. Η θερμοκρασία της πάστας κατά τη διάρκεια της μάλαξης είναι πολύ σημαντική. Θα πρέπει να είναι ζεστή, 26,6 έως 30 °C, που εξακολουθεί να είναι δροσερή στην αφή, για να βελτιωθεί το ιξώδες του ελαίου και η εκχυλισσιμότητα. Θερμοκρασίες άνω των 30 °C μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα που επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του ελαιόλαδου και ευνοούν την έναρξη της οξειδωτικής τάγγισης. Η τελευταία τάση στη διαχείριση της πάστα ελιάς είναι η απόκλιση του οξυγόνου, το οποίο μπορεί να γίνει είτε πλημμυρίζοντας την επιφάνεια των δεξαμενών ανάμιξης με άζωτο ή ο αποκλεισμός του οξυγόνου με κενό σε ειδικές δεξαμενές μάλαξης. Ο περιορισμός της έκθεσης σε οξυγόνο πιστεύεται ότι μειώνει την ενζυμική δραστηριότητα που μπορεί να διασπάσει πολυφαινόλες, οι οποίες είναι σημαντικές ενώσεις για την γεύση του ελαιόλαδου.

2.6 Εξαγωγή ελαιόλαδου από την ελαιόπαστα

Το επόμενο βήμα είναι η εξαγωγή του λαδιού από την ελαιόπαστα. Το έλαιο μπορεί να εξαχθεί με πίεση, φυγοκέντρηση, επιλεκτική διήθηση ή και με συνδυασμό των διαφόρων μεθόδων.

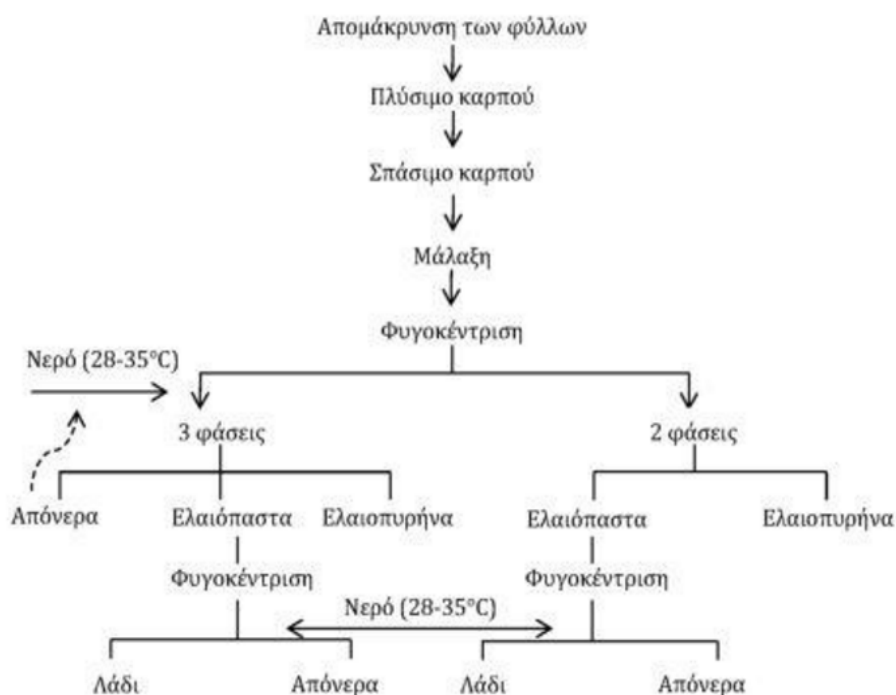
2.6.1 Πίεση

Το σύστημα πίεσης είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους εξαγωγής ελαιόλαδου. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την άσκηση πίεσης σε συστοιχία φίλτρων (stacked filter mats), το καθένα καλυμμένο με περίπου 1,25 cm ελαιόπαστας, που εναλλάσσονται με μεταλλικούς δίσκους (Vossen, 2007). Η διεργασία της πίεσης συνδέεται με ελαιόλαδα υψηλής ποιότητας λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της. Όμως, η μέθοδος αυτή είναι πιο δαπανηρή επειδή απαιτεί περισσότερη εργασία από ό,τι άλλες μέθοδοι εκχύλισης και ο κύκλος της δεν είναι συνεχής. Επιπλέον, τα φίλτρα μπορεί εύκολα να μολυνθούν, εισάγοντας ελαττώματα ζύμωσης και οξείδωσης μέσα στο λάδι. Κατά συνέπεια, η χρήση των παραδοσιακών πιεστηρίων είναι απαρχαιωμένη (Vossen, 2007, Λοϊζίδης, 2009).

2.6.2 Φυγοκέντρηση: τριφασική και διφασική

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος διαχωρισμού του ελαιόλαδου είναι η φυγοκέντρηση δύο ή τριών φάσεων. Οι σύγχρονοι φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες (decanters) είναι μεγάλοι και οριζόντιοι που διαχωρίζουν το λάδι από τα στερεά και το νερό σε πολύ λιγότερο χρόνο από το σύστημα πίεσης. Η τριφασική διαδικασία είναι συνεχής. Η φυγόκεντρη δύναμη κινεί τα βαρύτερα στερεά υλικά προς τα έξω, ένα ελαφρύτερο στρώμα νερού σχηματίζεται στη μέση, με το ελαφρύτερο στρώμα λαδιού στο εσωτερικό. Σε ένα τριφασικό σύστημα, νερό προστίθεται για να κάνει την πάστα να ρέει γύρω από τον φυγοκεντρωτή, αλλά αυτό ξεπλένει λίγο από τη γεύση και τα αντιοξειδωτικά του λαδιού και έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη περιεκτικότητα του ελαιόλαδου σε πολυφαινόλες. Επίσης, οι μεγάλες ποσότητες νερού που απαιτούνται δημιουργούν σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα εξαιτίας της παραγωγής υγρών αποβλήτων.

Το διφασικό σύστημα χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια και αποτελεί παραλλαγή του συστήματος τριών φάσεων. Στο διφασικό σύστημα χρησιμοποιούνται επίσης μεγάλες συσκευές φυγοκέντρησης, που περιστρέφονται σε ένα οριζόντιο άξονα, με το λαδί να διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα συστατικά της ελιάς (πούλπα, νερό), τα οποία έπειτα εξέρχονται μαζί. Δεν χρειάζεται να προστεθεί καθόλου νερό, οπότε υπάρχει καλύτερη διατήρηση των πολυφαινολών. Τα ελαιόλαδα που παράγονται με το διφασικό σύστημα συνήθως παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα φρουτώδης γεύσης, πικράδας και πικάντικη γεύση, αλλά δεν είναι τόσο γλυκά. Επιπλέον, το σύστημα δύο φάσεων δεν παράγει σχεδόν καθόλου λύματα σε σχέση με το σύστημα τριών φάσεων. Τα λύματα δε που παράγει έχουν πολύ χαμηλότερη βιολογική απαίτηση οξυγόνου. Όμως, τα στερεά απόβλητα του είναι αρκετά υγρά και πιο δύσκολο να διαχειριστούν (Vossen, 2007, Γαλαζούλας, 2003).



Εικόνα 2.5: Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής ελαιόλαδου σε φυγοκεντρικά συστήματα διαχωρισμού δύο και τριών φάσεων.

2.6.3 Επιλεκτική διήθηση: διαδικασία *sinolea*

Στη διαδικασία αυτή δεν ασκείται πίεση στην πάστα. Λειτουργεί με αρχή ότι σε μια πάστα που περιέχει έλαιο, στερεά σωματίδια και νερό, το έλαιο μόνο θα προσκολληθεί στο μέταλλο. Το μηχάνημα διαθέτει λεπίδες από ανοξείδωτο ατσάλι που βυθίζονται στην πάστα, το έλαιο που έχει προσκολληθεί τότε στάζει από τις λεπίδες σε ένα ξεχωριστό δοχείο και τα στερεά και το νερό μένουν πίσω. Αυτό παράγει ένα ελαφρύ λάδι με μοναδική ποιότητα. Ο εξοπλισμός είναι περίπλοκος και απαιτεί συχνό καθαρισμό και συντήρηση όπως και μια σταθερή πηγή θερμότητας για να διατηρηθεί η πάστα σε σταθερή θερμοκρασία. Η εξαγωγή διακόπτεται όταν νερό αρχίζει να εμφανίζεται στο λάδι (Vossen, 2007).

2.7 Επεξεργασία των αποβλήτων ελαιοπαραγωγής

Τα απόβλητα των ελαιοτριβείων είναι υγρά και στερεά. Τα υγρά απόβλητα προέρχονται κυρίως από την τριφασική φυγοκέντρωση και αποτελούνται από το νερό που υπάρχει φυσικά στους καρπούς και το νερό που χρησιμοποιείται στα διάφορα στάδια της εξαγωγής του ελαίου. Κάποιοι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι: η εξάτμιση, η χρήση ως οργανικό λίπασμα, η κομποστοποίηση και η εξαγωγή χρήσιμων συστατικών (πολυφαινόλες) (Roig et al, 2006).

Τα στερεά απόβλητα είναι το στερεό υπόλειμμα της ελιάς που απομένει μετά την διαδικασία παραγωγής του λαδιού. Έχει αναφερθεί ότι έχουν υψηλή θερμιδική αξία και έτσι ένας τρόπος αξιοποίησης είναι η ενεργειακή αξιοποίηση τους ως καύσιμο για

σκοπούς θέρμανσης (Christoforou et al, 2016). Στις χώρες με σημαντική παραγωγή ελαιόλαδου, τα στερεά απόβλητα χρησιμοποιούνται για περαιτέρω εξαγωγή ελαίου με χρήση διαλυτών (εξάνιο, βενζόλιο) αφού πρώτα ξηρανθούν (Vossen, 2007, Ντόλια, 2006). Άλλοι τρόποι αξιοποίησης των αποβλήτων είναι η χρήση ως λίπασμα και ζωοτροφή, η εξαγωγή χρήσιμων συστατικών (πηκτίνες, πολυφαινόλες, ένζυμα) και παραγωγή διάφορων προϊόντων (αιθανόλη, ξανθάνη, ενεργοί άνθρακες και βιοαέριο) (Roig et al, 2006, Ντόλια, 2006).

2.8 Αποθήκευση και εμφιάλωση του ελαιόλαδου

Μετά την παραλαβή, το ελαιόλαδο μπορεί να χρειαστεί να αποθηκεύεται για 1-3 μήνες για να διαχωρίσει περαιτέρω οποιαδήποτε υπολείμματα στερεών σωματιδίων και νερού. Αυτό εξαλείφει τη δημιουργία ιζημάτων στις φιάλες. Το ελαιόλαδο αλλοιώνεται προοδευτικά κατά τον χρόνο αποθήκευσης και ο βαθμός αλλοίωσης εξαρτάται από τις συνθήκες αποθήκευσης του. Οι αλλοιώσεις του ελαιόλαδου οφείλονται κατά κύριο λόγο στην οξείδωση, και έπειτα στις ζυμώσεις που λαμβάνουν χώρα στις ουσίες που δεν απομακρύνθηκαν στους διαχωριστήρες ή κατά την διήθηση και οι οποίες καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών αποθήκευσης. Η αποθήκευση του ελαιόλαδου γίνεται σε δεξαμενές, το εσωτερικό των οποίων πρέπει να είναι κατασκευασμένο από αδρανές υλικό, ώστε να καθαρίζονται εύκολα και να αποφεύγεται η απορρόφηση οσμών ή άλλων ουσιών, όπως ίχνη μετάλλων, που επιταχύνουν την οξείδωση. Οι δεξαμενές πρέπει να βρίσκονται σε κλειστό χώρο και το ελαιόλαδο δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και το φως. Πρώτης ποιότητας λάδια πρέπει να αποθηκεύονται σε ανοξείδωτο χάλυβα και να διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία μεταξύ 7,2 έως 18,3°C. Επίσης, δεξαμενές με κωνικό πάτο επιτρέπουν την απομάκρυνση του κατακαθιού (Vossen, 2007, Γαλαζούλας, 2003).

Μερικά λάδια φιλτράρονται πριν την εμφιάλωση για να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα νερού ή στερεά. Το φρέσκο ελαιόλαδο, το οποίο εμφιαλώνεται και πωλείται αμέσως μετά την επεξεργασία, πρέπει να καταναλωθεί άμεσα (μέσα σε περίπου 6 εβδομάδες) για την αποφυγή αλλαγών γεύσης μέσα στο μπουκάλι. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την εμφιάλωση του ελαιόλαδου είναι το γυαλί, ο λευκοσίδηρος, το πλαστικό (PET) όπως επίσης και κάποιες πολυστρωματικές συσκευασίες. Τα γυάλινα δοχεία είναι από τα πιο σημαντικά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μέσα συσκευασίας του λαδιού. Το γυαλί είναι αδρανές υλικό και προστατεύει το λάδι από στερεά, υγρά και αέρια, ανακυκλώνεται και είναι εύκολο στο καθαίρισμα όμως είναι επίσης εύθραυστο, βαρύ, έχει μεγάλο κόστος και ευνοεί την φωτοξείδωση με συνέπεια τη μείωση της διάρκειας ζωής του λαδιού. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται έγχρωμα γυάλινα δοχεία. Ο λευκοσίδηρος είναι ανθεκτικός στη διάβρωση, έχει χαμηλό κόστος και ελαστικότητα και έχει ικανοποιητική εμφάνιση. Επίσης είναι αδιαπέραστο από αέρια, υδρατμούς και φως, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για την αποθήκευση του ελαιόλαδου. Όσον αφορά τις πλαστικές συσκευασίες (τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο), το PET έχει άριστη διαφάνεια, ελάχιστη διαπερατότητα σε υδρατμούς και αέρια καθώς και μεγάλη αντοχή σε οξέα, βάσεις λιπαρά και διαλύτες. Ωστόσο, η αλλοίωση που επέρχεται σε πλαστικούς περιέκτες είναι ταχύτερη από τους

αντίστοιχους γυάλινους. Τέλος, οι πολυστρωματικές συσκευασίες αποτελούν συνδυασμό υλικών όπως χαρτί, πλαστικό, φύλλα αλουμινίου και μετάλλου. Οι συσκευασίες αυτές είναι οικονομικές, ανακυκλώσιμες και προστατεύουν αποτελεσματικά τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του ελαιόλαδου. Δεν είναι όμως πολύ διαδεδομένο για συσκευασία λαδιού κυρίως λόγω των καταναλωτών που έχουν συνηθίσει να κρίνουν ένα ελαιόλαδο από το χρώμα (Vossen, 2007, Γαλαζούλας, 2003).

Η ημερομηνία λήξης του ελαιόλαδου κυμαίνεται μεταξύ 12 με 18 μήνες από την στιγμή της εμφιάλωσης. Η έκθεση στο φως, τη ζέστη και την υγρασία καθώς και η διαθεσιμότητα του οξυγόνου προκαλούν αλλοιώσεις στο ελαιόλαδο. Έχει διαπιστωθεί ότι το ελαιόλαδο που αποθηκεύεται σε σκοτεινό μέρος και σε θερμοκρασία κάτω των 15°C έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, που μπορεί να φτάσει και τα 2 χρόνια, ειδικά όταν το δοχείο παραμένει κλειστό (Γαλαζούλας, 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΑΛΜΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

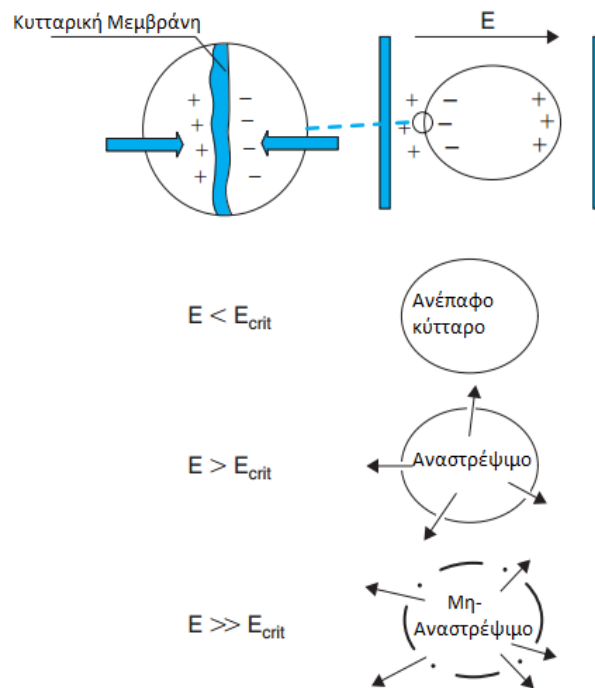
3.1 Ορισμός των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων

Τα Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (Pulsed Electric Fields) είναι μια από τις ανερχόμενες μη θερμικές τεχνολογίες, που χρησιμοποιεί παλμούς υψηλής ηλεκτρικής έντασης και μικρής διάρκειας (από μsec έως msec) με σκοπό την διάτρηση των κυττάρων ενός τροφίμου (Mohamed et al, 2012, Jäger, 2012, Soliva-Fortuny et al, 2009). Ο όρος "Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία" χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια περιοδική αυξομείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε μορφή παλμού, σύμφωνα με τις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού. Η έννοια του παλμού αφορά σε ακαριαία αύξηση και μείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και σε πολύ μικρή διάρκεια. Συχνά χρησιμοποιείται και ο όρος "Παλλόμενα Ηλεκτρικά Πεδία" ο οποίος αναφέρεται σε αυξομείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου όχι όμως απαραίτητα με τη μορφή παλμού (π.χ. ημιτονοειδώς).

Οι μη θερμικές τεχνολογίες σχεδιάστηκαν για να εξαλείψουν τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών κατά την επεξεργασία τροφίμων και έτσι να αποφευχθούν οι αρνητικές επιδράσεις της αύξησης της θερμοκρασίας στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (π.χ. γεύση, εμφάνιση) και τη θρεπτική αξία των τροφίμων (Mohamed et al, 2012, Toerfl et al, 2005). Έτσι, η τεχνολογία των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ) θεωρείται ανώτερη από τις παραδοσιακές θερμικές μεθόδους επεξεργασίας. Επιπλέον, επειδή γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή σε λίγο υψηλότερη, οι ενεργειακές ανάγκες της διεργασίας είναι σχετικά χαμηλές (Αλεξανδράκης, 2015). Άρα, δεν αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία του δείγματος του τροφίμου και λειτουργεί με χαμηλό κόστος (Abenoza et al, 2013).

3.2 Ηλεκτροδιάτρηση

Η τεχνολογία ΠΗΠ βασίζεται σε παλμικά ηλεκτρικά ρεύματα που διανέμονται σε ένα προϊόν, το οποίο τοποθετείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Η εφαρμοζόμενη υψηλή τάση δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο το οποίο επηρεάζει την διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης και μπορεί να προκαλέσει μέχρι και τη διάρρηξη του κυττάρου, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν (Mohamed et al, 2012, Klionowski et al, 2006). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηλεκτροδιάτρηση ή ηλεκτροδιαπερατότητα, είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται συνεχώς στην μοριακή βιολογία με σκοπό την απόκτηση πρόσβασης στο κυτταρόπλασμα προκειμένου να εισαχθούν διαφορετικά μόρια (Puertolas et al, 2012, Klionowski et al, 2006).



Εικόνα 3.1: Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού της ηλεκτροδιάτρησης. Όπου E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και E_{crit} η κρίσιμη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (Toerpfel et al, 2005).

Οι επιδράσεις που εκδηλώνονται σε ένα κύτταρο όταν αυτό εκτεθεί σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να περιγραφεί σε τέσσερα στάδια:

- (α) αύξηση του διαμεμβρανικού δυναμικού της κυτταροπλασματικής μεμβράνης,
- (β) έναρξη του σχηματισμού πόρων στην μεμβράνη,
- (γ) μεταβολές στον αριθμό ή/και στο μέγεθος των πόρων που δημιουργούνται και
- (δ) μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας με ΠΗΠ, η ηλεκτροδιάτρηση μπορεί να είναι είτε αναστρέψιμη, τότε η βιωσιμότητα των διαπερατών κυττάρων μπορεί να διατηρηθεί με την ανάκτηση της ακεραιότητας της μεμβράνης είτε μη αναστρέψιμη, οδηγώντας σε διαρροή των ενδοκυτταρικών ενώσεων ή εισαγωγή εξωκυτταρικών ουσιών μέσα στα κύτταρα (Puertolas et al, 2012).

Στη βιομηχανία τροφίμων, η τεχνολογία ΠΗΠ εφαρμόζεται σε ένα τρόφιμο το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια μέσα σε ένα θάλαμο επεξεργασίας ΠΗΠ, συνήθως σε θερμοκρασία δωματίου. Το φαινόμενο της ηλεκτροδιάτρησης λαμβάνει χώρα επειδή το τρόφιμο είναι ικανό να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα λόγω της παρουσίας πολλών ιόντων, δίνοντας έτσι στο εν λόγω προϊόν ηλεκτρική αγωγιμότητα, σε ένα βαθμό. Με αυτόν τον τρόπο, όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα στο τρόφιμο και μεταφέρεται σε κάθε σημείο του τροφίμου, λόγω των φορτισμένων μορίων που υπάρχουν (Mohamed et al, 2012).

Η ηλεκτροδιάτρηση, η αύξηση δηλαδή της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης, χαρακτηρίζεται ως αναστρέψιμη ή μη αναστρέψιμη ανάλογα με το ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται. Ενδεικτικά, για εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου της τάξεως των 0,1-1 kV/cm, η διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης είναι αναστρέψιμη, για εντάσεις της τάξεως των 0,5-3 kV/cm είναι μη αναστρέψιμη για τα φυτικά και ζωικά κύτταρα και για εντάσεις της τάξεως των 15-40 kV/cm είναι μη αναστρέψιμη για τα μικροβιακά κύτταρα. Οι προαναφερθείσες εντάσεις πεδίου οδηγούν στο σχηματισμό μιας κρίσιμης τιμής, η οποία θεωρείται ότι είναι η προϋπόθεση για τη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης (Jäger, 2012). Έχει βρεθεί ότι η κρίσιμη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου κυμαίνεται στα 1-2 kV/cm για τα φυτικά κύτταρα και στα 10-14 kV/cm για τα μικροβιακά κύτταρα (Toerfl et al, 2005).

3.3 Μέτρηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης

Διάφορες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης. Μερικές από αυτές είναι η παρατήρηση με το μικροσκόπιο, η μέτρηση του υγρού που απελευθερώνεται και η αξιολόγηση της αγωγιμότητας του υγρού που εξέρχεται, καθώς και η μέτρηση του δείκτη κυτταρικής αποσύνθεσης (Z).

Η παρατήρηση με το μικροσκόπιο είναι μια άμεση μέθοδος για τον έλεγχο της ύπαρξης της διαπερατότητας στην κυτταρική μεμβράνη. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην πρόσληψη και την ενεργό συγκράτηση βαφών σε ζωντανά κύτταρα με ανέπαφη μεμβράνη ή παθητική χρώση των περιεχομένων των κυττάρων με χρωστικές που διεισδύουν τις διαπερατές μεμβράνες. Η παρατήρηση με το μικροσκόπιο των κυττάρων πριν, κατά την διάρκεια και μετά την επεξεργασία με ΠΗΠ αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την απόκτηση μιας εικόνας για τους μηχανισμούς διαπερατότητας των κυττάρων.

Όταν η κυτταροπλασματική μεμβράνη είναι διαπερατή, τα ενδοκυτταρικά συστατικά και το υγρό περιεχόμενο του κυττάρου διαχέεται έξω από το κύτταρο. Είναι δυνατόν να εκτιμηθεί ο βαθμός της διάρρηξης του κυττάρου μετρώντας την ποσότητα του υγρού που απελευθερώνεται ή την αλλαγή στην αγωγιμότητα του εξωκυτταρικού υγρού (Puertolas et al, 2012).

Η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας τον δείκτη κυτταρικής αποσύνθεσης (Z). Δείκτης κυτταρικής αποσύνθεσης ορίζεται το ποσοστό των κυττάρων του τροφίμου που έχουν διαρρηχθεί και είναι διαπερατά (Knorr et al, 1998, Puértolas et al, 2013, Guderjan et al, 2005). Με άλλα λόγια, περιγράφει την μετάβαση ενός κυττάρου από άθικτο προς την κατάσταση ρήξης του (Pataro et al, 2011).

Ο δείκτης κυτταρικής αποσύνθεσης, Z υπολογίζεται με χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$Z = 1 - \left(\frac{K_h}{K'_h} \right) \cdot \frac{(K'_h - K'_l)}{(K_h - K_l)}, \text{ με } 0 \leq Z \leq 1 \text{ (2.1)}$$

όπου: K_l, K'_l είναι οι ηλεκτρικές αγωγιμότητες των μη επεξεργασμένων και επεξεργασμένων κυττάρων, αντίστοιχα, σε χαμηλές συχνότητες, 1–5 kHz.

K_h, K'_h είναι οι ηλεκτρικές αγωγιμότητες των μη επεξεργασμένων και επεξεργασμένων κυττάρων, αντίστοιχα, σε υψηλές συχνότητες, 3–50 MHz.

Ο δείκτης κυτταρικής αποσύνθεσης, Z παίρνει τιμές από 0 για τα κύτταρα που είναι ανέπαφα, δεν έχουν επεξεργαστεί με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία, έως 1 για τα κύτταρα που είναι πλήρως διαπερατά (Knorr et al, 1998, Puértolas et al, 2013).

Αυξάνοντας είτε την παρεχόμενη ενέργεια είτε την ένταση του πεδίου κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας με ΠΗΠ, αυξάνεται ο δείκτης κυτταρικής αποσύνθεσης (Guderjan et al, 2007, Pataro et al, 2011). Ωστόσο, για κάθε ένταση πεδίου που εφαρμόζεται, οι τιμές του δείκτη Z συνήθως εμφανίζουν αρχικά μία απότομη αύξηση της κυτταρικής αποσύνθεσης με αύξηση της παρεχόμενης ενέργειας, ενώ μετά με οποιαδήποτε περαιτέρω αύξηση προκαλούνται μόνο οριακές μεταβολές. Αυτό συμβαίνει επειδή επιτυγχάνεται ένα επίπεδο κορεσμού (Pataro et al, 2011). Το ίδιο συμβαίνει με την αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και του αριθμού των παλμών, δηλαδή με αύξηση της έντασης ή του αριθμού των παλμών αρχικά αυξάνεται και ο δείκτης Z . Όταν όμως επιτευχθεί ένα επίπεδο κορεσμού, περαιτέρω αύξηση είτε της έντασης του πεδίου είτε του αριθμού των παλμών δεν μεταβάλλει σημαντικά το ποσοστό κυτταρικής αποσύνθεσης. Πρέπει να αναφερθεί όμως ότι βρέθηκε η επιρροή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου να είναι πιο μεγάλη σε σύγκριση με την αντίστοιχη του αριθμού των παλμών στην διάρρηξη των κυττάρων (De Vito, 2006).

3.4 Παράμετροι της διεργασίας των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων

Οι βασικές παράμετροι της διεργασίας ΠΗΠ είναι:

3.4.1 Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (σε kV/cm)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους της διεργασίας Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων. Η εφαρμογή ενός εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου ικανής έντασης σε κύτταρα, οδηγεί στην διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών. Μόλις η ένταση του πεδίου υπερβεί μια κρίσιμη τιμή, ξεκινούν να σχηματίζονται πόροι στις μεμβράνες των κυττάρων. Όσο αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου τόσο μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάζεται στην διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών. Επίσης η ένταση του πεδίου επηρεάζεται και από το μέγεθος των κυττάρων, για μεγαλύτερα κύτταρα χρειάζονται μεγαλύτερες εντάσεις (Αλεξανδράκης, 2015, Toerpf et al, 2005, FDA, 2015).

3.4.2 Η θερμοκρασία διεργασίας

Η θερμοκρασία διεργασίας έχει σημαντική επίδραση στην ρευστότητα και τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης. Με συνεχή παροχή ηλεκτρικού πεδίου, η διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών αυξάνει καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Επειδή

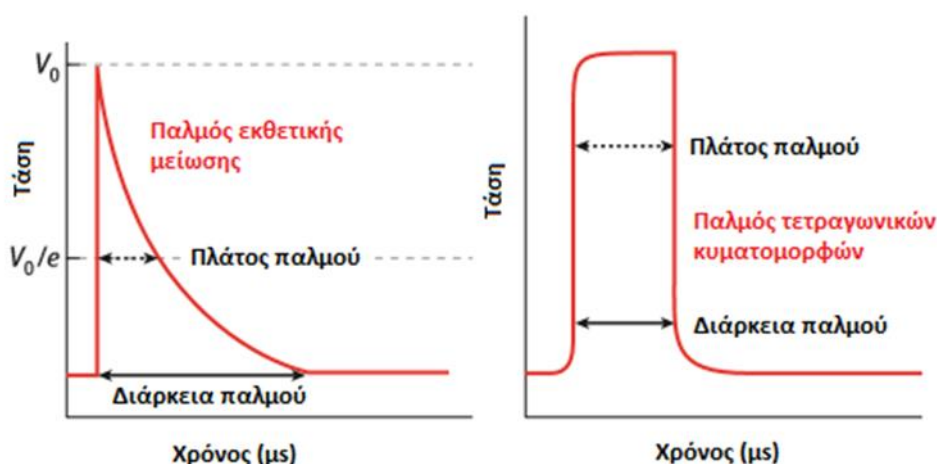
η εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου προκαλεί κάποια αύξηση της θερμοκρασίας στα τρόφιμα, η σωστή ψύξη είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των τροφίμων σε θερμοκρασίες κάτω από αυτές που δημιουργούνται κατά την θερμική παστερίωση (Toepfl et al, 2005, FDA, 2015).

3.4.3 Ο χρόνος διεργασίας (σε msec – msec)

Ο χρόνος της διεργασίας ή αλλιώς ο συνολικός χρόνος της διεργασίας ορίζεται ως το γινόμενο του χρόνου διάρκειας του παλμού και του αριθμού των παλμών που εφαρμόζονται στο τρόφιμο. Άρα, ο χρόνος επεξεργασίας αυξάνεται με αύξηση είτε του αριθμού είτε της διάρκειας των παλμών. Όσο αυξάνεται ο χρόνος επεξεργασίας τόσο αυξάνεται ο ρυθμός διάρρηξης των κυτταρικών μεμβρανών. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι με αύξηση του αριθμού των παλμών αυξάνεται και η συνολική κατανάλωση ενέργειας, ενώ με αύξηση της διάρκειας των παλμών θα αυξηθεί η θερμοκρασία του τροφίμου. Ιδανικές συνθήκες επεξεργασίας λοιπόν είναι αυτές που επιτυγχάνουν το μέγιστο αριθμό διαρρηγμένων κυττάρων με την μικρότερη επίδραση στη θερμοκρασία του τροφίμου (FDA, 2015, De Vito, 2006).

3.4.4 Το σχήμα του παλμού

Οι παλμοί του ηλεκτρικού πεδίου μπορούν να εφαρμοστούν σε μορφή εκθετικής φθίνουσα ή τετραγωνικού αντιστρεπτού παλμού. Τα τετραγωνικά κύματα είναι πιο αποτελεσματικά στην διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών από τους εκθετικούς παλμούς. Η διάρκεια του παλμού για ένα τετραγωνικό παλμό είναι ο χρόνος που η τάση διατηρείται στη μέγιστη τιμή. Στην περίπτωση του εκθετικού παλμού, η διάρκεια παλμού ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί η τάση στο 37% της μέγιστης τιμής της (Puertolas et al, 2012, FDA, 2015).



Εικόνα 3.2 Σχήματα παλμού: Εκθετικός παλμός (αριστερά), τετραγωνικός παλμός (δεξιά) (Puertolas et al, 2012).

3.4.5 Η ειδική ενέργεια (σε kJ/kg)

Η ειδική ενέργεια προτάθηκε ως παράμετρος έντασης και μπορεί να εκτιμηθεί από την αύξηση της θερμοκρασίας του προϊόντος και την ειδική θερμοχωρητικότητα του τροφίμου εκλαμβάνοντας αδιαβατικό σύστημα όπου η ενέργεια που προσδίδεται στο σύστημα μετατρέπεται εντελώς σε θερμότητα. Ακριβέστερα, μπορεί να υπολογιστεί για όλες τις κυματομορφές βασιζόμενη σε σήματα τάσης και ρεύματος που προσδιορίζονται κοντά στα ηλεκτρόδια από την εξίσωση 2.2:

$$W_{pulse} = \int U(t)I(t)dt \quad (2.2)$$

Με βάση την αγωγιμότητα του μέσου και την μετρούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, η ειδική ενέργεια μπορεί επίσης να υπολογιστεί από την εξίσωση 2.3 ως:

$$W_{specific} = f \cdot \frac{1}{\dot{m}} \cdot \int_0^{\infty} \kappa(T) \cdot E(t)^2 dt \quad (2.3)$$

όπου E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, $\kappa(T)$ η αγωγιμότητα του μέσου, f η συχνότητα και m ο ρυθμός ροής της μάζας.

Η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω διάχυσης της ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της διαδικασίας συγκρίνοντας την θερμοκρασία εισόδου με την θερμοκρασία εξόδου του προϊόντος μετά την επεξεργασία του (Puertolas et al, 2012).

3.5 Εξαρτήματα του συστήματος ΠΗΠ

Ένα τυπικό σύστημα επεξεργασίας με ΠΗΠ αποτελείται από μια γεννήτρια παλμών υψηλής τάσης, ένα πυκνωτή (ή αντίσταση) αποθήκευσης ενέργειας, ένα θάλαμο επεξεργασίας, ένα διακόπτη εκκένωσης της ηλεκτρικής ενέργειας και ένα σύστημα ελέγχου των παραμέτρων της διεργασίας. Η γεννήτρια αποτελείται από έναν φορτιστή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και φορτίζει τον πυκνωτή αποθήκευσης ενέργειας, ο οποίος αποφορτίζεται καθώς παράγει το ηλεκτρικό πεδίο στον θάλαμο επεξεργασίας. Ο διακόπτης εκκένωσης ενεργοποιεί και απενεργοποιεί το κύκλωμα της υψηλής τάσης ακαριαία (σε ένα εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου) (Mohamed et al, 2012, Soliva-Fortuny et al, 2009). Εκτός από τα κύρια εξαρτήματα, κάποια επιπρόσθετα εξαρτήματα μπορεί να χρειάζονται. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ψύξης, ώστε να μειώνει την θερμοκρασία όταν χρειάζεται ή μια αντλία αν εφαρμόζεται συνεχής ροή (Mohamed et al, 2012).

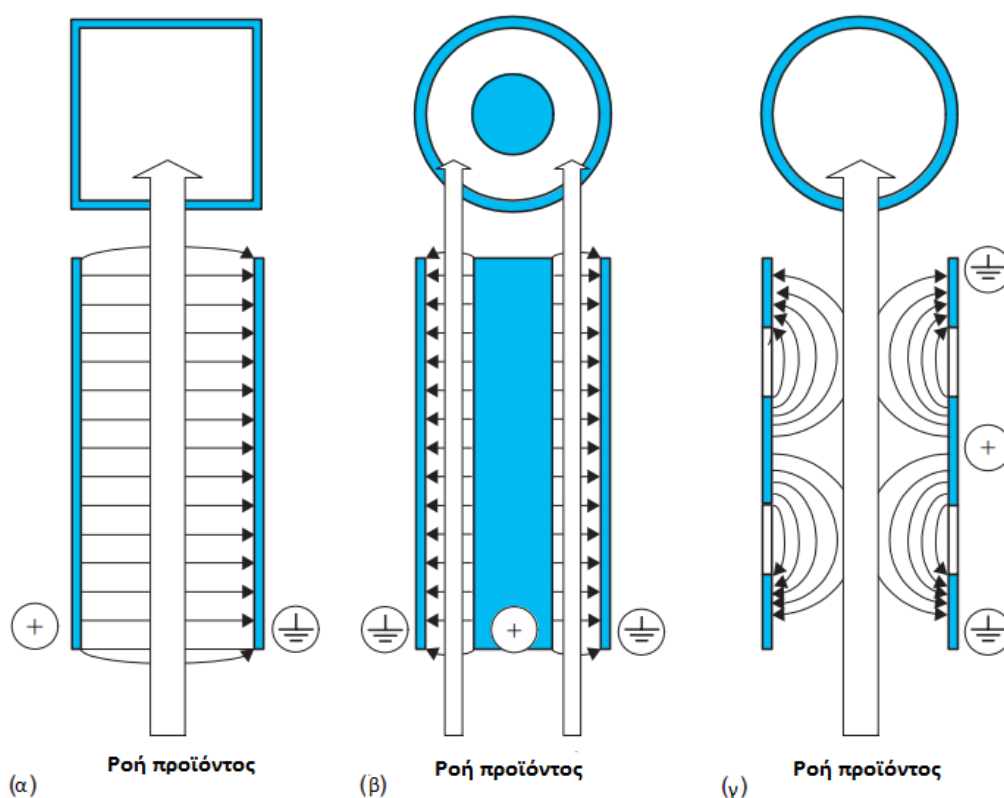
3.5.1 Σχεδιασμός του θαλάμου επεξεργασίας

Ένα από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα του συστήματος ΠΗΠ είναι ο θάλαμος επεξεργασίας. Οι θάλαμοι επεξεργασίας μπορεί να είναι στατικοί (batch) ή συνεχείς. Οι στατικοί θάλαμοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε μελέτες εργαστηριακής κλίμακας για επεξεργασία με ΠΗΠ τόσο στα υγρά όσο και στα στερεά προϊόντα. Οι συνεχείς θάλαμοι είναι πιο κατάλληλοι για εφαρμογές σε βιομηχανική κλίμακα (De Vito, 2006). Οι θάλαμοι επεξεργασίας των ΠΗΠ περιλαμβάνουν τουλάχιστον δυο ηλεκτρόδια, το ένα το ένα έχει υψηλή τάση ενώ το άλλο έχει γείωση. Τα δυο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από μονωτικό υλικό σε διαφορετικές γεωμετρικές μορφές. Οι πιο συνηθισμένες μορφές είναι των

ηλεκτροδίων είναι: οι παράλληλες πλάκες, οι ομοαξονικοί και οι συν-γραμμικοί κύλινδροι (Toerfl et al, 2005).

3.5.1.1 Συνεχούς ροής θάλαμοι επεξεργασίας

Η διεργασία των ΠΗΠ για βιομηχανική κλίμακα, κατά προτίμηση σχεδιάζεται για διεργασία συνεχούς ροής. Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σχεδιασμό του θαλάμου επεξεργασίας. Για ρευστά προϊόντα, όπως οι χυμοί φρούτων, το γάλα και οι πολτοί φρούτων, η επεξεργασία με ΠΗΠ μπορεί να πραγματοποιηθεί σε σωληνοειδή θάλαμο επεξεργασίας που αποτελείται από κυλινδρικά ηλεκτρόδια. Ακόμα και ολόκληρα φρούτα ή κομμάτια αυτών μπορούν να βυθιστούν σε ένα αγωγό με νερό και να επεξεργαστούν με ΠΗΠ συνεχούς ροής. Οι πρώτες βιομηχανικές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας ΠΗΠ συνεχούς ροής πραγματοποιήθηκαν για την αποσύνθεση φυτικών πρώτων υλών, όπως τα ζαχαρότευτλα (Jäger, 2012).



Εικόνα 3.3: Διαμόρφωση των θαλάμων επεξεργασίας ΠΗΠ για διεργασίες συνεχούς ροής, (α) παράλληλη πλάκα, (β) ομοαξονική, (γ) συν-γραμμική διαμόρφωση (Toerfl et al, 2005).

Μεταξύ των διαφορετικών μορφών των ηλεκτροδίων, οι παράλληλες πλάκες παρέχουν το πιο ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο σε μια μεγάλη ωφέλιμη επιφάνεια μεταξύ των πλακών (Toerfl et al, 2005).

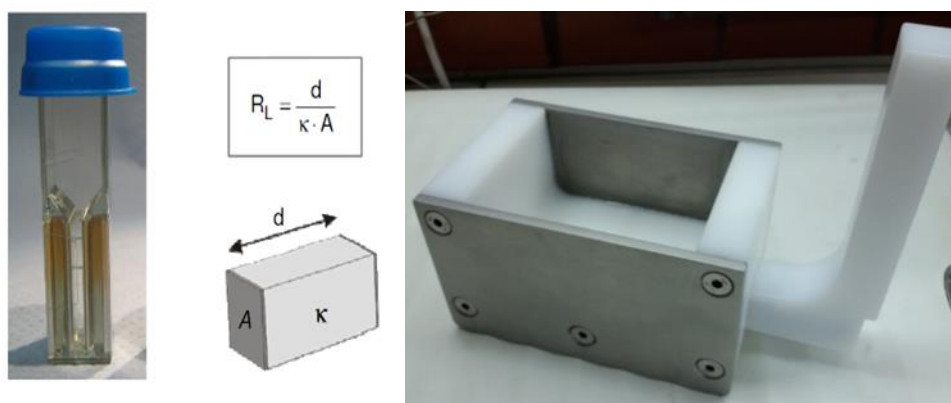
3.5.1.2 Διαλείποντος έργου θάλαμοι επεξεργασίας

Οι θάλαμοι διαλείποντος έργου επεξεργασίας τροφίμων με ΠΗΠ εφαρμόζονται κυρίως σε στερεά και ημιστερεά τρόφιμα. Ο θάλαμος επεξεργασίας είναι κατά προτίμηση μια

αποσπώμενη μονάδα, η οποία προσαρμόζεται σε ένα πλαίσιο όπου περιέχονται τα ηλεκτρόδια.

Οι θάλαμοι διαλείποντος έργου παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα για εργαστηριακή χρήση των ΠΗΠ. Απαιτούνται μικροί όγκοι επεξεργασίας και η θερμοκρασία επεξεργασίας είναι εύκολο να διατηρηθεί σταθερή με ψύξη των ηλεκτροδίων και με χαμηλούς ρυθμούς επανάληψης. Επίσης, οι θάλαμοι διαλείποντος έργου επιτρέπουν τον έλεγχο των παραμέτρων της επεξεργασίας, δηλαδή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, τον αριθμό των παλμών, τον χρόνο επεξεργασίας και την ειδική ενέργεια (Toerfl et al, 2005, Da-Wen Sun, 2014).

Οι πλάκες με παράλληλα ηλεκτρόδια και με ένα μικρό κενό μεταξύ τους παρέχουν ένα ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο και αντιπροσωπεύουν την πιο πρακτική επιλογή των θαλάμων διαλείποντος έργου (De Vito, 2006).



Εικόνα 3.4 Διαμορφώσεις των θαλάμων επεξεργασίας για τα ΠΗΠ διαλείποντος έργου: (αριστερά) κυψελίδα ηλεκτροδιάτρησης (Frey, W. 2016), (δεξιά) θάλαμος επεξεργασίας διαλείποντος έργου 400 mL.

3.6 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των ΠΗΠ

Η τεχνολογία των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων έχει πολλά θετικά χαρακτηριστικά, τα πιο σημαντικά είναι:

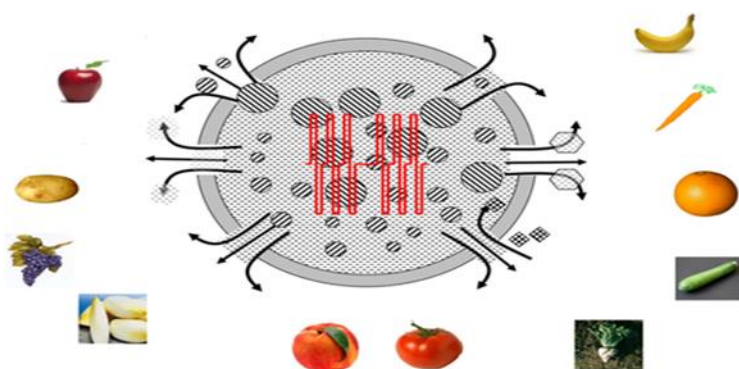
- Το ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται ομοιόμορφα σε όλο το τρόφιμο, με αποτέλεσμα να μην το καταστρέφει.
- Η θερμοκρασία του προϊόντος δεν επηρεάζεται παρά ελάχιστα μετά την επεξεργασία.
- Ο χρόνος της επεξεργασίας είναι πολύ μικρός.
- Είναι πιο αποδοτική όσον αφορά το κόστος, συγκριτικά με την συμβατική θερμική επεξεργασία.
- Μπορεί να λειτουργήσει τόσο σε διεργασία διαλείποντος έργου όσο και σε συνεχούς ροής.

3.7 Εφαρμογές της τεχνολογίας των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων

Το φαινόμενο της διαπερατότητας των κυτταρικών μεμβρανών που προκύπτει από την εφαρμογή των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων είναι γνωστό από τις αρχές του 20ου αιώνα, αλλά κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 ξεκίνησε ενδελεχής έρευνα σχετικά με την τεχνολογία αυτή. Οι περισσότερες μελέτες για επεξεργασία με ΠΗΠ με υψηλή ένταση σχετίζονται με το σχεδιασμό εφαρμογών παστερίωσης ως εναλλακτική λύση στις συμβατικές θερμικές διεργασίες, σε θερμοκρασίες κάτω από εκείνες που χρησιμοποιούνται στις θερμικές διεργασίες, με σκοπό την επίτευξη των κατάλληλων επιπέδων μικροβιακής αδρανοποίησης, καθώς και την παρατήρηση της επίδρασης της τεχνολογίας αυτής στην ενζυμική δραστηριότητα (Mohamed et al, 2012, Jäger, 2012, Soliva-Fortuny et al, 2009, Klonowski et al, 2006). Από την άλλη πλευρά, η επεξεργασία με ΠΗΠ με ήπια ή μέτρια ένταση βρίσκεται υπό μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα διαπερατότητας ιστών, επιτρέποντας έτσι την εφαρμογή της τεχνολογίας ΠΗΠ στο πλαίσιο ήδη υφιστάμενων διεργασιών, όπως είναι η εκχύλιση ή η ξήρανση (Soliva-Fortuny et al, 2009).

Στην τεχνολογία τροφίμων, η μη αναστρέψιμη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών σε φυτικούς και ζωικούς ιστούς μπορεί να εφαρμοστεί ως μια ήπια τεχνική συντήρησης τροφίμων, ως μια εναλλακτική των συμβατικών μεθόδων κυτταρικής διάσπασης, όπως είναι η άλεση ή η ενζυμική επεξεργασία, καθώς και ως ένα βήμα προ-επεξεργασίας για βελτίωση μεταφορά μάζας πριν από την αφυδάτωση, την εκχύλιση ή την άσκηση πίεσης (Toerfl et al, 2005).

Τέλος, η τεχνολογία των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο για προ-επεξεργασία τροφίμων ώστε να αυξηθεί η απόδοση της εκχύλισης σε χυμούς από φρούτα και σε έλαια από φυτικά έλαια, χάρη στην διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών που διευκολύνει τη μεταφορά μάζας (Abenoza et al, 2013, Guderjan et al, 2005, Guderjan et al, 2007, Ribeiro Sarkis et al, 2015, Shorstkii et al, 2014, Donsi et al, 2010).



Εικόνα 3.5 Διεργασίες σε φρούτα και λαχανικά, στις οποίες χρησιμοποιούνται ως προ-επεξεργασία η τεχνολογία των ΠΗΠ (Lebovka, N. & Vorobiev, E. 2016).

3.8 Βιβλιογραφική ανασκόπηση της εφαρμογής των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων για αύξηση της παραγωγικότητας

Αρκετές έρευνες έχουν διεξαχθεί για να μελετήσουν την εφαρμογή της τεχνολογίας ΠΗΠ ως προ-επεξεργασία για κυτταρική διάρρηξη πριν από τον διαχωρισμό του ελαίου, με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης παραλαβής διάφορων φυτικών ελαίων, όπως για παράδειγμα το καλαμπόκι, η σόγια και η ελαιοκράμβη. Αντίθετα, η μελέτη της εφαρμογής της τεχνολογίας ΠΗΠ για αύξηση της απόδοσης παραλαβής ελαιόλαδου είναι συγκριτικά ελάχιστη (Abenzoza et al, 2013, Guderjan et al, 2005).

Τα αποτελέσματα των ερευνών εμφανίζονται θετικά. Με περισσότερες λεπτομέρειες, αναφορικά με το καλαμπόκι, η απόδοση της παραλαβής του ελαίου αυξήθηκε κατά 2,9% σε σύγκριση με το ανεπεξέργαστο δείγμα με την ένταση ηλεκτρικού πεδίου στα 7,3 kV/cm (μη αντιστρεπτή διαπερατότητα) (Guderjan et al, 2005). Η σόγια είχε καλύτερα αποτελέσματα με μικρότερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου (1,3 kV/cm), αυξήθηκε η απόδοση του σογιέλαιου κατά 20% συγκριτικά με το τυφλό δείγμα (Guderjan et al, 2005, Donsi et al, 2010). Η ελαιοκράμβη μελετήθηκε σε δύο περιπτώσεις: με φλοιό και χωρίς φλοιό, και τα δυο έλαια που προέκυψαν μετά την διεργασία παρουσίασαν αυξημένες αποδόσεις. Η ελαιοκράμβη με φλοιό είχε αύξηση 9% και η χωρίς φλοιό είχε 2% αύξηση για ένταση πεδίου και για τα δυο δείγματα 7 kV/cm (μη αναστρέψιμη διαπερατότητα) (Guderjan et al, 2007).

Επιπλέον, μελέτες έχουν γίνει για το σουσάμι καθώς και τον ηλίανθο για την διαπίστωση ότι η τεχνολογία ΠΗΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά με σκοπό την αύξηση της απόδοσης παραλαβής των ελαίων των καρπών αυτών. Από την έρευνα του σησαμελαίου προέκυψε αύξηση της απόδοσης κατά 4,9% για ένταση ηλεκτρικού πεδίου αρκετά υψηλή, 20 kV/cm. Από την άλλη, τα αποτελέσματα του πειράματος του ηλίανθου έδειξαν αύξηση της απόδοσης του ελαίου του κατά 11% περίπου για ένταση πεδίου 7 kV/cm (Ribeiro Sarkis et al, 2015, Shorstkii et al, 2014).

Έρευνες που έχουν γίνει για το ελαιόλαδο είναι επίσης ενθαρρυντικές. Σε μια έρευνα παρατηρήθηκε αύξηση στην απόδοση του ελαιόλαδου κατά 13,3% σε σύγκριση με το ανεπεξέργαστο δείγμα της ελαιόπαστας για ένταση πεδίου 2 kV/cm και συνολική ενέργεια 65 J, συχνότητα 25 Hz, ειδική ενέργεια 11,25 kJ/kg και θερμοκρασία επεξεργασίας 24 ± 3 °C και μάλαξη στους 24 °C για 60 min (Puertolas et al, 2015). Σε μια άλλη μελέτη, η απόδοση του ελαιόλαδου αυξήθηκε κατά 14,1% για ένταση πεδίου 2 kV/cm, αριθμό παλμών 50 για 3 μsec, ειδική ενέργεια 5.22 kJ/kg, συχνότητα 125 Hz και θερμοκρασία επεξεργασίας 20 ± 2 °C. Οι συνθήκες της μάλαξης που θεωρήθηκαν βέλτιστες είναι 15 °C για 30 min (Abenzoza et al, 2013). Τα αποτελέσματα αυτά διαφέρουν λόγω διαφορετικής ποικιλίας που χρησιμοποιήθηκε στα δυο πειράματα (Argoniz και Arbequina αντίστοιχα), γεγονός που δηλώνει την σημασία που έχει η ποικιλία της ελιάς στην απόδοση του λαδιού. Επιπρόσθετα, η τεχνολογία των ΠΗΠ μπορεί να εφαρμοστεί και στον καρπό της ελιάς, η μελέτη των Andreou et al (2015) απέδειξε ότι η απόδοση αυξάνεται και σε αυτήν την περίπτωση, για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 1.8kV/cm, ειδική ενέργεια 10 kJ/kg, συχνότητα 300Hz και με συνολική ενέργεια 1, 4, 6, 15 και 21kJ και για συνθήκες μάλαξης $30 \pm 0,2$ °C και 30 min. Η αύξηση της απόδοσης ήταν διαφορετική για

κάθε ποικιλία: 1-9% για την Αμφίσσης ανάλογα και με τις συνθήκες επεξεργασίας, 18% για την Μανάκι και 3% για την Τσουνάτη. Άλλη έρευνα έδειξε αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο κατά 7,4% για ένταση πεδίου 1,3 kV/cm και αριθμό παλμών 100 σε ολόκληρη ελιά (Guderjan et al, 2005).

Φυσικά, η τεχνολογία των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων έχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών σε τρόφιμα για αύξηση της απόδοσης της εκχύλισης, όπως οι χυμοί μήλου, καρότου, πατάτας, σταφυλιού, πιπεριάς και ζαχαρότευτλου (Puertolas et al, 2012, Donsi et al, 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΥΠΕΡΥΨΗΛΗ ΠΙΕΣΗ

4.1 Η τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης

Μια από τις πιο σημαντικές μη θερμικές τεχνολογίες, εκτός από την τεχνολογία των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων, είναι η Υπερυψηλή Πίεση (ΥΠ). Η αρχή λειτουργίας της έγκειται στη διάρρηξη των εξωτερικών τοιχωμάτων κυττάρων λόγω της πολύ μεγάλης πίεσης (100-1000 MPa) που ασκείται σε αυτά. Η πίεση που ασκείται στα τρόφιμα είναι υδροστατική με αποτέλεσμα να μην αλλοιώνεται η εμφάνιση του τροφίμου εξαιτίας μηχανικής πίεσης (Αλεξανδράκης, 2015). Η έκθεση του τροφίμου στην πίεση αυτή γίνεται για ελεγχόμενο χρόνο και θερμοκρασία (Leite et al, 2017, Błaszczak et al, 2017). Εφαρμόζεται σε υγρά ή στερεά, συσκευασμένα ή μη συσκευασμένα τρόφιμα (Ταούκης, Ωραιοπούλου, 2009).

Η επεξεργασία υπερυψηλής πίεσης είναι μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους επεξεργασίας και συντήρησης τροφίμων λόγω των περιορισμένων επιπτώσεων της στους ομοιοπολικούς δεσμούς. Το οποίο έχει ως αποτέλεσμα ελάχιστες τροποποιήσεις στη θρεπτική και οργανοληπτική ποιότητα των τροφίμων. Η ΥΠ επηρεάζει μόνο τους μη-ομοιοπολικούς δεσμούς (Oey et al, 2008, Leite et al, 2017, Balasubramaniam et al, 2016).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η σχεδόν στιγμιαία μετάδοση ισοστατικής πίεσης στο προϊόν, ανεξάρτητα από το μέγεθος, το σχήμα και τη σύνθεση των τροφίμων αποδίδοντας εξαιρετικά ομοιογενή προϊόντα (Torres et al, 2005, Ταούκης, Ωραιοπούλου, 2009). Τρόφιμα που επεξεργάζονται με αυτόν τον τρόπο έχει δειχθεί να διατηρούν την αρχική φρεσκάδα, το άρωμα, τη γεύση τους και οι αλλαγές στο χρώμα είναι ελάχιστες (Patras et al, 2009, Torres et al, 2005). Επίσης, το λειτουργικό κόστος της διεργασίας είναι σημαντικά χαμηλότερο από αυτό μιας καθαρά θερμικής διεργασίας, η οποία αναπτύσσει υψηλότερες θερμοκρασίες (Αλεξανδράκης, 2015).

Παρά τα πλεονεκτήματα της διεργασίας υπάρχουν βασικά μειονεκτήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Το κόστος επένδυσης της διεργασίας είναι υψηλό όπως επίσης και το κόστος συντήρησης (Αλεξανδράκης, 2015, Toerfl et al, 2006). Μεγάλες προσπάθειες γίνονται από τις κατασκευαστικές εταιρείες που ασχολούνται με την τεχνολογία ΥΠ ώστε να βελτιωθεί ο εξοπλισμός της. Μια ακόμα πρόκληση για την εφαρμογή της τεχνολογίας ΥΠ αποτελεί ο θερμοκρασιακός έλεγχος της διεργασίας της διεργασίας, επειδή σε υψηλές πιέσεις η θερμοκρασία αυξάνεται αρκετά (κατά κανόνα 3°C ανά 100 MPa) και σε τρόφιμα που είναι ανομοιογενή ο έλεγχος αυτός είναι αρκετά δύσκολος (Αλεξανδράκης, 2015).

4.2 Βασικές Αρχές της Υπερυψηλής Πίεσης

Η πίεση είναι μια από τις βασικές θερμοδυναμικές μεταβλητές. Με την μεταβολή της πίεσης μεταβάλλεται και η θερμοκρασία. Θερμικές μεταβολές κατά την διάρκεια μιας διεργασίας πίεσης μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στον όγκο και την ενέργεια. Όμως, η πίεση επηρεάζει κυρίως τον όγκο.

4.2.1 Ισοστατική Αρχή

Η εφαρμογή της υπερυψηλής πίεσης βασίζεται στην ισοστατική αρχή, η οποία θεωρεί ότι η ομοιόμορφη εφαρμογή της πίεσης ασκείται εξίσου σε όλες τις κατευθύνσεις. Μια ιδανική υδροστατική κατάσταση θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη του χρόνου και του χώρου και μπορεί να καθοριστεί όταν ένα ρευστό χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της πίεσης σε όλο το τρόφιμο. Σε εφαρμογές υπερυψηλής πίεσης, η πίεση και τα αποτελέσματά της είναι ακαριαία και ομοιογενώς κατανεμημένα εντός του τροφίμου, ανεξάρτητα από τη γεωμετρία και το μέγεθος του. Η αρχή αυτή βοηθά να εξηγηθεί γιατί μη πορώδη τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία δεν μεταβάλλονται μακροσκοπικά μετά την επεξεργασία με ΥΠ. Επειδή ο αέρας και το νερό διαφέρουν σε συμπίεστικότητα υπό πίεση, η δομή και το σχήμα των τροφίμων που περιέχουν θύλακες αέρα (όπως στην περίπτωση των ζαχαρωτών) μπορεί να μεταβληθεί κατά την κατεργασία υπό πίεση, εκτός αν το τρόφιμο είναι τέλεια ελαστικό και αποτελείται από αφρώδες υλικό κλειστών κυψελών από όπου ο αέρας δεν μπορεί να ξεφύγει (Balasubramaniam et al, 2015, Balasubramaniam et al, 2016).

4.2.2 Αρχή Le Chatelier

Η αρχή αυτή αφορά τις αλλαγές στην ισορροπία, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής πίεσης. Αναφέρει ότι κάθε φαινόμενο (αλλαγή φάσης, η αλλαγή στη μοριακή διαμόρφωση, χημική αντίδραση) που συνοδεύεται από μια μείωση του όγκου ενισχύεται η πίεση του. Αν η πίεση αλλάζει, η ισορροπία μετατοπίζεται προς μια κατεύθυνση που τείνει να μειώσει την αλλαγή που προκλήθηκε (μεταβολή όγκου) (Balasubramaniam et al, 2015, Balasubramaniam et al, 2016).

4.2.3 Σχέση Arrhenius

Η υδροστατική πίεση αλλάζει τις διατομικές αποστάσεις, επηρεάζοντας τους δεσμούς που εξαρτώνται από την απόσταση. Για παράδειγμα, οι δεσμοί υδρογόνου και οι van der Waals δυνάμεις εξαρτώνται από την απόσταση και επομένως επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την άσκηση πίεσης. Αντιθέτως, οι ομοιοπολικοί δεσμοί δεν επηρεάζονται από την πίεση, επειδή η απόσταση που συνδέει τα άτομα μπορεί να συμπεσεί ελάχιστα περαιτέρω.

Οι συνέπειες της μεταβολής των διατομικών αποστάσεων λόγω της υπερυψηλής πίεσης μπορούν να παρουσιαστούν ως:

(α) μεταβολές στις φυσικές ιδιότητες, όπως το σημείο τήξης, η διαλυτότητα, η πυκνότητα και το ιξώδες

(β) μεταβολές στις διαδικασίες ισορροπίας, όπως η αποσύνδεση ασθενών οξέων, η ισορροπία οξέος-βάσεως και ο ιονισμός

(γ) μεταβολές στο ρυθμό της διεργασίας, όπως καθυστέρηση ή επιτάχυνση

(δ) ένας συνδυασμός των παραπάνω συνεπειών (Balasubramaniam et al, 2015).

4.3 Παράμετροι της διεργασίας ΥΠ

4.3.1 Εφαρμοζόμενη πίεση

Οι πιέσεις που εφαρμόζονται κυμαίνονται από 100-1000 MPa (1000-10000 atm), ανάλογα με την ένταση της επεξεργασίας (Αλεξανδράκης, 2015). Όσο αυξάνεται η ασκούμενη πίεση τόσο εντονότερη γίνεται η διάρρηξη των κυτταρικών τοιχωμάτων των τροφίμων. Όμως, καθώς αυξάνεται η πίεση αυξάνεται το κόστος του εξοπλισμού και η παροχή ενέργειας που χρειάζεται για να λειτουργήσει. Έτσι, επιλέγεται μια βέλτιστη τιμή πίεσης που να ικανοποιεί όλες τις παραμέτρους (Jun Xi et al, 2009).

4.3.2 Θερμοκρασία συμπεριλαμβανομένης και της αδιαβατικής θέρμανσης

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διεργασίας ΥΠ μπορεί να είναι μικρότερη από 0 °C έως και μεγαλύτερη από των 100 °C. Η θερμοκρασία του τροφίμου αυξάνεται κατά τη διάρκεια της διεργασίας λόγω αδιαβατικής θέρμανσης περίπου 3 °C ανά 100 MPa ανάλογα με τη σύνθεση του τροφίμου και την περιεκτικότητα του σε νερό. Ένα τρόφιμο που περιέχει σημαντική ποσότητα λίπους, θα έχει μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας του (Γώγου, 2010, Farkas et al, 2000).

4.3.3 Χρόνος επεξεργασίας

Ο χρόνος έκθεσης του τροφίμου στις υπερυψηλές πιέσεις μπορεί να κυμαίνεται από 1 msec, παλμός που επιτυγχάνεται από ταλαντευόμενες αντλίες, έως πάνω από 30 min. Συνήθως, ο χρόνος εφαρμογής υπερυψηλών πιέσεων στην πράξη κυμαίνεται από 3 έως 20 min (Farkas et al, 2000).

Κατά την εφαρμογή ΥΠ για την επεξεργασία τροφίμων, όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση και ο χρόνος εφαρμογής της, τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα να προκληθούν ανεπιθύμητες συνήθως μεταβολές ακόμα και στην εμφάνιση του προϊόντος. Αυτό παρατηρείται κυρίως σε τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες, όπου η προκαλούμενη από την πίεση μετουσίωση των πρωτεϊνών είναι και οπτικά εμφανής. Η παραμόρφωση του κυττάρου και η καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια του κυτταροπλάσματος και το μαλάκωμα του τροφίμου (Γώγου, 2010).

4.4 Μηχανολογικός Εξοπλισμός της ΥΠ

Ο εξοπλισμός της τεχνολογίας ΥΠ περιλαμβάνει τα εξής βασικά μέρη:

- ένα θάλαμο υπερυψηλής πίεσης, στον οποίο εισάγονται τα προς επεξεργασία τρόφιμα και το σύστημα σφράγισης του
- μια μονάδα παραγωγής της πίεσης
- ένα σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας, συνήθως βρίσκεται μέσα στο θάλαμο
- ένα σύστημα διαχείρισης υλών (Αλεξανδράκης, 2015, Farkas et al, 2000).

Οι περισσότεροι θάλαμοι κατασκευάζονται από υλικά με μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό, συνήθως μονομηματικά (κομμένα από ένα ενιαίο κομμάτι μετάλλου) κομμάτια από κράμα χάλυβα. Μπορούν να αντέξουν σε πιέσεις 400-600 MPa. Για υψηλότερες πιέσεις, οι θάλαμοι κατασκευάζονται από πολυστρωματικά, προτεταμένα υλικά. Οι θάλαμοι σφραγίζονται με ένα βιδωτό πώμα από χάλυβα ή με ένα σφραγισμένο πλαίσιο το οποίο τοποθετείται πάνω από το θάλαμο. Το δεύτερο σύστημα φραγής μπορεί να αφαιρεθεί πιο γρήγορα (Αλεξανδράκης, 2015).

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με μανδύες γύρω από τους θαλάμους υπερυψηλής πίεσης. Στους μανδύες κυκλοφορεί ψυκτικό/θερμαντικό μέσο, ανάλογα με τις ανάγκες. Σημαντικό μειονέκτημα ωστόσο σε μεγάλους θαλάμους είναι η αργή θερμοκρασιακή απόκριση, τότε γίνεται χρήση εσωτερικών σπειρών εναλλαγής θερμότητας (Ohlsson et al, 2002).

Η πίεση σε ένα θάλαμο ΥΠ μπορεί να ασκηθεί με 3 διαφορετικούς τρόπους.

1. Άμεση συμπίεση

Ένα ρευστό τρόφιμο συμπιέζεται κατευθείαν από την μικρότερη πλευρά ενός εμβόλου. Η μεγαλύτερη πλευρά του εμβόλου είναι συνδεδεμένη με μια αντλία χαμηλής πίεσης, η οποία επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό της πίεσης. Η άμεση συμπίεση είναι γρήγορη, αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα, επειδή υπάρχει το ενδεχόμενο της ανεπάρκειας της στεγανότητας του εμβόλου (Αλεξανδράκης, 2015).

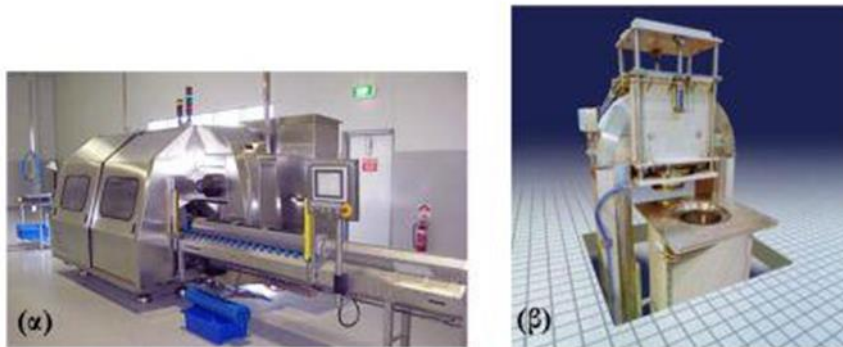
2. Έμμεση συμπίεση

Ένα ρευστό άσκησης πίεσης αντλείται σε ένα ερμητικά κλειστό θάλαμο από έναν ενισχυτή πίεσης (Ohlsson et al, 2002). Συνήθως, το μέσο μεταφοράς της πίεσης στο τρόφιμο είναι το νερό ή η γλυκόλη. Η άσκηση της υπερυψηλής πίεσης επιτυγχάνεται μέσω της πλήρωσης του θαλάμου με το υγρό χαμηλής συμπίεσότητας (Αλεξανδράκης, 2015, Patras et al, 2009). Οι θάλαμοι υπερυψηλής πίεσης που χρησιμοποιούνται κατά την διεργασία της ΥΠ είναι ειδικά σχεδιασμένοι για να αντέχουν με ασφάλεια την εφαρμογή τέτοιων μεγάλων πιέσεων ύστερα από πολλούς κύκλους συμπίεσης (Αλεξανδράκης, 2015). Τα περισσότερα συστήματα ισοστατικής συμπίεσης χρησιμοποιούν την έμμεση συμπίεση (Ohlsson et al, 2002).

3. Ο τρίτος τρόπος συμπίεσης επιτυγχάνεται με θέρμανση του ρευστού πίεσης (νερό, γλυκόλη) το οποίο διαστέλλεται. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται συνδυασμός πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας, όπως η μικροβιακή απενεργοποίηση (Αλεξανδράκης, 2015, Ohlsson et al, 2002).

Οι παραπάνω τρόποι δημιουργίας υπερυψηλής πίεσης εφαρμόζονται σε συστήματα ασυνεχούς λειτουργίας (διαλείποντος έργου). Σε αντίθεση με τα συστήματα συνεχούς λειτουργίας, τα τρόφιμα επεξεργάζονται σε παρτίδες μειώνοντας σημαντικά έτσι την πιθανότητα μεγάλης ποσότητας τροφίμου να μολυνθεί από λιπαντικά ή σωματίδια από την φθορά του εξοπλισμού. Τα περισσότερα βιομηχανικά συστήματα ΥΠ είναι ασυνεχούς λειτουργίας (Αλεξανδράκης, 2015).

Ο κύκλος μιας διεργασίας ΥΠ περιλαμβάνει 5 βασικά στάδια. Το γέμισμα του θαλάμου της διεργασίας με το προς επεξεργασία τρόφιμο, το κλείσιμο του θαλάμου, την εφαρμογή των συνθηκών πίεσης της διεργασίας, την αποσυμπίεση του θαλάμου στο τέλος της διεργασίας και την απομάκρυνση του επεξεργασμένου τροφίμου (Farkas et al, 2000).



Εικόνα 4.1: Εξοπλισμός ΥΠ βιομηχανικής κλίμακας (α) οριζόντιας θέσης (Wave 600/55, NC Hyperbaric) και (β) κάθετης θέσης (215L-600 HPP System, Avure) (Γώγου, 2010).

4.5 Πλεονεκτήματα της Υπερυψηλής Πίεσης

Η τεχνολογία της ΥΠ έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα παρακάτω:

- Άμεση επεξεργασία των δειγμάτων.
- Ανεξαρτησία από το μέγεθος και τη γεωμετρία των τροφίμων προς κατεργασία, σε αντίθεση με τις κλασικές θερμικές κατεργασίες που εξαρτώνται από το μέγεθος και τη γεωμετρία των τροφίμων.
- Μη θερμική μέθοδος. Δεν καταστρέφονται σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, σε αντίθεση με τη θερμική κατεργασία.

- Φιλική προς το περιβάλλον. Δεν έχει καθόλου απόβλητα και τα υγρά που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις ως μέσο μετάδοσης της πίεσης είναι ανακυκλώσιμα (Farkas et al, 2000).

4.6 Εφαρμογές της τεχνολογίας της Υπερυψηλής Πίεσης

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης της Υπερυψηλής Πίεσης για την συντήρηση τροφίμων έγινε γνωστή στα τέλη του 19^{ου} αιώνα από τον Hite (1899), ο οποίος μελέτησε την επίδραση της πίεσης στη συντήρηση του γάλακτος. Η βιομηχανική σημασία όμως της τεχνολογίας ΥΠ έγινε αντιληπτή την δεκαετία του 1980. Τα πρώτα επεξεργασμένα, με αυτήν την μέθοδο, προϊόντα διατέθηκαν στην Ιαπωνική αγορά το 1990 και ήταν μαρμελάδες και σάλτσες. Αργότερα ακολούθησαν αμερικάνικες εταιρίες και τελικά η τεχνολογία εξαπλώθηκε και στην Ευρώπη (Αλεξανδράκης, 2015, Ταούκης, Ωραιοπούλου, 2009).

Σήμερα, συστήματα ΥΠ χρησιμοποιούνται σε αρκετές βιομηχανίες, ενώ αρκετές μονάδες ΥΠ λειτουργούν σε εργαστήρια και ερευνητικά κέντρα παγκοσμίως. Η τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης εφαρμόζεται στα τρόφιμα με σκοπό την επίτευξη της μείωσης του μικροβιακού φορτίου και της ενζυμικής δραστηριότητας των τροφίμων, ενώ παράλληλα η αλλοίωση των θρεπτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών είναι πολύ μικρότερη από τις συμβατικές θερμικές μεθόδους συντήρησης (Błaszcak et al, 2017, Γώγου, 2010). Ειδικότερα, μονάδες παστερίωσης υπερυψηλής πίεσης με μέγιστη πίεση έως και 600 MPa χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υψηλής αξίας τροφίμων, ή εξαιρετικά θερμοευαίσθητων προϊόντων που δεν μπορούν να επεξεργαστούν με άλλες τεχνικές (Toerfl et al, 2006).

Επίσης, η τεχνολογία ΥΠ χρησιμοποιείται για την εξαγωγή χρήσιμων συστατικών από φυτικούς οργανισμούς και έχει παρατηρηθεί αύξηση της απόδοσης εξαγωγής μετά από επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση (Prasad et al, 2009, Prasad et al, 2008, Jun Xi et al, 2009).

4.7 Βιβλιογραφική ανασκόπηση της εφαρμογής της Υπερυψηλής Πίεσης για αύξηση της παραγωγικότητας

Ως εναλλακτική μέθοδο εκχύλισης, η τεχνολογία Υπερυψηλής Πίεσης έχει αποδειχθεί ότι είναι γρήγορη και αποτελεσματική. Μπορεί να μειώσει το χρόνο επεξεργασίας και να αποδώσει μεγαλύτερες αποδόσεις εκχύλισης. Αυτό αποδεικνύεται μέσα από έρευνες που έχουν διεξαχθεί για εξαγωγή χρήσιμων συστατικών από διάφορα φυτά (Prasad et al, 2009, Prasad et al, 2008, Xi Jun, 2009, Jun Xi et al, 2009, Briones-Labarca et al, 2015).

Η διεργασία της Υπερυψηλής Πίεσης έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στην εξαγωγή φαινολικών ενώσεων από το περικάρπιο του τροπικού φρούτου longan καθώς και από το περικάρπιο του φρούτου litchi. Σε σύγκριση με τον συμβατικό τρόπο εκχύλισης με διαλύτες (αιθανόλη), η απόδοση της εκχύλισης στο φρούτο longan αυξήθηκε από 14,8% σε 17,8%, όταν χρησιμοποιήθηκε η Υπερυψηλή Πίεση σε 500 MPa για 2,5 min (Prasad et al, 2009). Αύξηση παρατηρήθηκε και στην απόδοση εκχύλισης φαινολικών ενώσεων από

το φρούτο litchi, 29,3% έναντι 19,9% της συμβατικής εκχύλισης σε συνθήκες 500MPa και 2,5 min (Prasad et al, 2008).

Η τεχνολογία ΥΠ είναι μια καινοτόμα μέθοδος που χρησιμοποιείται και στην εκχύλιση καφεΐνης από πράσινα φύλλα τσαγιού. Στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι η απόδοση της εκχύλισης της συμβατικής μεθόδου (4,2%) με την αντίστοιχη της ΥΠ (4%) είναι παρόμοιες, όμως για το ίδιο αποτέλεσμα η ΥΠ χρειάστηκε 1 min (500 MPa) σε αντίθεση με την συμβατική (με διαλύτη αιθανόλη) που ήθελε 20 ώρες (Jun Xi et al, 2009). Επιπλέον, από πράσινα φύλλα τσαγιού μπορεί να γίνει εξαγωγή και πολυφαινολών με την βοήθεια της υπερυψηλής πίεσης, με τα αποτελέσματα να δείχνουν και πάλι τις αποδόσεις παρόμοιες (συμβατική 30,5% και ΥΠ 30%) με τη διαφορά στο χρόνο όπου η ΥΠ χρειάστηκε 1 min έναντι των 20 ωρών της συμβατικής (Briones-Labarga et al, 2015).

Τέλος, ένα άλλο παράδειγμα που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας ΥΠ στην αύξηση της παραγωγικότητας είναι η έρευνα που έγινε για την εξαγωγή χρήσιμων συστατικών (αντιοξειδωτικά, σουλφοραφάνη, λιπαρά οξέα) από Χιλιανή παπάγια. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν αύξηση της απόδοσης εκχύλισης από 4% περίπου στην περίπτωση της συμβατικής εκχύλισης με διαλύτη μεθανόλη σε 5,39% στην περίπτωση της υπερυψηλής πίεσης (500MPa, 5 min) (Ohlsson et al, 2002).

Όσον αφορά τα φυτικά έλαια, οι πληροφορίες που υπάρχουν για τη χρήση της τεχνολογίας της Υπερυψηλής Πίεσης με σκοπό την αύξηση της απόδοσης εκχύλισης τους είναι ελάχιστες. Οι Andreou et al (2016) επεξεργάστηκαν τρεις ποικιλίες ελιάς (Αμφίσσης, Μανάκι και Τσουνάτη) και βρήκαν ότι η επεξεργασία με ΥΠ αυξάνει την απόδοση εκχύλισης του ελαιόλαδου. Συγκεκριμένα για πιέσεις 200 και 600 MPa και χρόνους 1 και 5 min στους 25 °C, βρέθηκε ότι η Μανάκι παρουσίασε αύξηση κατά 24%, η Τσουνάτη κατά 6% και η Αμφίσσης κατά 8%.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η επιρροή της τεχνολογίας ΥΠ (επεξεργασία στην ελαιόπαστα) στην αύξηση της παραγωγικότητας στο ελαιόλαδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την επίδραση των τεχνολογιών των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ) και της Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ) στην απόδοση εκχύλισης του ελαιόλαδου. Με βάση την απόδοση και τους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου επιλέγεται μια βέλτιστη συνθήκη για την κάθε τεχνολογία και στη συνέχεια σε αυτές τις επιλεγείσες συνθήκες πραγματοποιείται μελέτη της διατηρησιμότητας του ελαιόλαδου. Ο σχεδιασμός των πειραμάτων και οι μέθοδοι καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφονται αναλυτικά ακολούθως.

5.1 Πρώτες ύλες

Χρησιμοποιήθηκαν δυο ποικιλίες ελιάς, η Κορωνέικη και η Τσουνάτη, οι οποίες καλλιεργήθηκαν στη Μεσσηνία και στη Σπάρτη, αντίστοιχα. Η συγκομιδή της Κορωνέικης ποικιλίας πραγματοποιήθηκε στις αρχές του Δεκέμβρη, ενώ η Τσουνάτη συγκομίστηκε στα τέλη του Ιανουαρίου. Οι Κορωνέικες ελιές είχαν πράσινο χρώμα και σκληρό φλοιό, βρίσκονταν στο πρώτο στάδιο ωρίμανσης τους (άγουρη ελιά). Αντίθετα, οι ελιές της Τσουνάτη ποικιλίας βρίσκονταν στο τελευταίο στάδιο της ωρίμανσης τους (ώριμη ελιά), με χρώμα ένα σκούρο μωβ προς μαύρο και μαλακή σάρκα. Οι ελιές, και από τις δυο ποικιλίες, μεταφέρθηκαν άμεσα, μετά το τέλος της συγκομιδής, στο εργαστήριο τροφίμων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Από εκεί μεταφέρθηκαν στο ΕΘΙΑΓΕ (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας) όπου και πραγματοποιήθηκε η παραλαβή του ελαιόλαδου.

5.2 Πειραματική Διαδικασία

Αρχικά έγινε η διαλογή και το πλύσιμο της ελιάς, δηλαδή η απομάκρυνση φύλλων και των παραγινόμενων καρπών. Στη συνέχεια, οι ελιές ζυγίστηκαν, 100 kg η Κορωνέικη και 200 kg η Τσουνάτη και ακολούθως θρυμματίστηκαν, με σκοπό τη διάσπαση των κυττάρων στο μεσοκάρπιο και την απελευθέρωση του ελαίου.

Τα πειράματα στην Κορωνέικη ποικιλία, τόσο για τις συνθήκες μάλαξης όσο και για τις συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ, έγιναν χρονικά πρώτα και ήταν διερευνητικά. Στην Τσουνάτη ποικιλία πραγματοποιήθηκε το πλήρες κινητικό πείραμα για τις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης και επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε κινητικό πείραμα σε μη προεπεξεργασμένη ελαιόπαστα, όπου η πάστα μαλάχθηκε σε διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης συνθήκης για την μάλαξη της. Οι συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μάλαξη φαίνονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Οι συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου κατά την μάλαξη της ανεπεξεργαστης ελαιόπαστας που εφαρμόστηκαν.

Ποικιλία	Θερμοκρασία μάλαξης (°C)	Χρόνος μάλαξης (min)
Κορωνέικη	15	30
	30	0, 10, 20, 30, 40 και 60
	40	30
Τσουνάτη	15	0, 5, 12, 20, 30 και 45
	30	
	40	

Η βέλτιστη συνθήκη μάλαξης που προέκυψε είναι στους 30 °C για 30 min. Η επιλογή της έγινε με κριτήριο την απόδοση του ελαιόλαδου με παράλληλη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του.

Στην δεύτερη ενότητα πειραμάτων, η ελαιόπαστα προεπεξεργάστηκε με τις τεχνολογίες των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων ή της Υπερυψηλής Πίεσης στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης που προέκυψαν από το προηγούμενο πείραμα (30 °C για 30 min). Για την τεχνολογία ΠΗΠ χρησιμοποιήθηκαν 9 συνθήκες με ένταση ηλεκτρικού πεδίου από 0,5 έως 1,6 kV/cm και για την τεχνολογία ΥΠ χρησιμοποιήθηκαν 8 συνθήκες με πίεση από 50 έως 600 MPa. Η θερμοκρασία και στις δυο διεργασίες ήταν θερμοκρασία περιβάλλοντος (20 °C) Στον πίνακα 5.2 παρατίθενται αναλυτικά όλες οι συνθήκες της διεργασίας των ΠΗΠ και στον πίνακα 5.3 οι συνθήκες της διεργασίας της ΥΠ.

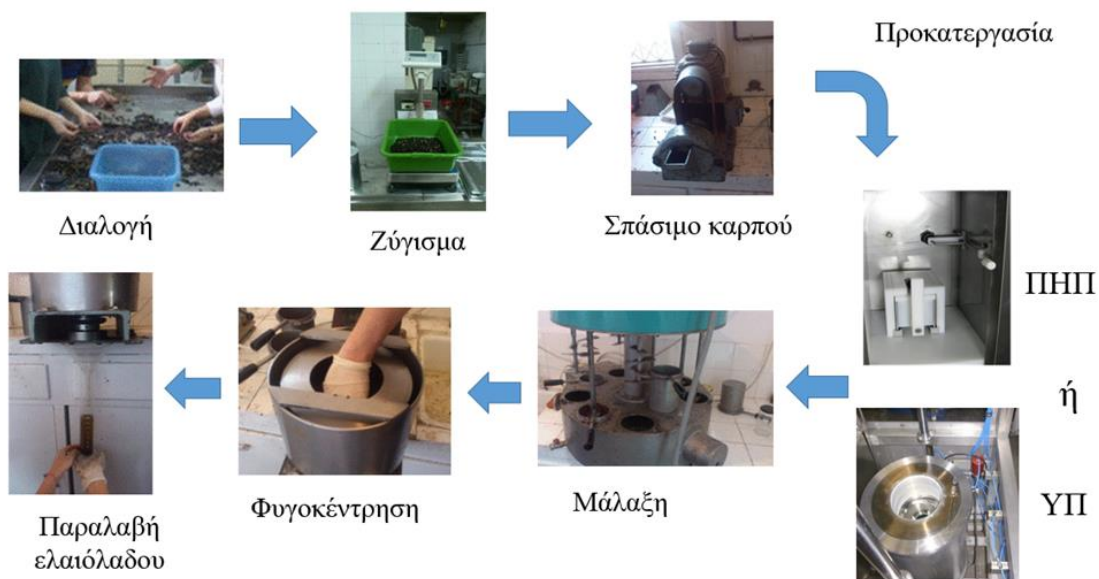
Πίνακας 5.2: Οι συνθήκες της διεργασίας των ΠΗΠ που εφαρμόστηκαν.

α/α συνθήκη	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (kV/cm)	Αριθμός παλμών	Συχνότητα (Hz)	Πλάτος παλμών (μs)
1α	0,5	250	300	15
1β		2250		
2α	0,7	250		
2β		2250		
3α	0,9	250		
3β		2250		
4α	1,4	250		
4β		2250		
5α	1,6	250		
5β		2250		

Πίνακας 5.3: Οι συνθήκες της διεργασίας της ΥΠ.

α/α συνθήκη	Πίεση (MPa)	Χρόνος επεξεργασίας (min)
1	50	1
2		5
3	100	1
4		5
5	200	1
6		5
7	600	1
8		5

Για τα Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία η βέλτιστη συνθήκη επεξεργασίας βρέθηκε ότι είναι η συνθήκη με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9 kV/cm και 250 παλμούς και για τις δυο ποικιλίες ελιάς. Για την Υπερυψηλή Πίεση η βέλτιστη συνθήκη είναι για πίεση 200 MPa για 1 min και για τις δυο ποικιλίες.



Εικόνα 5.1: Διάγραμμα ροής της παραγωγής ελαιόλαδου.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε πλήρες κινητικό πείραμα θερμοκρασίας και χρόνου μάλαξης στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ. Ο σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της μάλαξης στην επεξεργασμένη ελαιόπαστα και η σύγκριση της με την ανεπεξέργαστη. Οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.4: Οι συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου κατά την μάλαξη της επεξεργασμένης ελαιόπαστας.

Προεπεξεργασία	Ποικιλία	Θερμοκρασία επεξεργασίας (°C)	Χρόνος επεξεργασίας (min)
ΠΗΠ (0,9 kV/cm, 250 παλμοί)	Κορωνέικη	15	30
		30	0,10,20,30,40 και 60
		40	30
	Τσουνάτη	15	0,5,12,20,30 και 45
		30	
		40	
ΥΠ (200MPa, 1 min)	Τσουνάτη	15	0,5,12,20,30 και 45
		30	
		40	
	Κορωνέικη	30	30

Αφού ολοκληρωθούν τα κινητικά πειράματα ακολουθεί το στάδιο της φυγοκέντρησης της ανεπεξέργαστης και της επεξεργασμένης ελαιόπαστας. Η φυγοκέντρηση διαρκεί 4 min και η φυγόκεντρος που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην εικόνα 5.2 και φτάνει τις 3.000 στροφές. Έπειτα, συλλέχθηκε το ελαιόλαδο και αποθηκεύτηκε σε γυάλινα δοχεία, τα οποία μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο τροφίμων για τον έλεγχο των ποιοτικών δεικτών του ελαιόλαδου (ελεύθερη οξύτητα, αριθμός υπεροξειδίων, ολικά φαινολικά, απορρόφηση στο υπεριώδες, χλωροφύλλες και καροτένια και ελεύθερα λιπαρά οξέα).

Τέλος, πραγματοποιήθηκε επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας ΠΗΠ (0,9 kV/cm, 250 παλμοί και για τις δυο ποικιλίες) και ΥΠ (200 MPa, 1 min και για τις δυο ποικιλίες) μαζί με ένα τυφλό (ανεπεξέργαστο) δείγμα για σύγκριση, σε τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης: 25, 35 και 45 °C.

5.3 Προσδιορισμός απόδοσης

Στα δείγματα ελαιόλαδου που προέκυψαν μετρήθηκε η απόδοση κατά την παραλαβή τους. Η σχέση που υπολογίζει την απόδοση του ελαιόλαδου μετά την φυγοκέντρηση είναι:

$$\text{Απόδοση ελαιόλαδου \%} = \frac{\text{mL Ελαιόλαδου}}{\text{kg ελιάς που χρησιμοποιήθηκαν}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

Πριν ξεκινήσει το στάδιο της μάλαξης, ζυγίστηκαν τα δοχεία που περιέχουν την πάστα ελιάς. Τα δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν έχουν χωρητικότητα για περίπου 850 ±10 kg ελαιόπαστας.

5.4 Εξοπλισμός

Για το σπάσιμο της ελιάς, τη μάλαξη και τη φυγοκέντρηση της ελαιόπαστας χρησιμοποιήθηκαν συσκευές πιλοτικής κλίμακας του ΕΘΙΑΓΕ.



Εικόνα 5.2: Σπαστήρας, Μαλακτήρας, Φυγόκεντρος

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων με την τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης χρησιμοποιήθηκε η μονάδα Food Pressure Unit FPU 1.01 της Resato International BV (Roden, Holland). Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει μία μονάδα Υπερυψηλής Πίεσης συνδεδεμένη με θάλαμο που είναι κυλινδρικός όγκου 1,5 L και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων προϊόντων.



Εικόνα 5.3: Διάταξη του εξοπλισμού Υπερυψηλής Πίεσης. Στην δεύτερη εικόνα φαίνεται ο κυλινδρικός θάλαμος όπου εισάγεται το προϊόν.

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων με την τεχνολογία των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός Eicrack-5kW,D1L, Quakenbruck, Germany. Αποτελείται από μια γεννήτρια παραγωγής παλμών και ένα θάλαμο διαλείποντος έργου (batch chamber), από ανοξείδωτο χάλυβα με αντίθετα φορτισμένες ηλεκτρικές πλάκες για την επίτευξη του ηλεκτρικού πεδίου και χωρητικότητας 400 mL. Ο θάλαμος έχει διαστάσεις 80 x 100 x 50 mm (κενό μεταξύ των πλακών x μήκος x πλάτος).



Εικόνα 5.4: Διάταξη του εξοπλισμού των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων που χρησιμοποιήθηκε. Στην δεύτερη εικόνα φαίνεται ο θάλαμος διαλείποντος έργου.

5.5 Αναλυτικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των ποιοτικών δεικτών του ελαιόλαδου

5.5.1 Ελεύθερη Οξύτητα

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της οξύτητας του ελαιόλαδου περιγράφεται στη συνέχεια.

Ζυγίστηκαν 2 g ελαιόλαδου σε κωνική φιάλη των 50 mL. Σε αυτήν προστέθηκε ένα μίγμα 25 mL αιθανόλης και 25 mL διμεθυλαιθέρα, το οποίο αναμίχθηκε σε ξεχωριστό δοχείο και εξουδετερώθηκε με δείκτη φαινολοφθαλεΐνης. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε ογκομέτρηση με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1 N μέχρι να αλλάξει το χρώμα του δείγματος από άχρωμο σε φούξια.

Η σχέση από την οποία προκύπτει το ποσοστό ελαϊκού οξέος στο ελαιόλαδο είναι η εξής:

$$\frac{mL NaOH \cdot 282 \cdot 0,1}{10 \cdot m} = \% \text{ ελαϊκό οξύ (5.2)}$$

όπου m τα g του ελαιόλαδου που ζυγίστηκαν και mL NaOH ο όγκος του πρότυπου διαλύματος NaOH στο σημείο αλλαγής χρώματος του δείγματος.

5.5.2 Αριθμός Υπεροξειδίων

Ζυγίστηκε 1 g ελαιόλαδου σε κωνική φιάλη των 50 mL και ύστερα προστέθηκε σε αυτή 20 mL μίγματος οξικού οξέος/χλωροφόρμιου σε αναλογία 3:2 και 0,5 mL κορεσμένου ιωδιούχου καλίου (KI). Πραγματοποιήθηκε ανάδευση για 1 min. Στη συνέχεια προστέθηκαν 20 mL απιονισμένου νερού και 0,5 mL διαλύματος αμύλου (1% w/v). Τέλος, πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα θειοθειικό νάτριο ($Na_2S_2O_3$) 0,01N μέχρι αλλαγή χρώματος από μπλε σε άσπρο και έγινε καταγραφή του όγκου του διαλύματος (mL $Na_2S_2O_3$).

Ο τύπος για τον υπολογισμό των υπεροξειδίων φαίνεται παρακάτω.

$$\frac{mL Na_2S_2O_3 \cdot M \cdot 1000}{m} = meq \text{ υπεροξειδίου/kg ελαιόλαδου (5.3)}$$

όπου m τα g του ελαιόλαδου που ζυγίστηκαν και $M=0,01$ N η κανονικότητα του $Na_2S_2O_3$.

5.5.3 Ολικές Φαινολικές Ενώσεις

Εκχύλιση

Ζυγίστηκαν 6,25 g ελαιόλαδου σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε αραίωση μέχρι την χαραγή με κανονικό εξάνιο. Από την ογκομετρική φιάλη παραλήφθηκαν 20 mL μίγματος ελαιόλαδου/εξανίου και μεταφέρθηκαν σε διαχωριστική χοάνη. Έγιναν 3 πλύσεις του μίγματος ελαιόλαδου/εξανίου με 5 mL μίγματος μεθανόλης/νερού σε αναλογία 80:20. Τέλος, ελήφθησαν τα εκχυλίσματα.



Εικόνα 5.5: Διάταξη για την εκχύλιση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου

Μέτρηση φαινολικών με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu

Η μέθοδος Folin-Ciocalteu χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των ολικών φαινολικών ενώσεων των εκχυλισμάτων. Σε δοκιμαστικούς σωλήνες προστέθηκαν 7,9 mL νερό, 100 μ L εκχυλίσματος και 500 μ L Folin. Πραγματοποιήθηκε ανάδευση με vortex. Στο επόμενο 1,5 min, προστέθηκε 1,5 mL ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) και έγινε περαιτέρω ανάδευση με vortex. Ακολούθως, οι δοκιμαστικοί σωλήνες θερμάνθηκαν σε υδατόλουτρο (Mettler WB, Germany) στους 40 $^{\circ}\text{C}$ για 30 min. Έπειτα έγινε μέτρηση της απορρόφησης με φασματοφωτόμετρο (Hitachi U29000) στα 765 nm.

Για τυφλό δείγμα χρησιμοποιήθηκε το εξάνιο.

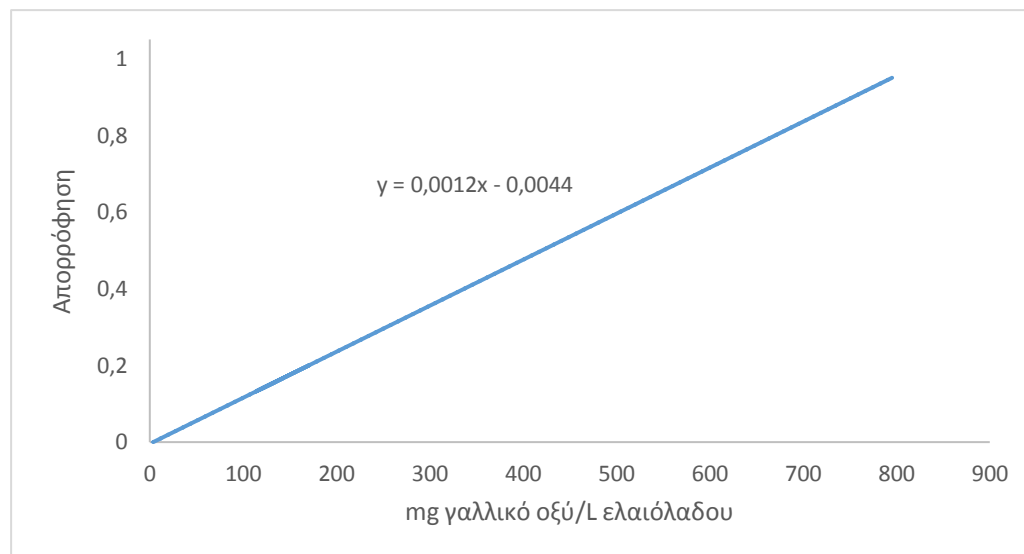
Ο υπολογισμός των ολικών φαινολικών του ελαιόλαδου γίνεται με χρήση των παρακάτω σχέσεων:

$$y = 0,0012 \cdot x - 0,0044 \quad (5.4)$$

$$\frac{150 \cdot x}{8 \cdot 6,27} = \frac{\text{mg γαλλικού οξέος}}{\text{L ελαιόλαδου}} \quad (5.5)$$

όπου y η απορρόφηση στα 765 nm και x η συγκέντρωση σε mg γαλλικού οξέος /L ελαιόλαδου.

Η σχέση (5.4) προκύπτει από την καμπύλη αναφοράς:



Εικόνα 5.6: Καμπύλη αναφοράς Απορρόφησης συναρτήσεως της συγκέντρωσης γαλλικού οξέος στο ελαιόλαδο.

5.5.4 Χλωροφύλλες-Καροτένια

Ζυγίστηκαν 7,5 g ελαιόλαδου σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL και αραιώθηκαν μέχρι την χαραγή με ισοοκτάνιο. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της απορρόφησης σε φασματοφωτόμετρο στα 472 nm για τα καροτένια και στα 630, 670 και 710 nm για τις χλωροφύλλες.

Για τυφλό δείγμα χρησιμοποιήθηκε το ισοοκτάνιο.

Ο υπολογισμός των χλωροφυλλών και των καροτενίων γίνεται με τη βοήθεια των παρακάτω σχέσεων αντίστοιχα.

$$\frac{A_{670} - \frac{(A_{630} + A_{710})}{2}}{10} \cdot 345,3 = \text{mg φαιοφυτίνες /kg ελαιόλαδου} \quad (5.6)$$

$$\frac{2 \cdot A_{472} \cdot 10^6}{200000} = \text{mg λουτεΐνη/kg ελαιόλαδου} \quad (5.7)$$

όπου A_{472} , A_{630} , A_{670} και A_{710} οι απορροφήσεις στα 472, 630, 670 και 710 nm αντίστοιχα.

5.5.5 Απορρόφηση στο υπεριώδες K₂₃₂-K₂₇₀

Σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL ζυγίστηκαν 0,2 g ελαιόλαδου. Αραιώθηκαν μέχρι την χαραγή με ισοοκτάνιο και έγινε μέτρηση της απορρόφησης σε φασματοφωτόμετρο στα 232 και 270 nm.

Για τυφλό δείγμα χρησιμοποιήθηκε το ισοοκτάνιο.

Οι σχέσεις που υπολογίζουν τα K δίνονται στη συνέχεια.

$$K_{232} = \frac{A_{232}}{C \cdot s} \quad (5.8)$$

$$K_{270} = \frac{A_{270}}{C \cdot s} \quad (5.9)$$

όπου A_{232} , A_{270} οι απορροφήσεις στα 232 και 270 nm, αντίστοιχα, C η συγκέντρωση του ελαιόλαδου ανά 100 mL διαλύματος και s το πάχος της κυψελίδας ($s=1\text{cm}$).

5.5.6 Προφίλ ελεύθερων λιπαρών οξέων

Προσδιορισμός της σύστασης των λιπαρών οξέων

Ζυγίστηκαν 0,2 g ελαιόλαδου και προστέθηκαν σε 3 mL εξανίου. Στη συνέχεια, στο μίγμα ελαιόλαδου/εξανίου προστέθηκαν 0,4 mL μεθανολικού υδροξειδίου του καλίου 2N και αναδεύτηκαν με vortex. Οι μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων μετρήθηκαν σε γυάλινο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 2 mm. Ο σωλήνας είναι συσκευασμένος με 5% SP-2340 σε Chromosorb WAW (100-120 πλέγματα). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε έναν αέριο χρωματογράφο (Hewlett-Packard 5880) με ανιχνευτή φλόγας ιονισμού. Άζωτο χρησιμοποιήθηκε ως φέρον αέριο με ρυθμό ροής 28 mL/min. Η θερμοκρασία στο σημείο που έγινε η έγχυση ήταν 220 °C και στον ανιχνευτή 300 °C. Η θερμοκρασία στον σωλήνα ανήλθε σταδιακά στους 80 °C για 2 min.

5.6 Μοντελοποίηση των συνθηκών μάλαξης για την αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο και φαινολικές ενώσεις

Για την μοντελοποίηση των συνθηκών μάλαξης για την αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο και φαινολικές ενώσεις χρησιμοποιήθηκε το κλασματικό μοντέλο 1^{ης} τάξης. Η μορφή της εξίσωσης που χρησιμοποιήθηκε φαίνονται παρακάτω.

Κλασματικό μοντέλο 1^{ης} τάξης:

$$A_t - A_0 = a \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (5.10)$$

όπου A_t : η απόδοση ελαιόλαδου ή φαινολικών ενώσεων σε χρόνο μάλαξης t (%)

A_0 : η απόδοση ελαιόλαδου ή φαινολικών ενώσεων σε χρόνο μάλαξης 0 min (%)

k: ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης (s^{-1})

$a = A_{\text{πλατό}} - A_0$, με $A_{\text{πλατό}}$ να είναι η απόδοση ελαιόλαδου ή φαινολικών ενώσεων στο χρόνο μάλαξης που σταθεροποιείται η απόδοση (%).

Ενώ ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k εξαρτάται από την θερμοκρασία μέσω της εξίσωσης Arrhenius:

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) + \ln k_{ref} \quad (5.11)$$

όπου k_{ref} : ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης αναφοράς (s^{-1})

E_a : η ενέργεια ενεργοποίησης (J)

T, T_{ref} : η θερμοκρασία μάλαξης (K) και η θερμοκρασία αναφοράς (298K ή 25 °C) αντίστοιχα

R : η παγκόσμια σταθερά των αερίων, 8,314 J/K mol

5.7 Επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας των δειγμάτων ελαιόλαδου

Αφού ολοκληρωθούν όλες οι μετρήσεις απόδοσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών του ελαιόλαδου, η βέλτιστη συνθήκη της τεχνολογίας επεξεργασίας τροφίμων των ΠΗΠ (0,9 kV/cm/250 παλμοί και για τις δυο ποικιλίες) και η βέλτιστη συνθήκη της τεχνολογίας της ΥΠ (200 MPa/1 min και για τις δυο ποικιλίες), μαζί με ένα τυφλό, ανεπεξέργαστο δείγμα αποθηκεύτηκαν στις θερμοκρασίες 25, 35, 45 °C με σκοπό την πραγματοποίηση ενός επιταχυνόμενου πειράματος διατηρησιμότητας του ελαιόλαδου. Αφού αποθηκεύτηκαν τα δείγματα στις επιλεγμένες θερμοκρασίες, ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα (αρχικά κάθε 15 μέρες) επαναλαμβάνονταν οι μέθοδοι προσδιορισμού των σημαντικότερων ποιοτικών δεικτών που συνδέονται με τον βαθμό τάγγισης του ελαίου και την οξειδωτική του σταθερότητα (αριθμός υπεροξειδίων, φαινολικές ενώσεις, απορρόφηση στο υπεριώδες, χλωροφύλλες και καροτένια). Ο σκοπός του πειράματος αυτού είναι ο προσδιορισμός του χρόνου ζωής του ελαιόλαδου. Ο χρόνος ζωής του προσδιορίζεται με βάση τον αριθμό των υπεροξειδίων (<20 meq/kg).

5.8 Στατιστική Επεξεργασία

Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), με χρήση πολλών παραμέτρων, για να εκτιμηθεί η σημαντικότητα των διάφορων παραγόντων (θερμοκρασία μάλαξης, χρόνος μάλαξης, συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ) στην απόδοση σε ελαιόλαδο και στους ποιοτικούς του δείκτες. Επιπλέον, εφαρμόστηκε το κριτήριο διαφοράς (Duncan test) με $\alpha=0,05$ για να αποτιμηθούν για κάθε παράγοντα χωριστά οι σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους (απόδοση και ποιοτικοί δείκτες ελαιόλαδου) μεταξύ των εναλλακτικών περιπτώσεων. Για την συσχέτιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών PCA (Principal Component Analysis). Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου του STATISTICA 7.0 (StatSoft, Inc., Tulsa-OK, USA).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Πρώτη ενότητα πειραμάτων – Μάλαξη ανεπεξέργαστης ελαιόπαστας

Στην πρώτη ενότητα πειραμάτων πραγματοποιήθηκε κινητικό πείραμα σε ελαιόπαστα που δεν είχε υποστεί προεπεξεργασία με τις τεχνολογίες ΠΗΠ ή ΥΠ. Όπως αναφέρθηκε στην πειραματική διαδικασία, η ελαιόπαστα μαλάχθηκε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (15, 30, 40 °C) και σε 6 διαφορετικούς χρόνους (για Κορωνέικη: 0, 10, 20, 30, 40 και 60 min, για Τσουνάτη: 0, 5, 12, 20, 30 και 45 min). Έπειτα, ακολούθησε φυγοκέντρηση των δειγμάτων και υπολογίστηκε η απόδοση του ελαιόλαδου. Στην συνέχεια, παρατίθενται σε πίνακες και διαγράμματα τα αποτελέσματα του κινητικού πειράματος θερμοκρασίας και χρόνου μάλαξης στην ανεπεξέργαστη ελαιόπαστα των δυο ποικιλιών, Κορωνέικη και Τσουνάτη. Επίσης, παρουσιάζεται η επίδραση των συνθηκών της μάλαξης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, με σκοπό την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών μάλαξης (θερμοκρασία και χρόνος).

6.1.1 Ποικιλία Κορωνέικη

Τα πειράματα στην Κορωνέικη ποικιλία πραγματοποιήθηκαν χρονικά πρώτα, με αποτέλεσμα η ποικιλία να χρησιμοποιηθεί διερευνητικά για την εύρεση των καλύτερων συνθηκών μάλαξης. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων της Κορωνέικης ποικιλίας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1: Η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην απόδοση του ελαιόλαδου για την ανεπεξέργαστη ελαιόπαστα της Κορωνέικης ποικιλίας.

Θερμοκρασία μάλαξης (°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Απόδοση ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου (%)
15	30	15,24±1,09
	0	1,50±0,11
30	10	17,03±1,48
	20	19,00±0,03
	30	19,03±0,23
	40	18,95±0,23
	60	19,14±0,23
40	30	19,13±0,07

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων.

Στον πίνακα 6.1 φαίνεται ότι η θερμοκρασία και ο χρόνος μάλαξης επηρεάζουν την απόδοση σε ελαιόλαδο. Αυξάνοντας το χρόνο και τη θερμοκρασία μάλαξης, η απόδοση σε ελαιόλαδο αυξάνεται. Για μικρούς χρόνους μάλαξης (πρώτα 10 min), η αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο είναι σημαντική, ενώ στη συνέχεια (μετά από τα πρώτα 30 min) φαίνεται πως η απόδοση δεν αυξάνεται άλλο σημαντικά. Η απόδοση ελαιόλαδου γίνεται μέγιστη στους 40 °C για 30 min αλλά με όχι σημαντική διαφορά με την αντίστοιχη στους 30 °C (0,5% παραπάνω αύξηση απόδοσης). Επίσης, για χρόνο μάλαξης 60 min παρουσιάζεται η μεγαλύτερη απόδοση, όμως η διαφορά συγκριτικά με την μάλαξη στα 30 min στην ίδια θερμοκρασία είναι μικρή και δεν δικαιολογεί την επιπλέον καταπόνηση

της ελαιόπαστας (0,6% επιπλέον αύξηση απόδοσης). Πρέπει να αναφερθεί ότι για χρόνο μάλαξης 0 min, χωρίς μάλαξη δηλαδή, η απόδοση του ελαιόλαδου είναι ελάχιστη σε σύγκριση με την αντίστοιχη για τον μικρότερο χρόνο μάλαξης (10 min μάλαξης).

Πίνακας 6.2: Η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στους ποιοτικούς δείκτες του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου, οξύτητα, αριθμό υπεροξειδίων, K₂₃₂, K₂₇₀ και φαινολικές ενώσεις.

Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Οξύτητα (% ελαϊκό οξύ)	Αριθμός υπεροξειδίων (meq/kg)	K ₂₃₂	K ₂₇₀	Φαινολικές ενώσεις (mg γαλλικού οξέος/L)
15	30	0,64±0,07	5,45±0,44	1,42±0,00	0,11±0,00	202,2±1,4
30	0	0,63±0,04	5,25±0,35	1,42±0,00	0,12±0,01	197,6±35,6
	10	0,65±0,05	5,81±0,33	1,44±0,02	0,14±0,01	219,9±14,9
	20	0,65±0,00	6,47±0,34	1,43±0,11	0,14±0,03	223,5±18,2
	30	0,65±0,12	6,49±1,21	1,44±0,18	0,15±0,03	235,8±32,7
	40	0,69±0,02	6,72±0,00	1,49±0,18	0,16±0,01	237,5±2,1
	60	0,69±0,01	6,93±0,00	1,54±0,17	0,16±0,01	239,0±1,4
40	30	0,78±0,02	6,92±0,04	1,68±0,10	0,15±0,00	244,8±23,1

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων.

Από τον πίνακα 6.2 παρατηρείται ότι η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην οξύτητα του ελαιόλαδου δεν είναι σημαντική, αφού οι τιμές της οξύτητας δεν υπερβαίνουν το 0,8% σε ελαϊκό οξύ, που είναι η οριακή τιμή για να χαρακτηριστεί ένα ελαιόλαδο εξαιρετικά παρθένο. Μόνο στους 40°C για 30 min η οξύτητα προσεγγίζει την οριακή αυτή τιμή.

Ο αριθμός υπεροξειδίων αυξάνεται λίγο καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και ο χρόνος μάλαξης της ελαιόπαστας. Η μεταβολή αυτή όμως δεν είναι σημαντική ώστε να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα και τον χρόνο ζωής του ελαιόλαδου. Σε καμία συνθήκη μάλαξης ο αριθμός υπεροξειδίων δεν πλησιάζει τα 20meq/kg, που σημαίνει ότι δεν έχει υποστεί κάποια οξειδωτική αλλοίωση λόγω των συνθηκών της μάλαξης.

Υπάρχουν μεταβολές στους δείκτες K₂₃₂ και K₂₇₀, οι οποίες όμως είναι μικρές και δεν έχουν αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα του ελαίου. Η θερμοκρασία φαίνεται να επηρεάζει λίγο περισσότερο τους δείκτες K₂₃₂ και K₂₇₀, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία παρατηρείται αύξηση των K₂₃₂ και K₂₇₀ στο ανεπεξέργαστο ελαιόλαδο. Όσον αφορά τον χρόνο μάλαξης, οι μεταβολές των δεικτών διαφέρουν. Ο δείκτης K₂₃₂ παρουσιάζει

αυξομειώσεις καθώς αυξάνεται ο χρόνος μάλαξης, οι οποίες όμως είναι μικρές. Ενώ, ο δείκτης K₂₇₀ παρουσιάζει αύξηση καθώς αυξάνεται ο χρόνος μάλαξης, η οποία και πάλι είναι μικρή.

Τέλος, με αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης αυξήθηκαν οι ολικές φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου. Η μέγιστη συγκέντρωση των ολικών φαινολών παρουσιάζεται στους 40 °C στα 30 min μάλαξης, όπου όμως οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι υψηλότερες συγκριτικά με την συγκέντρωση των ολικών φαινολών στα 30 min μάλαξης στην ίδια θερμοκρασία (3,8% περαιτέρω αύξηση στους 40 °C). Η αύξηση της συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων επιδιώκεται κατά την μάλαξη επειδή οι φαινολικές ενώσεις προσδίδουν μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα στο ελαιόλαδο.

Πίνακας 6.3: Επίδραση της θερμοκρασίας μάλαξης στα ελεύθερα λιπαρά οξέα του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου της Κορωνέικης ποικιλίας.

Ποικιλίες Σύνθεση Λιπαρών Οξέων	Κορωνέικη			Όρια*
	15°C, 30min	30°C, 30min	40°C, 30min	
Μυριστικό	Μη ανιχνεύσιμο	0,02	Μη ανιχνεύσιμο	max 0,03
Παλμιτικό	12,37	11,81	12,43	7,50-20,00
Παλμιτελαϊκό	0,85	0,83	0,84	0,30-3,50
Δεκαεπτανικό	Μη ανιχνεύσιμο	0,03	Μη ανιχνεύσιμο	max 0,30
Δεκαεπτενικό	0,07	0,08	Μη ανιχνεύσιμο	max 0,30
Στεατικό	2,64	2,51	2,64	0,50-5,00
Ελαϊκό	74,57	75,49	74,70	55,00-83,00
Λινελαϊκό	7,79	7,50	7,71	3,50-21,00
Λινολενικό	0,75	0,75	0,74	max 1,00
Εικοσανικό	0,48	0,45	0,47	max 0,60
Εικοσενοϊκό	0,32	0,32	0,30	max 0,40
Βεχενικό	0,16	0,15	0,17	max 0,20
Λιγνοκερικό	Μη ανιχνεύσιμο	0,06	Μη ανιχνεύσιμο	max 0,20
Ελαϊκό/Λινελαϊκό	9,57	10,07	9,69	

*Κανονισμός (ΕΟΚ) 2568/91 και τροποποιήσεις του για το εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο.

Στον πίνακα παρατηρείται ότι το ελαϊκό οξύ και το πηλίκιο ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ παρουσιάζουν την μεγαλύτερη τιμή τους στους 30 °C. Αυτό σημαίνει ότι το ελαιόλαδο που μαλάσσεται στους 30 °C έχει την υψηλότερη οξειδωτική σταθερότητα σε σύγκριση με τις άλλες θερμοκρασίες μάλαξης και επομένως τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Στην περίπτωση της Κορωνέικης ελαιόπαστας οι βέλτιστες συνθήκες που επιλέχθηκαν είναι: οι **30 °C για 30 min**. Η επιλογή των βέλτιστων συνθηκών μάλαξης έγινε με κριτήριο την απόδοση του ελαιόλαδου αλλά και την διατήρηση των ποιοτικών δεικτών του. Όπως παρατηρήθηκε στους παραπάνω πίνακες η επίδραση της θερμοκρασίας μάλαξης στην αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο δεν είναι σημαντική για τις θερμοκρασίες 30 και 40 °C, διατηρώντας σταθερό τον χρόνο μάλαξης στα 30 min (0,5% επιπλέον αύξηση απόδοσης στους 40 °C). Στους ποιοτικούς δείκτες σημαντικές μεταβολές που έχουν την δυνατότητα να επηρεάσουν την ποιότητα του ελαιόλαδου

είχαν τα ολικά φαινολικά και η οξύτητα. Η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών είναι μεγαλύτερη στους 40 °C για 30 min μάλαξης, όμως η οξύτητα του ελαίου σε αυτές τις συνθήκες προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την οριακή τιμή 0,8% σε ελαϊκό οξύ, πάνω από την οποία το λάδι παύει να χαρακτηρίζεται εξαιρετικά παρθένο. Επομένως δεν επιλέγονται οι 40 °C για 30 min μάλαξης ως βέλτιστες συνθήκες μάλαξης. Τέλος, το ελαϊκό οξύ και το πηλίκιο ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ του ελαιόλαδου στους 30 °C για 30 min παρουσιάζουν την μεγαλύτερη τιμή τους, που σημαίνει ότι το ελαιόλαδο που μαλάσσεται σε αυτές τις συνθήκες θα έχει μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα σε σύγκριση με τις άλλες θερμοκρασίες μάλαξης.

6.1.2 Ποικιλία Τσουνάτη

Στην ποικιλία Τσουνάτη πραγματοποιήθηκε πλήρες κινητικό πείραμα θερμοκρασίας και χρόνου μάλαξης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Πίνακας 6.4: Η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην απόδοση του ελαιόλαδου για την ανεπεξέργαστη ελαιόπαστα της ποικιλίας Τσουνάτη.

Θερμοκρασία μάλαξης (°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Απόδοση ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου (%)
15	0	15,06±1,05 ^{1a}
	5	20,24±0,33 ^{1b}
	12	22,88±1,69 ^{1c}
	20	24,91±1,45 ^{1d}
	30	25,99±0,06 ^{1e}
	45	26,70±1,01 ^{1e}
30	0	15,06±1,05 ^{2a}
	5	22,25±0,19 ^{2b}
	12	23,27±1,90 ^{2c}
	20	25,32±0,62 ^{2d}
	30	26,92±1,03 ^{2e}
	45	27,89±0,99 ^{2e}
40	0	15,06±1,05 ^{3a}
	5	22,42±1,06 ^{3b}
	12	25,16±0,01 ^{3c}
	20	26,33±0,14 ^{3d}
	30	28,24±0,00 ^{3e}
	45	28,62±0,41 ^{3e}

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στην απόδοση μεταξύ των χρόνων μάλαξης, ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στην απόδοση μεταξύ των θερμοκρασιών μάλαξης.

Στον πίνακα 6.4 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία και ο χρόνος μάλαξης επιδρούν σημαντικά στην απόδοση του ελαιόλαδου ($p<0,05$). Συγκεκριμένα, με αύξηση είτε της θερμοκρασίας είτε του χρόνου αυξάνεται η απόδοση σε ελαιόλαδο. Μάλιστα η σημασία της μάλαξης στην απόδοση του ελαιόλαδου φαίνεται επειδή η απόδοση αυξήθηκε σημαντικά μετά τα πρώτα 5 min μάλαξης σε όλες τις θερμοκρασίες. Στους 40 °C

παρατηρούνται οι μέγιστες απόδοσεις, όμως σε αυτήν την θερμοκρασία το ελαιόλαδο καταπονείται περισσότερο σε σύγκριση με τους 30 °C χωρίς η αύξηση της απόδοσης να διαφέρει πολύ. Ομοίως, στα 45 min μάλαξης η απόδοση παρουσιάζει μέγιστο, το οποίο όμως δεν διαφέρει σημαντικά από την απόδοση στα 30 min. Επίσης, παρατηρείται ότι η αύξηση της απόδοσης από τους 30 °C στους 40 °C δεν διαφέρει σημαντικά σε σύγκριση με την αύξηση από τους 15 °C στους 30 °C και 40 °C.

Πίνακας 6.5: Επίδραση των συνθηκών μάλαξης στους ποιοτικούς δείκτες του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου, οξύτητα, αριθμό υπεροξειδίων, K₂₃₂ και K₂₇₀.

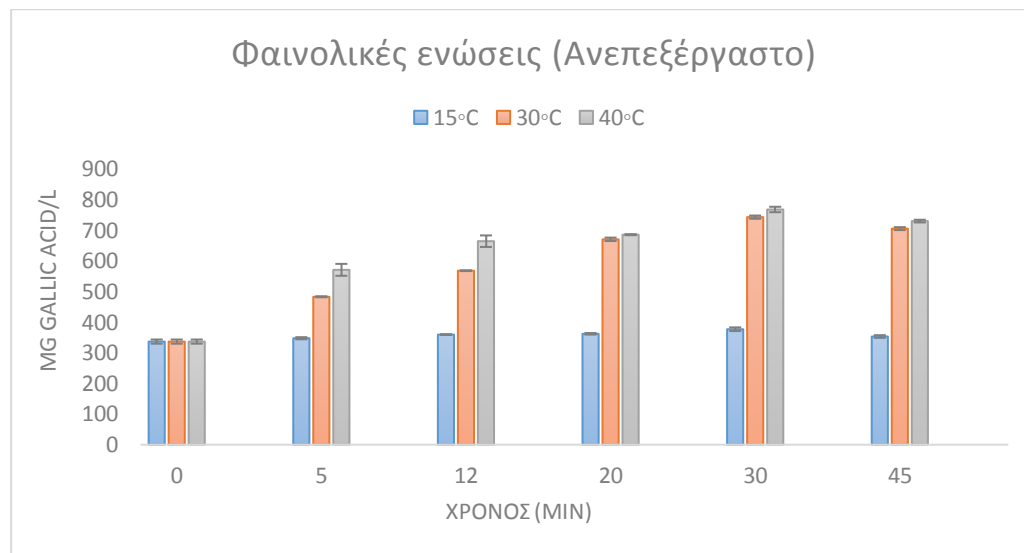
Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Οξύτητα (% ελαιικό οξύ)	Αριθμός υπεροξειδίων (meq/kg)	K ₂₃₂	K ₂₇₀
15	0	0,62±0,09 ^{1a}	5,40±2,03 ^{1a}	1,56±0,07 ^{1a}	0,10±0,02 ^{1a}
	5	0,63±0,16 ^{1b}	5,95±0,26 ^{1b}	1,60±0,03 ^{1b}	0,12±0,01 ^{1b}
	12	0,66±0,05 ^{1c}	6,18±0,26 ^{1b}	1,60±0,08 ^{1bc}	0,12±0,01 ^{1bc}
	20	0,66±0,10 ^{1c}	6,31±0,61 ^{1c}	1,62±0,01 ^{1bcd}	0,12±0,00 ^{1bc}
	30	0,67±0,07 ^{1c}	6,36±0,55 ^{1c}	1,64±0,06 ^{1cd}	0,13±0,02 ^{1c}
	45	0,68±0,04 ^{1d}	6,85±0,19 ^{1d}	1,66±0,01 ^{1d}	0,13±0,02 ^{1c}
30	0	0,62±0,09 ^{1a}	5,40±2,03 ^{1a}	1,56±0,07 ^{2a}	0,10±0,02 ^{2a}
	5	0,63±0,07 ^{1b}	6,17±0,17 ^{1b}	1,62±0,07 ^{2b}	0,13±0,00 ^{2b}
	12	0,67±0,03 ^{1c}	6,15±0,20 ^{1b}	1,66±0,05 ^{2bc}	0,13±0,01 ^{2bc}
	20	0,66±0,05 ^{1c}	6,36±0,85 ^{1c}	1,67±0,00 ^{2bcd}	0,13±0,01 ^{2bc}
	30	0,66±0,07 ^{1c}	6,37±1,07 ^{1c}	1,68±0,00 ^{2cd}	0,13±0,00 ^{2c}
	45	0,70±0,10 ^{1d}	6,85±0,85 ^{1d}	1,69±0,19 ^{2d}	0,13±0,01 ^{2c}
40	0	0,62±0,09 ^{1a}	5,40±2,03 ^{2a}	1,56±0,07 ^{3a}	0,10±0,02 ^{3a}
	5	0,65±0,05 ^{1b}	6,23±2,24 ^{2b}	1,70±0,09 ^{3b}	0,13±0,00 ^{3b}
	12	0,65±0,09 ^{1c}	6,19±0,62 ^{2b}	1,71±0,01 ^{3bc}	0,13±0,00 ^{3bc}
	20	0,69±0,09 ^{1c}	6,87±0,1 ^{2c}	1,73±0,07 ^{3bcd}	0,14±0,00 ^{3bc}
	30	0,67±0,10 ^{1c}	6,78±0,13 ^{2c}	1,75±0,05 ^{3cd}	0,14±0,00 ^{3c}
	45	0,70±0,09 ^{1d}	6,98±0,08 ^{2d}	1,78±0,00 ^{3d}	0,14±0,00 ^{3c}

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά (p<0,05) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων μάλαξης, ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά (p<0,05) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών μάλαξης.

Στον πίνακα 6.5 παρατηρείται ότι η οξύτητα του ελαιόλαδου δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες μάλαξης. Καθώς αυξάνεται ο χρόνος παρατηρείται αύξηση στην οξύτητα (p<0,05), αντίθετα με την αύξηση της θερμοκρασίας οι τιμές της οξύτητας δεν επηρεάζονται (p>0,05). Οι τιμές της οξύτητας δεν προσεγγίζουν την οριακή τιμή, 0,8% σε ελαιικό οξύ, άρα το ελαιόλαδο παραμένει εξαιρετικά παρθένο ανεξάρτητα της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης.

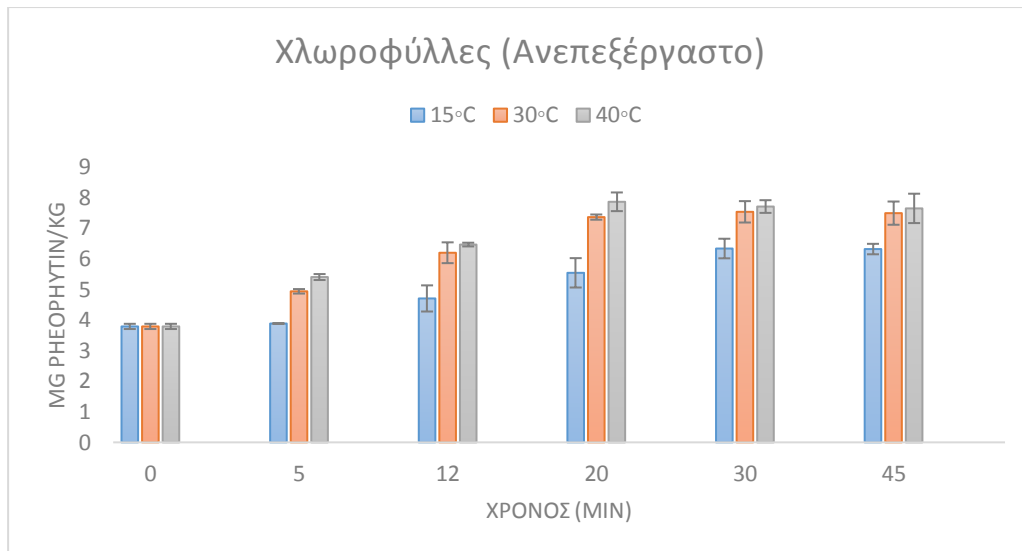
Ο αριθμός υπεροξειδίων του ελαιόλαδου παρουσιάζει αύξηση καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και ο χρόνος μάλαξης (p<0,05). Η μεταβολή αυτή όμως δεν είναι σημαντική ώστε να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα και τον χρόνο ζωής του ελαιόλαδου.

Ο δείκτης K_{232} του ελαιόλαδου αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης ($p < 0,05$), όμως η αύξηση αυτή δεν είναι σημαντική ώστε να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα του ελαίου. Ο δείκτης K_{270} εμφανίζει ακόμα μικρότερη μεταβολή σε σχέση με τον K_{232} . Αυξάνεται ελάχιστα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και ο χρόνος μάλαξης.



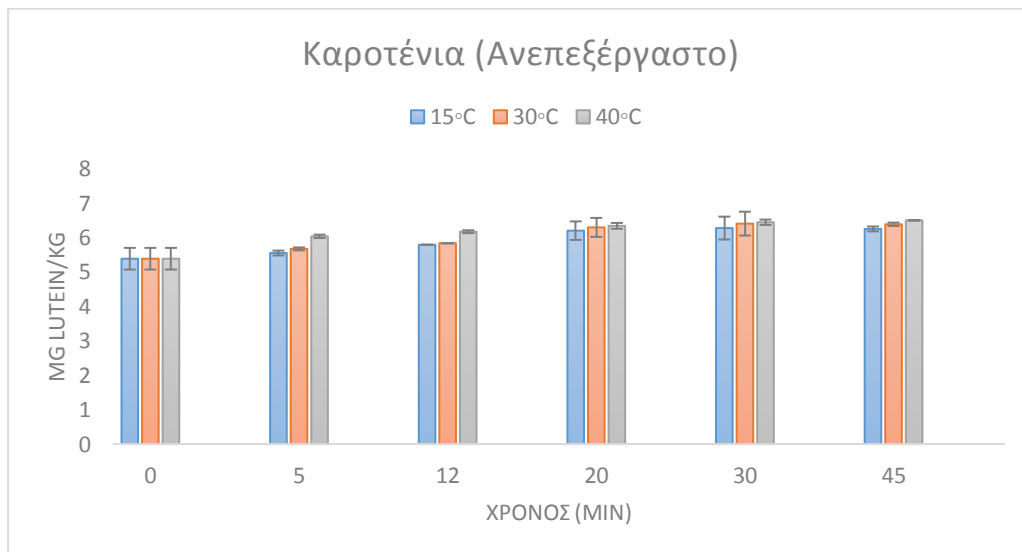
Διάγραμμα 6.1: Επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου.

Στο διάγραμμα 6.1 φαίνεται ότι οι φαινολικές ενώσεις του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου αυξάνονται με τον χρόνο μάλαξης όταν η θερμοκρασία μάλαξης είναι 30 ή 40 °C, ενώ στους 15 °C δεν παρατηρείται μεταβολή. Η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων είναι σημαντική ($p < 0,05$). Φαίνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από 15 °C είναι απαραίτητη για να μπορέσουν να εκχυλιστούν όλες οι ενδοκυτταρικές ενώσεις. Η αύξηση των ολικών φαινολικών υποδηλώνει μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα για το έλαιο και άρα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, επομένως η αύξηση της συγκέντρωσης τους είναι επιθυμητή. Σε μικρούς χρόνους μάλαξης (0-12 min) μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ολικών φαινολικών παρουσιάζονται στους 40 °C, έπειτα όμως η διαφορά μειώνεται και γίνεται ασήμαντη. Επιπλέον, στα 30 min παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φαινολικών σε σχέση με τους άλλους χρόνους μάλαξης.



Διάγραμμα 6.2: Επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου.

Στο διάγραμμα 6.2 παρατηρείται ότι η συγκέντρωση των χλωροφυλλών αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης ($p < 0,05$). Μεγαλύτερες αυξήσεις παρουσιάζονται στις θερμοκρασίες 30 και 40 °C και στους χρόνους 20, 30 και 45 min.



Διάγραμμα 6.3: Επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των καροτενίων του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου.

Από το διάγραμμα 6.3 παρατηρείται ότι τα καροτένια του ελαιόλαδου αυξάνονται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία και ο χρόνος μάλαξης ($p < 0,05$), όχι όμως σε μεγάλο βαθμό. Οι μεταβολές γίνονται λίγο πιο έντονες στους μεγαλύτερους χρόνους μάλαξης (20, 30 και 45 min).

Πίνακας 6.6: Επίδραση της θερμοκρασίας μάλαξης στα ελεύθερα λιπαρά οξέα του ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου της ποικιλίας Τσουνάτη.

Ποικιλίες Σύνθεση Λιπαρών Οξέων	Τσουνάτη			Όρια*
	15°C, 30min	30°C, 30min	40°C, 30min	
Μυριστικό	0,01	Μη ανιχνεύσιμο	0,01	max 0,03
Παλμιτικό	9,23	8,42	9,03	7,50-20,00
Παλμιτελαϊκό	0,50	0,41	0,45	0,30-3,50
Δεκαεπτανικό	0,11	0,12	0,11	max 0,30
Δεκαεπτενικό	0,23	0,21	0,22	max 0,30
Στεατικό	2,47	3,07	2,67	0,50-5,00
Ελαϊκό	80,02	81,37	80,95	55,00-83,00
Λινελαϊκό	4,96	4,97	4,99	3,50-21,00
Λινολενικό	0,45	0,48	0,45	max 1,00
Εικοσανικό	0,45	0,47	0,45	max 0,60
Εικοσενοϊκό	0,30	0,29	0,30	max 0,40
Βεχενικό	0,11	0,14	0,12	max 0,20
Λιγνοκερικό	0,05	0,05	0,05	max 0,20
Ελαϊκό/Λινελαϊκό	16,13	16,37	16,22	

*Κανονισμός (ΕΟΚ) 2568/91 και τροποποιήσεις του για το εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο.

Στον πίνακα 6.6 παρατηρείται ότι το ελαϊκό οξύ και το ηηλικό ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ έχουν την υψηλότερη τιμή τους στους 30 °C. Αυτό σημαίνει ότι το ελαιόλαδο που μαλάσσεται στους 30 °C έχει την μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα σε σύγκριση με τις άλλες θερμοκρασίες μάλαξης και αυτό του προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Η επιλογή των βέλτιστων συνθηκών μάλαξης έγινε με κριτήριο την απόδοση του ελαιόλαδου αλλά και την διατήρηση των ποιοτικών του χαρακτηριστικών. Οι βέλτιστες συνθήκες μάλαξης που επιλέχθηκαν είναι: **στους 30 °C για 30 min**. Η βέλτιστη αυτή συνθήκη από την μία παρουσίασε μία ικανοποιητική απόδοση σε ελαιόλαδο, χωρίς να είναι η μεγαλύτερη που παρατηρήθηκε και από την άλλη οι ποιοτικοί δείκτες του ελαιόλαδου να έχουν παραμείνει όσο το δυνατόν ανεπηρέαστοι.

Συγκεκριμένα η θερμοκρασία των 15 °C παρουσίασε πολύ μικρές τιμές στην οξύτητα, τον αριθμό υπεροξειδίων και τους δείκτες K₂₃₂, K₂₇₀. Όμως, και η απόδοση σε ελαιόλαδο στην ίδια θερμοκρασία παρουσίασε πολύ μικρές τιμές. Στους 30 °C και 40 °C οι αποδόσεις αυξήθηκαν σημαντικά συγκριτικά με τους 15 °C, χωρίς να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά (οξύτητα, αριθμός υπεροξειδίων και K₂₃₂, K₂₇₀) συγκριτικά με την χαμηλή θερμοκρασία των 15 °C (ελαφρώς αυξημένες τιμές στα ποιοτικά των ελαίων που μαλάχθηκαν στους 40 °C). Όμως, παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών ενώσεων και των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου είχε σημαντικές διαφορές στις δυο υψηλές θερμοκρασίες συγκριτικά με τους 15 °C. Η μέγιστη συγκέντρωση αυτών παρατηρήθηκε στους 40 °C, με μικρές διαφορές συγκριτικά με τους 30 °C (3% παραπάνω αύξηση οι ολικές φαινόλες και 2% οι χλωροφύλλες). Από την άλλη, ο αριθμός υπεροξειδίων είχε μικρότερη τιμή στους 30 °C συγκριτικά με τους 40°C. Επίσης, το ελαϊκό οξύ και το ηηλικό ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ είχαν την μεγαλύτερη τιμή στους 30 °C, που σημαίνει ότι το ελαιόλαδο έχει υψηλότερη οξειδωτική

σταθερότητα. Επομένως, επιλέγονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου μάλαξης, οι οποίες προσεγγίζουν την μέγιστη απόδοση σε ελαιόλαδο με παράλληλη διατήρηση της ποιότητας του ελαίου.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε αυτήν την ενότητα πειραμάτων συγκρίθηκαν με άλλες μελέτες που έχουν γίνει πάνω στην επίδραση των συνθηκών μάλαξης στην απόδοση του ελαιόλαδου, χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια προεπεξεργασία. Σύμφωνα με τους Kalua et al (2006), οι οποίοι χρησιμοποίησαν θερμοκρασίες μάλαξης 15, 30, 45 και 60°C και χρόνους 30, 60, 90 και 120 min σε ελαιόπαστα ποικιλίας Frantoio. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους έδειξαν ότι ο χρόνος και η θερμοκρασία μάλαξης επηρεάζουν σημαντικά την αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο, με τους 45°C όμως να παρουσιάζουν μικρότερες αποδόσεις σε σχέση με τις άλλες θερμοκρασίες, που μπορεί να οφείλεται στην αλλαγή της ρεολογίας της ελαιόπαστας με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό του ελαίου στην ελαιόπαστα. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στους 30°C για 90 min μάλαξης (με διαφορά 14% από τα 30 min μάλαξης στην ίδια θερμοκρασία). Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας μάλαξης παρατηρήθηκε αύξηση των φαινολικών ενώσεων, ενώ ο χρόνος δεν επηρέασε σημαντικά την συγκέντρωση των φαινολών. Οι Inarejos-Garcia et al (2009) χρησιμοποίησαν ελιές ποικιλίας Cornicabra, οι οποίες μαλάχθηκαν σε θερμοκρασίες 20, 28 και 40°C και χρόνους 30, 60 και 90 min. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με αύξηση του χρόνου και της θερμοκρασίας μάλαξης αυξήθηκε η απόδοση σε ελαιόλαδο, με την επίδραση της θερμοκρασίας να είναι σημαντικότερη. Στην αύξηση της συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων μεγαλύτερη επίδραση είχε η αύξηση της θερμοκρασίας παρά του χρόνου μάλαξης.

Επομένως, από την σύγκριση των διάφορων ερευνών προκύπτει ότι τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας έρχονται σε συμφωνία με άλλες μελέτες με διαφορές στις τιμές που οφείλονται στις διαφορετικές ποικιλίες ελιάς που χρησιμοποίησε η κάθε έρευνα για τα πειράματα της.

6.2 Δεύτερη ενότητα πειραμάτων – Προεπεξεργασία με ΠΗΠ ή ΥΠ

Στην ενότητα αυτή πραγματοποιήθηκε κινητικό πείραμα με ΠΗΠ σε 4 συνθήκες έντασης ηλεκτρικού πεδίου (0,5 έως 1,4 kV/cm) και διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας (250 και 2250 παλμοί, 15μs πλάτος παλμού, 300Hz συχνότητα) και κινητικό πείραμα με ΥΠ σε 4 συνθήκες πίεσης (50 έως 600 MPa) και 2 χρόνους επεξεργασίας (1 και 5 min) στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης που προέκυψαν από την προηγούμενη ενότητα (30°C και 30 min). Στην συνέχεια, έγινε φυγοκέντρωση των επεξεργασμένων δειγμάτων και υπολογίστηκε η απόδοση σε ελαιόλαδο. Ακολούθως, παρουσιάζονται σε πίνακες τα αποτελέσματα του κινητικού πειράματος των τεχνολογιών ΠΗΠ και ΥΠ για τις ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν (Κορωνέικη, Τσουνάτη).

6.2.1 Ποικιλία Κορωνέικη

Πίνακας 6.7: Η επίδραση των συνθηκών της διεργασίας ΠΗΠ στην απόδοση του ελαιόλαδου για την Κορωνέικη ποικιλία στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

Συνθήκες	Δείγματα	Απόδοση ελαιόλαδου Κορωνέικης (%)	Αύξηση απόδοσης επεξεργασμένου με ΠΗΠ ελαιόλαδου σε σύγκριση με ανεπεξέργαστο (%)
-	ανεπεξέργαστο	19,02±0,91	-
f=300Hz, τ=15μ,250 παλμοί	0,5kV/cm	19,12±0,65	0,53
	0,7kV/cm	19,52±0,34	2,63
	0,9kV/cm	19,75±1,86	3,84
	1,6kV/cm	19,88±1,61	4,52
f=300Hz, τ=15μ,2250 παλμοί	0,5kV/cm	19,08±0,04	0,32
	0,7kV/cm	19,64±0,51	3,26
	0,9kV/cm	20,08±2,53	5,57
	1,6kV/cm	20,04±1,61	5,36

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων.

Στον πίνακα 6.7 φαίνεται ότι στην Κορωνέικη ποικιλία η προεπεξεργασία με την τεχνολογία ΠΗΠ αυξάνει την απόδοση σε ελαιόλαδο, αυτό εξηγείται επειδή η κυτταρική μεμβράνη του ελαιόκαρπου διαρρηγνύεται με την ένταση των συνθηκών των ΠΗΠ που εφαρμόστηκαν και απελευθερώνεται μεγαλύτερη ποσότητα ελαίου. Η μεγαλύτερη αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο επιτυγχάνεται σε ένταση πεδίου 0,9kV/cm και 2250 παλμούς. Οι συνθήκες αυτές όμως είναι έντονες και προκαλούν περαιτέρω καταπόνηση της ελαιόπαστας, και κατά επέκταση του ελαιόλαδου, που μπορεί να οδηγήσει σε πιθανά αρνητικά αποτελέσματα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Επιπλέον, η συνθήκη έχει υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις ώστε να επιλεχθεί ως βέλτιστη. Για ένταση πεδίου **0,9kV/cm και 250 παλμούς**, συνθήκη πιο ήπια, η αύξηση της απόδοσης είναι αρκετά σημαντική (3,84% αύξηση σε σχέση με το ανεπεξέργαστο).

Στην συνέχεια, παρατίθενται τα αποτελέσματα της επίδρασης των συνθηκών της επεξεργασίας με ΠΗΠ στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου της Κορωνέικης ποικιλίας στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

Πίνακας 6.8: Η επίδραση των συνθηκών ΠΗΠ στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, οξύτητα, αριθμό υπεροξειδίων, K₂₃₂ και K₂₇₀ στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

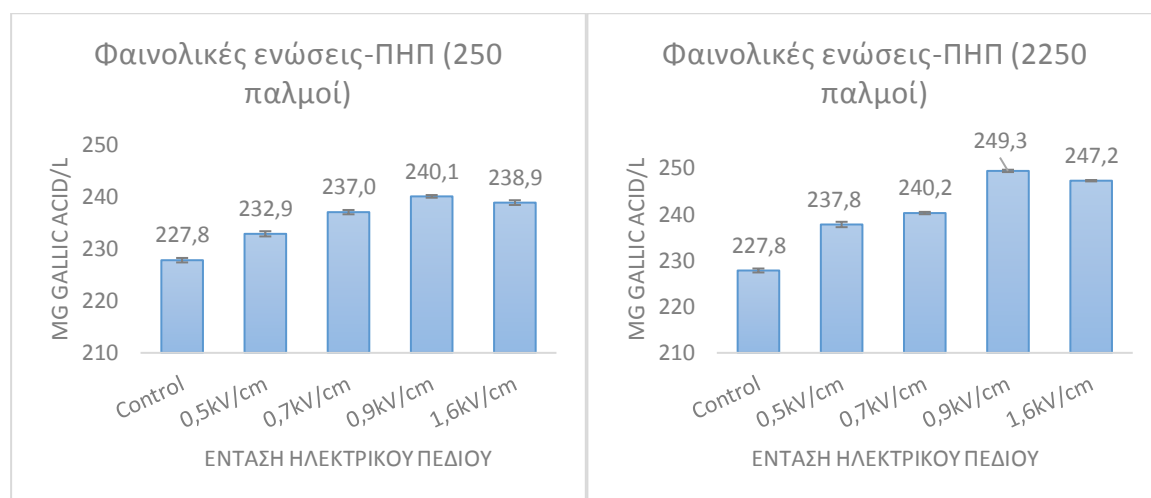
Συνθήκες	Δείγματα	Οξύτητα (% ελαιικό οξύ)	Αριθμός υπεροξειδίων (meq/kg)	K ₂₃₂	K ₂₇₀
-	ανεπεξεργαστο	0,65±0,06	6,49±1,21	1,53±0,14	0,15±0,03
f=300Hz, τ=15μ,250 παλμοί	0,5kV/cm	0,65±0,04	6,31±0,47	1,58±0,10	0,14±0,01
	0,7kV/cm	0,67±0,04	6,44±0,07	1,55±0,08	0,15±0,01
	0,9kV/cm	0,65±0,01	6,32±0,80	1,57±0,21	0,15±0,01
	1,6kV/cm	0,67±0,03	6,64±0,30	1,59±0,04	0,16±0,01
f=300Hz, τ=15μ,2250 παλμοί	0,5kV/cm	0,67±0,05	6,63±0,51	1,67±0,01	0,15±0,02
	0,7kV/cm	0,68±0,04	6,73±0,51	1,71±0,01	0,16±0,02
	0,9kV/cm	0,69±0,03	6,66±0,52	1,72±0,07	0,16±0,02
	1,6kV/cm	0,70±0,05	6,94±0,31	1,99±0,04	0,18±0,01

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 6.8 η οξύτητα του ελαιόλαδου δεν μεταβάλλεται σημαντικά όταν αυτό επεξεργάζεται με την τεχνολογία των ΠΗΠ. Έτσι, το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο (<0,8% ελαιικό οξύ) που παράγεται από τις ελιές της Κορωνέικης ποικιλίας παραμένει εξαιρετικά παρθένο και μετά από την επεξεργασία με ΠΗΠ.

Ο αριθμός υπεροξειδίων του επεξεργασμένου ελαιόλαδου έχει μικρές μεταβολές σε σχέση με το ανεπεξεργαστο ελαιόλαδο. Οι μεταβολές αυτές όμως δεν είναι σημαντικές ώστε να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του ελαιόλαδου. Σε καμία συνθήκη επεξεργασίας με ΠΗΠ ο αριθμός υπεροξειδίων δεν πλησιάζει τα 20 meq/kg, που σημαίνει ότι δεν έχει υποστεί κάποια οξειδωτική αλλοίωση λόγω επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Οι μεταβολές των δεικτών K₂₃₂ και K₂₇₀ του επεξεργασμένου ελαιόλαδου σε σύγκριση με το ανεπεξεργαστο δεν είναι σημαντικές και δεν επηρεάζουν την ποιότητα και τον χρόνο ζωής του ελαιόλαδου. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις εμφανίζονται στην μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου (1,6 kV/cm).



Διάγραμμα 6.4: Η επίδραση των συνθηκών ΠΗΠ για 250 και 2250 παλμούς στις συνολικές φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Στο διάγραμμα 6.4 παρατηρείται ότι οι φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου επηρεάζονται σημαντικά από την επεξεργασία με ΠΗΠ. Καθώς αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνεται και η συγκέντρωση των ολικών φαινολών, με εξαίρεση την ένταση 1,6kV/cm όπου η συγκέντρωση των φαινολικών μειώνεται λίγο, αλλά παραμένει υψηλότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη των υπόλοιπων συνθηκών. Η μέγιστη συγκέντρωση παρατηρείται στην συνθήκη για ένταση πεδίου 0,9 kV/cm και 2250 παλμούς, με διαφορά 3,9% από την συνθήκη 0,9 kV/cm και 250 παλμούς η οποία είναι πιο ήπια. Η αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών φαινολικών με την επεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ, μεταφράζεται σε μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα και αυξημένη διάρκεια ζωής για το ελαιόλαδο κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η προεπεξεργασία με ΠΗΠ δεν επηρεάζει σημαντικά του ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, εκτός από την συγκέντρωση των ολικών φαινολικών ενώσεων. Επομένως, η αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών φαινολικών ενώσεων θα καθορίσει τη βέλτιστη συνθήκη επεξεργασίας με την τεχνολογία των ΠΗΠ, αφού όπως έχει προαναφερθεί οι φαινολικές ενώσεις συμβάλουν στην οξειδωτική σταθερότητα του ελαίου. Η βέλτιστη συνθήκη που επιλέχθηκε είναι η συνθήκη με ένταση ηλεκτρικού πεδίου **0,9kV/cm και 250 παλμούς**, στην οποία οι φαινολικές ενώσεις προσεγγίζουν την μέγιστη τιμή τους και η απόδοση σε ελαιόλαδο προσεγγίζει την μέγιστη αύξηση της, με μια διαφορά 1,7%.

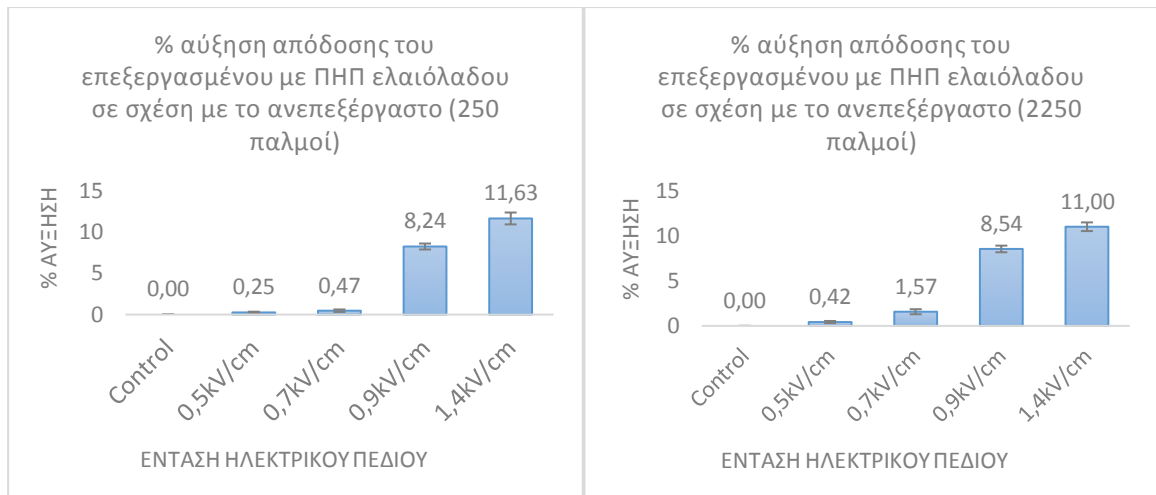
6.2.2 Ποικιλία Τσουνάτη

Τα αποτελέσματα της επίδρασης της επεξεργασίας με την τεχνολογία των ΠΗΠ στην απόδοση σε ελαιόλαδο για την ποικιλία Τσουνάτη στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Πίνακας 6.9: Η επίδραση των συνθηκών της διεργασίας ΠΗΠ στην απόδοση του ελαιόλαδου για την ποικιλία ελιάς Τσουνάτη στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

Συνθήκες	Δείγματα	Απόδοση ελαιόλαδου Τσουνάτης (%)	Αύξηση απόδοσης επεξεργασμένου με ΠΗΠ ελαιόλαδου σε σύγκριση με ανεπεξέργαστο (%)
-	ανεπεξέργαστο	23,55±0,00	-
f=300Hz, τ=15μ,250 παλμοί	0,5kV/cm	23,61±0,09 ^{1a}	0,25
	0,7kV/cm	23,66±0,15 ^{1a}	0,47
	0,9kV/cm	25,49±0,36 ^{2a}	8,24
	1,4kV/cm	26,29±0,72 ^{3a}	11,63
f=300Hz, τ=15μ,2250 παλμοί	0,5kV/cm	23,65±0,12 ^{1a}	0,42
	0,7kV/cm	23,92±0,28 ^{1a}	1,57
	0,9kV/cm	25,56±0,37 ^{2a}	8,54
	1,4kV/cm	26,14±0,48 ^{3a}	11,00

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά (p<0,05) της αύξησης στην απόδοση μεταξύ των χρόνων επεξεργασίας (αριθμός παλμών), ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά (p<0,05) της αύξησης στην απόδοση μεταξύ των εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου.



Διάγραμμα 6.5: Η διαφορά της απόδοσης σε ελαιόλαδο του επεξεργασμένου ελαιόλαδου συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο για 250 και 2250 παλμούς.

Στον πίνακα 6.9, καθώς και στο διάγραμμα 6.5 παρατηρείται ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου επιδρά σημαντικά στην απόδοση σε ελαιόλαδο ($p < 0,05$). Για μικρές εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου (0,5-0,7kV/cm) η απόδοση του ελαιόλαδου δεν μεταβάλλεται αισθητά. Η αύξηση της απόδοσης φαίνεται στις μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου 0,9 και 1,4 kV/cm, όπου η ελαιόπαστα επεξεργάστηκε σε πιο έντονες συνθήκες. Αυτό συμβαίνει επειδή το μέγεθός του καρπού της Τσουνάτης ελιάς είναι μεγάλο και άρα χρειάζεται πιο έντονες συνθήκες για να διαρρηχθεί η μεμβράνη των κυττάρων της ελιάς. Σε κάθε περίπτωση όμως η επεξεργασία με ΠΗΠ οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Η μέγιστη απόδοση εμφανίζεται στην ένταση ηλεκτρικού πεδίου 1,4kV/cm, η ένταση αυτή όμως είναι ακραία και έχει υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Από το πείραμα φαίνεται ότι ο χρόνος επεξεργασίας με ΠΗΠ δεν επηρεάζει την αύξηση σε ελαιόλαδο ($p > 0,05$), καθώς φαίνεται ότι για ίδια ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε δυο διαφορετικούς χρόνους (250 και 2250 παλμούς) η αύξηση της απόδοσης είναι σχεδόν ίδια. Για παράδειγμα, για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9 kV/cm, αλλά 2250 παλμούς παρουσιάζεται μεγαλύτερη απόδοση από την συνθήκη 0,9 kV/cm, 250 παλμούς κατά 0,27%, ποσοστό μικρό που και πάλι δεν δικαιολογεί την εφαρμογή μεγαλύτερης ενέργειας. Επομένως, η συνθήκη ΠΗΠ που επιλέχθηκε με βάση την αύξηση της απόδοσης είναι για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9 kV/cm και 250 παλμούς.

Η συνθήκη ΠΗΠ όμως που θα επιλεγεί ως βέλτιστη πρέπει να ικανοποιεί και τους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου ώστε να μην επηρεάζεται η ποιότητά του μετά από την προεπεξεργασία.

Πίνακας 6.10: Επίδραση των συνθηκών ΠΗΠ στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, οξύτητα, αριθμό υπεροξειδίων, K_{232} και K_{270} στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

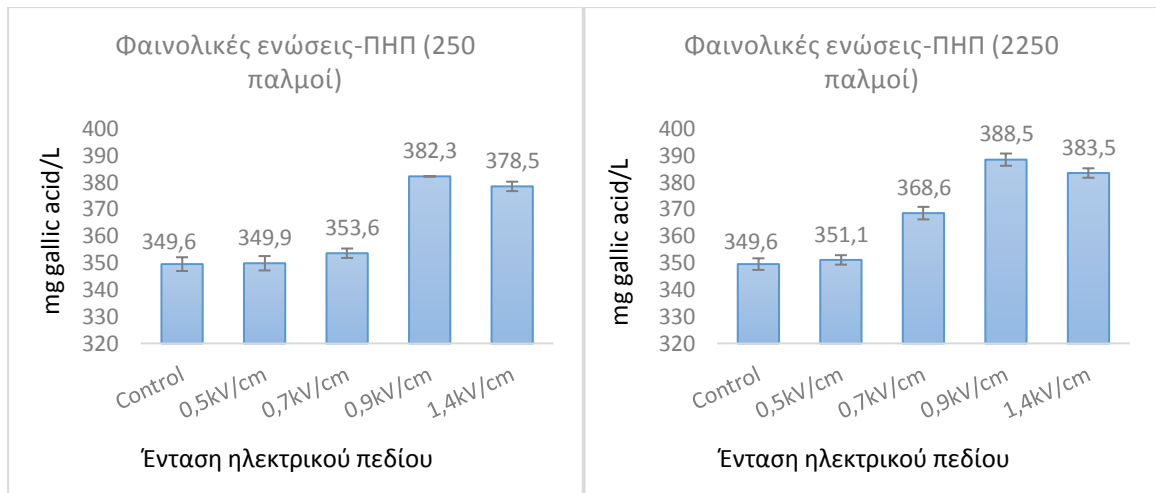
Συνθήκες	Δείγματα	Οξύτητα (% ελαϊκό οξύ)	Αριθμός υπεροξειδίων (meq/kg)	K_{232}	K_{270}
-	ανεπεξεργαστο	0,66±0,05	6,71±1,69	1,39±0,25	0,12±0,01
f=300Hz, τ=15μ,250 παλμοί	0,5kV/cm	0,68±0,01	6,69±0,38 ^{1a}	1,46±0,06 ^{1a}	0,13±0,00
	0,7kV/cm	0,70±0,00	6,60±0,05 ^{1a}	1,48±0,03 ^{1a}	0,13±0,00
	0,9kV/cm	0,70±0,05	6,68±0,06 ^{1a}	1,55±0,08 ^{1a}	0,13±0,01
	1,4kV/cm	0,72±0,03	6,52±0,35 ^{1a}	1,61±0,01 ^{2a}	0,13±0,01
f=300Hz, τ=15μ,2250 παλμοί	0,5kV/cm	0,69±0,01	6,90±1,35 ^{1b}	1,45±0,00 ^{1a}	0,13±0,00
	0,7kV/cm	0,70±0,00	7,05±0,19 ^{1b}	1,52±0,01 ^{1a}	0,13±0,01
	0,9kV/cm	0,69±0,13	7,46±0,35 ^{1b}	1,52±0,00 ^{1a}	0,13±0,01
	1,4kV/cm	0,76±0,08	7,57±0,28 ^{1b}	1,65±0,00 ^{2a}	0,13±0,01

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριών μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων επεξεργασίας (αριθμός παλμών), ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου.

Στον πίνακα 6.10 παρατηρείται ότι η οξύτητα του επεξεργασμένου με ΠΗΠ ελαιόλαδου δεν επηρεάζεται σημαντικά ($p>0,05$) από την αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και του χρόνου επεξεργασίας με ΠΗΠ (αυξάνεται με μικρό ρυθμό). Οι τιμές της οξύτητας δεν ξεπερνούν την οριακή τιμή 0,8% σε ελαϊκό οξύ, επομένως το ελαιόλαδο παραμένει εξαιρετικά παρθένο και μετά από την επεξεργασία με ΠΗΠ. Μόνο στην συνθήκη 1,4kV/cm, 2250 παλμούς η οξύτητα προσεγγίζει την οριακή τιμή.

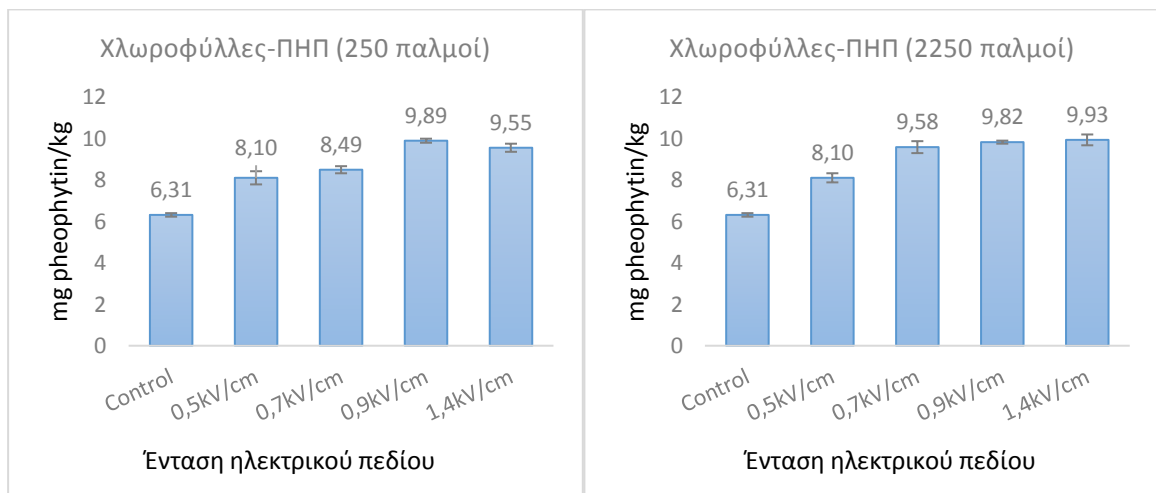
Ο αριθμός υπεροξειδίων του επεξεργασμένου ελαιόλαδου παρουσιάζει μικρές μεταβολές καθώς αυξάνεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ($p>0,05$) και ο χρόνος επεξεργασίας ($p<0,05$), οι οποίες όμως δεν επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του ελαιόλαδου. Ο αριθμός υπεροξειδίων δεν πλησιάζει τα 20meq/kg ανεξάρτητα από τις συνθήκες ΠΗΠ, που δηλώνει ότι η επεξεργασία με ΠΗΠ δεν προκαλεί οξειδωτική αλλοίωση στο ελαιόλαδο.

Ο δείκτης K_{232} αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ($p<0,05$). Αντίθετα, οι μεταβολές του δείκτη K_{270} λόγω προεπεξεργασίας του ελαιόλαδου με ΠΗΠ είναι ελάχιστες ($p>0,05$). Οι μεταβολές και των δυο δεικτών δεν θεωρούνται σημαντικές για την ποιότητα του ελαιόλαδου.



Διάγραμμα 6.6: Η επίδραση των συνθηκών ΠΗΠ για 250 και 2250 παλμούς στις συνολικές φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

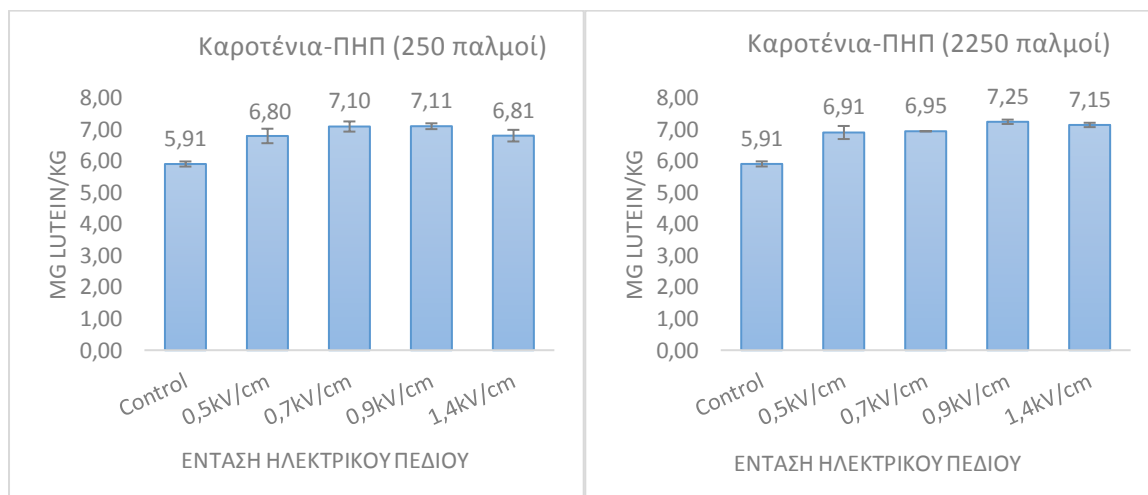
Στο διάγραμμα 6.6 παρατηρείται ότι οι φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου επηρεάζονται σημαντικά από την προεπεξεργασία με ΠΗΠ ($p < 0,05$). Οι ολικές φαινόλες αυξάνονται με την αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, ενώ ο χρόνος επεξεργασίας με ΠΗΠ δεν επηρεάζει σημαντικά ($p > 0,05$). Με σταθερό τον χρόνο επεξεργασίας με ΠΗΠ στους 250 παλμούς, για μικρές εντάσεις (0,5 και 0,7 kV/cm) η αύξηση τους γίνεται με αργό ρυθμό, ενώ για ένταση 0,9 kV/cm παρουσιάζεται η μεγαλύτερη αύξηση. Σε κάθε περίπτωση η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη του ανεπεξέργαστου ελαίου, που σημαίνει ότι με την προεπεξεργασία με ΠΗΠ το ελαιόλαδο θα αποκτήσει μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων.



Διάγραμμα 6.7: Η επίδραση των συνθηκών ΠΗΠ για 250 και 2250 παλμούς στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Από το διάγραμμα 6.7 φαίνεται ότι με αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνεται η συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου. Επίσης, στο επεξεργασμένο με ΠΗΠ ελαιόλαδο οι χλωροφύλλες είναι αυξημένες σε σύγκριση με το ανεπεξέργαστο. Όμως, η αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, καθώς και του

χρόνου επεξεργασίας με ΠΗΠ δεν επηρεάζει σημαντικά ($p>0,05$) την αύξηση της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου. Φαίνεται ότι η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών επιτεύχθηκε για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9kV/cm, μετά την οποία δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9kV/cm γίνεται διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης και απελευθερώνεται όλη η ποσότητα των χλωροφυλλών που βρίσκεται στο εσωτερικό της.



Διάγραμμα 6.8: Η επίδραση των συνθηκών ΠΗΠ για 250 και 2250 παλμούς στην συγκέντρωση των καροτένιων του ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Στο διάγραμμα 6.8 παρατηρείται ότι με επεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ τα καροτένια αυξάνονται σε σχέση με τα αντίστοιχα του ανεπεξεργαστού ελαιόλαδου. Όμως, η επίδραση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και του χρόνου επεξεργασίας δεν είναι σημαντική ($p>0,05$). Η συγκέντρωση των καροτένιων μεγιστοποιείται για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9kV/cm. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί επειδή στην συγκεκριμένη ένταση ηλεκτρικού πεδίου επιτεύχθηκε η διάρρηξη της μεμβράνης των κυττάρων της ελιάς και απελευθερώθηκε η συνολική ποσότητα καροτένιων που βρισκόταν στο εσωτερικό του κυττάρου.

Επομένως, η βέλτιστη συνθήκη ΠΗΠ με βάση και των ποιοτικών δεικτών που επιλέχθηκε είναι η **0,9kV/cm και 250 παλμοί**, στην οποία οι συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καροτένιων μεγιστοποιούνται.

Έπειτα παρατίθενται τα αποτελέσματα της προεπεξεργασίας με την τεχνολογία της ΥΠ στην απόδοση σε ελαιόλαδο για την ποικιλία Τσουνάτη στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Πίνακας 6.11: Η επίδραση των συνθηκών της διεργασίας ΥΠ στην απόδοση του ελαιόλαδου για την ποικιλία ελιάς Τσουνάτη στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

Δείγματα	Απόδοση ελαιόλαδου Τσουνάτης (%)	Αύξηση απόδοσης επεξεργασμένου με ΥΠ ελαιόλαδου σε σύγκριση με ανεπεξέργαστο (%)
ανεπεξέργαστο	28,27±2,10	-
50MPa, 1 min	30,42±0,43	7,61
100MPa, 1 min	30,56±0,09	8,10
200MPa, 1 min	30,52±0,65	7,96
600MPa, 1 min	30,70±0,10	8,60
50MPa, 5 min	29,43±1,16	4,10
100MPa, 5 min	29,17±0,57	3,18
200MPa, 5 min	30,00±0,83	6,12
600MPa, 5 min	31,33±0,00	10,82

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων.

Από τον πίνακα 6.11 παρατηρείται ότι το επεξεργασμένο με ΥΠ ελαιόλαδο παρουσιάζει αυξημένες αποδόσεις συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο σε όλες τις συνθήκες ΥΠ. Επιπλέον, φαίνεται ότι η ασκούμενη πίεση της διεργασίας αλλά και ο χρόνος επεξεργασίας δεν επηρεάζουν σημαντικά την αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο ($p>0,05$), αφού όπως φαίνεται στις διάφορες συνθήκες ΥΠ δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των αποδόσεων σε ελαιόλαδο. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία της ΥΠ εφαρμόζεται ομοιόμορφα και ακαριαία στην ελαιόπαστα, έτσι η αύξηση της πίεσης και του χρόνου επεξεργασίας δεν έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση του ελαιόλαδου. Επομένως η επιλογή της βέλτιστης συνθήκης ΥΠ γίνεται με βάση τους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 6.12: Επίδραση των συνθηκών ΥΠ στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, οξύτητα, αριθμό υπεροξειδίων, K232 και K270 στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

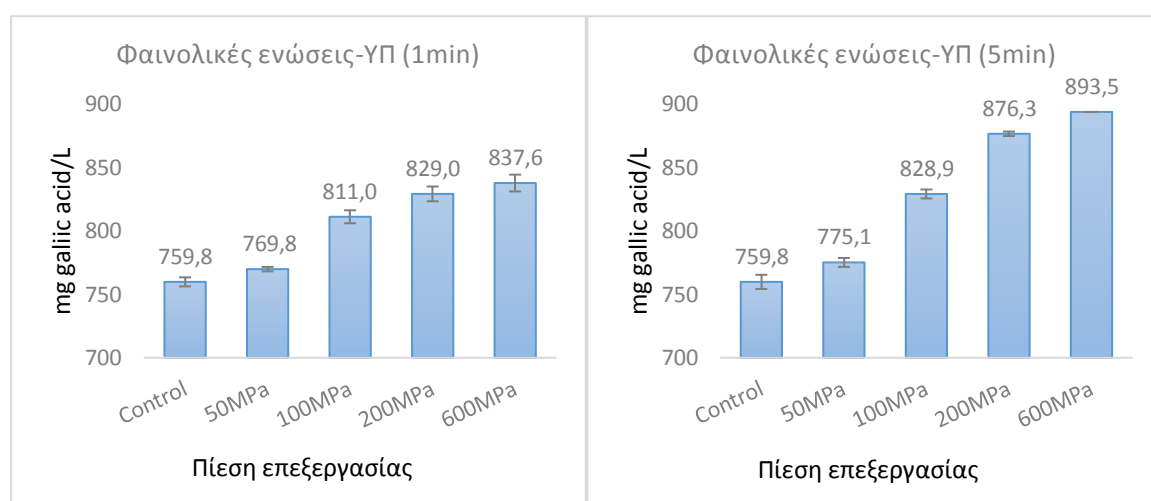
Δείγματα	Οξύτητα(% ελαϊκό οξύ)	Αριθμός υπεροξειδίων(meq/kg)	K232	K270
ανεπεξέργαστο	0,73±0,04	6,79±1,59	1,49±0,10	0,11±0,01
50MPa, 1min	0,75±0,01	6,22±0,81 ^{1a}	1,47±0,00 ^{1a}	0,11±0,00 ^{12a}
100MPa, 1min	0,73±0,08	6,30±0,63 ^{12a}	1,41±0,02 ^{2a}	0,10±0,00 ^{1a}
200MPa, 1min	0,77±0,03	6,55±0,35 ^{23a}	1,55±0,05 ^{3a}	0,11±0,01 ^{23a}
600MPa, 1min	0,74±0,00	6,89±0,03 ^{3a}	1,56±0,04 ^{3a}	0,12±0,01 ^{3a}
50MPa, 5min	0,74±0,01	6,24±0,40 ^{1a}	1,48±0,01 ^{1a}	0,11±0,01 ^{12a}
100MPa, 5min	0,75±0,00	6,53±0,17 ^{12a}	1,44±0,00 ^{2a}	0,10±0,00 ^{1a}
200MPa, 5min	0,76±0,03	6,76±0,05 ^{23a}	1,54±0,01 ^{3a}	0,12±0,00 ^{23a}
600MPa, 5min	0,80±0,03	6,86±0,02 ^{3a}	1,56±0,04 ^{3a}	0,13±0,00 ^{3a}

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων επεξεργασίας, ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των πιέσεων.

Στον πίνακα 6.12 φαίνεται ότι η επεξεργασία με ΥΠ δεν επηρεάζει σημαντικά την οξύτητα ($p>0,05$). Όμως, για πίεση 600 MPa και 5 min η οξύτητα προσεγγίζει την οριακή τιμή 0,8% ελαιικό οξύ, πάνω από την οποία το ελαιόλαδο παύει να χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικά παρθένο.

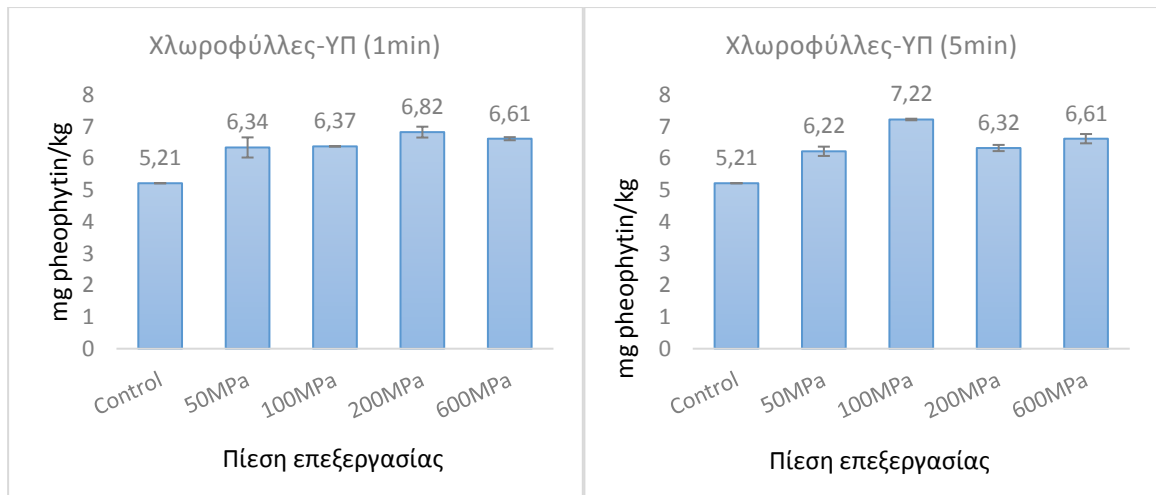
Ο αριθμός υπεροξειδίων του επεξεργασμένου ελαιόλαδου αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης ($p<0,05$), ενώ παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά για 1 και 5 min επεξεργασίας με ΥΠ ($p>0,05$). Σε καμία συνθήκη επεξεργασίας με ΥΠ, ο αριθμός υπεροξειδίων δεν πλησιάζει τα 20meq/kg.

Οι μεταβολές των δεικτών απορρόφησης στο υπεριώδες, K_{232} και K_{270} του επεξεργασμένου ελαιόλαδου είναι σημαντικές όταν μεταβάλλεται η πίεση ($p<0,05$). Και πάλι όμως οι μεταβολές αυτές δεν επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα και τον χρόνο ζωής του ελαιόλαδου.



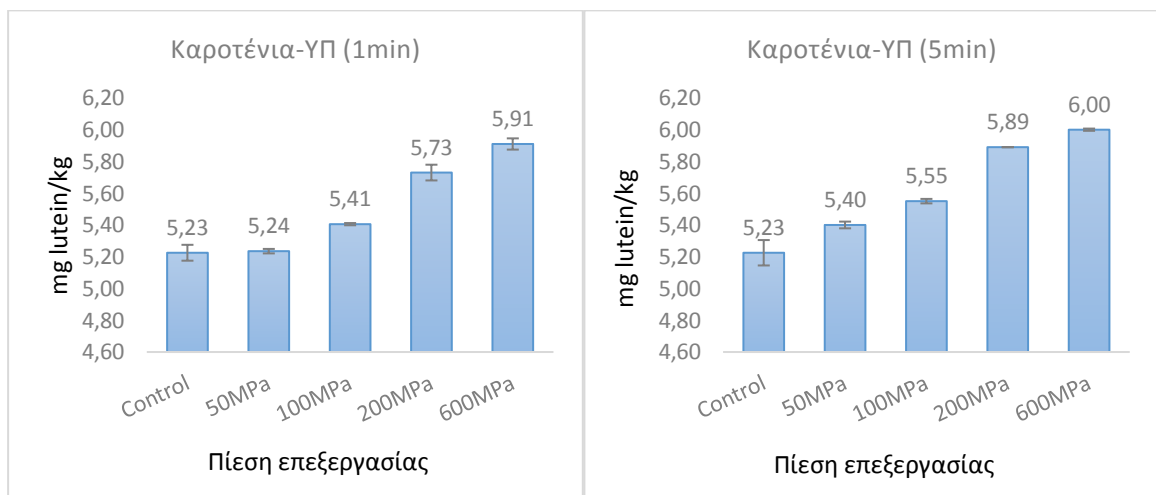
Διάγραμμα 6.9: Η επίδραση των συνθηκών ΥΠ για 1 και 5 min επεξεργασίας στις συνολικές φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Στο διάγραμμα 6.9 φαίνεται ότι η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της πίεσης ($p<0,05$) αλλά λιγότερο με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας με ΥΠ ($p>0,05$). Σε κάθε περίπτωση η συγκέντρωση των φαινολικών είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη του ανεπεξέργαστου ελαίου. Άρα, η προεπεξεργασία με ΥΠ προσδίδει στο ελαιόλαδο μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα λόγω των αυξημένων φαινολικών ενώσεων. Σε πίεση 200 MPa η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων εμφανίζει μεγάλη αύξηση, σε υψηλότερη πίεση η αντίστοιχη αύξηση δεν είναι πολύ σημαντική.



Διάγραμμα 6.10: Η επίδραση των συνθηκών ΥΠ για 1 και 5 min επεξεργασίας στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Το ελαιόλαδο που επεξεργάστηκε με ΥΠ έχει υψηλότερες συγκεντρώσεις χλωροφυλλών σε σχέση με το ανεπεξεργαστο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.10. Η αύξηση της πίεσης και του χρόνου επεξεργασίας με ΥΠ δεν επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την συγκέντρωση των χλωροφυλλών ($p > 0,05$).

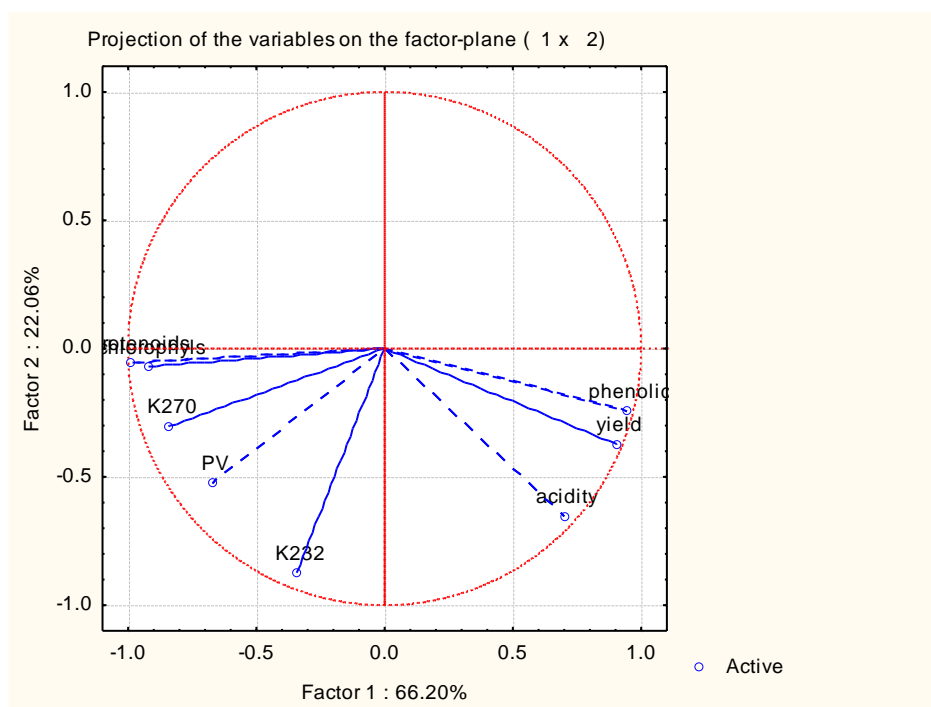


Διάγραμμα 6.11: Η επίδραση των συνθηκών ΥΠ για 5 min επεξεργασίας στην συγκέντρωση των καροτενίων του ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Στο διάγραμμα 6.11 φαίνεται ότι η επεξεργασία με ΥΠ επηρεάζει και τα καροτένια του ελαιόλαδου. Συγκεκριμένα, στο επεξεργασμένο έλαιο με ΥΠ η συγκέντρωση των καροτενίων είναι υψηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη του ανεπεξεργαστου. Η αύξηση της ασκούμενης πίεσης καθώς και η επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με ΥΠ, επιδρά σημαντικά στην αύξηση της συγκέντρωσης των καροτενίων ($p < 0,05$). Σε πίεση 200MPa η συγκέντρωση των καροτενίων παρουσιάζει μεγάλη αύξηση, σε υψηλότερη πίεση η αντίστοιχη αύξηση δεν είναι πολύ σημαντική.

Η βέλτιστη συνθήκη που επιλέχθηκε με βάση τους ποιοτικούς δείκτες είναι η **200MPa και 1 min**. Στην συνθήκη αυτή, οι συγκεντρώσεις των ολικών φαινολών, των χλωροφυλλών και των καρωτένιων προσεγγίζουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις τους σε συνδυασμό με όσο το δυνατόν πιο ήπια ενεργειακά επεξεργασία ΥΠ.

Μετά από την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων της προεπεξεργασίας με ΠΗΠ ή ΥΠ με την στατιστική ανάλυση των κυρίων συνιστωσών (PCA), λαμβάνονται τα παρακάτω διαγράμματα συσχέτισης των πειραματικών αποτελεσμάτων μεταξύ τους.

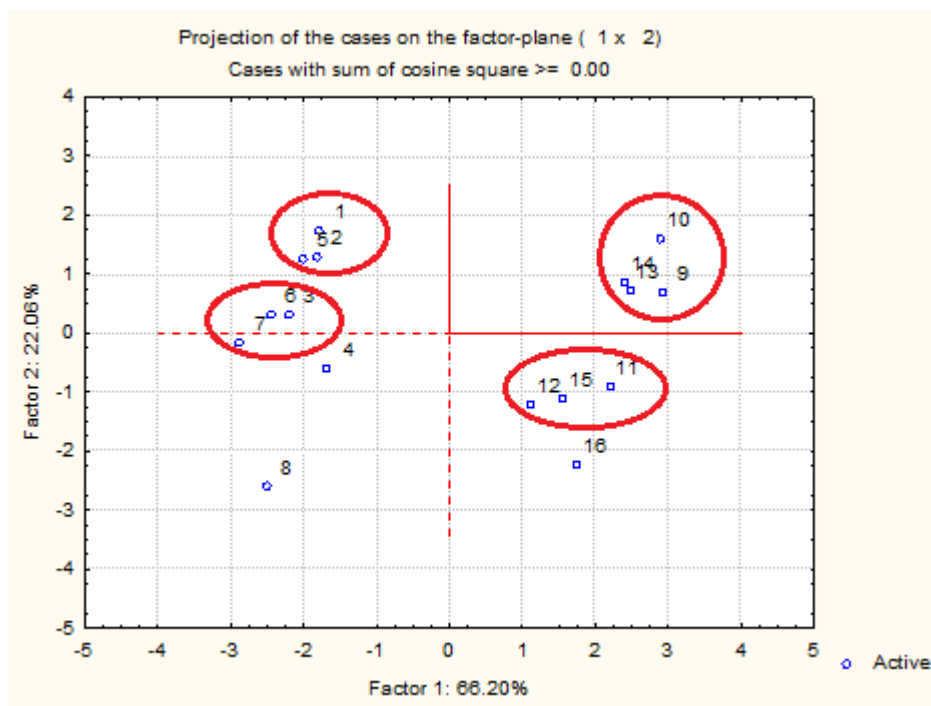


Διάγραμμα 6.12: Συσχέτιση απόδοσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών του ελαιόλαδου που επεξεργάστηκε με ΠΗΠ και ΥΠ.

Στο διάγραμμα φαίνεται η συσχέτιση όλων των παραμέτρων της προεπεξεργασίας με ΠΗΠ ή ΥΠ (απόδοση σε ελαιόλαδο και ποιοτικοί δείκτες ελαιόλαδου) μεταξύ τους. Παρατηρείται πως η **πρώτη** κύρια συνιστώσα συνεισφέρει κατά **66,20%** στην ολική διακύμανση, ενώ η **δεύτερη** κατά **22,06%**. Γενικά, το άθροισμα των κυρίων συνιστωσών είναι επιθυμητό να ξεπερνάει το 70%, κάτι που συμβαίνει σε αυτή την ανάλυση, όπου η συνολική συνεισφορά στη διακύμανση είναι 88,26%. Οι ιδιότητες που βρίσκονται πιο κοντά στον **άξονα x** (έχουν μεγαλύτερη προβολή σε αυτόν) σχετίζονται ισχυρά με την **πρώτη κύρια συνιστώσα**. Οι ιδιότητες που βρίσκονται πιο κοντά στον **άξονα y** (έχουν μεγαλύτερη προβολή σε αυτόν) σχετίζονται ισχυρά με τη **δεύτερη κύρια συνιστώσα**.

Έτσι παρατηρείται ότι σημαντική επίδραση στην πρώτη κύρια συνιστώσα έχει η απόδοση, η συκέντρωση των ολικών φαινολών, των χλωροφυλλών και των καρωτένιων. Ενώ, σημαντική επίδραση στην δεύτερη συνιστώσα έχει ο δείκτης K₂₃₂. Οι ιδιότητες που βρίσκονται **πολύ κοντά μεταξύ τους παρουσιάζουν θετική συσχέτιση**, δηλαδή όσο

αυξάνει η τιμή της μιας ιδιότητας τόσο αυξάνει και η άλλη. Συσχετίσιμες είναι οι παράμετροι της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών με την συγκέντρωση των καροτενίων. Σημαντικές θεωρούνται εκείνες οι μεταβλητές που έχουν μεγάλη ακτίνα και συγκεκριμένα η απόδοση, οι φαινολικές ενώσεις, οι χλωροφύλλες, τα καροτένια και ο δείκτης K_{232} .



Διάγραμμα 6.13: Ομαδοποίηση των δειγμάτων των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ.

Στο διάγραμμα ομαδοποιούνται τα δείγματα 1,2,5 (δείγματα με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,5 και 0,7 kV/cm και 250 παλμούς, αντίστοιχα και 0,5 kV/cm και 2250 παλμούς), τα δείγματα 3,7,6 (0,9 kV/cm και 250 και 2250 παλμούς, 0,7 kV/cm και 2250 παλμούς, αντίστοιχα), τα δείγματα 9,10,13,14 (δείγματα με πίεση 50 και 100 MPa και 1 και 5 min, αντίστοιχα), και τα δείγματα 11,12,15 (200 και 600 MPa και 1 min, αντίστοιχα και 200 MPa και 5 min). Παρατηρείται ότι τα δείγματα που προεπεξεργάστηκαν με ΠΗΠ δεν συσχετίζονται με τα δείγματα που προεπεξεργάστηκαν με ΥΠ. Από τα προεπεξεργασμένα με ΠΗΠ ελαιόλαδα φαίνεται ότι αυτά που επεξεργάστηκαν σε μικρές εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου (0,5 και 0,7kV/cm) είχαν μικρές αποδόσεις σε ελαιόλαδο, μικρές συγκεντρώσεις ολικών φαινολικών, χλωροφυλλών και καροτενίων και μικρό δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K_{232} . Αντίθετα, τα δείγματα που επεξεργάστηκαν σε μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου και περισσότερους παλμούς παρουσίασαν υψηλές τιμές στην απόδοση σε ελαιόλαδο, στις συγκεντρώσεις των ολικών φαινολικών, χλωροφυλλών και καροτενίων και στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K_{232} . Η βέλτιστη συνθήκη προεπεξεργασίας με ΠΗΠ, όπως έχει αναφερθεί, πρέπει να έχει υψηλή απόδοση σε ελαιόλαδο με παράλληλη διατήρηση της ποιότητας του ελαίου. Επιλέχθηκε ως βέλτιστη η συνθήκη με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9 kV/cm και 250 παλμούς (δείγμα 3). Σύμφωνα και με την στατιστική ανάλυση κυρίων συνιστωσών, το δείγμα 3 έχει υψηλή

τιμή στην απόδοση σε ελαιόλαδο και στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων, που σημαίνει μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα στο έλαιο, και έχει λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις συγκριτικά με τα άλλα δείγματα της ομάδας του.

Όσον αφορά την προεπεξεργασία με ΥΠ, τα δείγματα που προεπεξεργάστηκαν σε μικρές πιέσεις παρουσίασαν μικρές αποδόσεις σε ελαιόλαδο, μικρές συγκεντρώσεις ολικών φαινολικών, χλωροφυλλών και καροτένιων και μικρό δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂. Ενώ, όταν η ελαιόπαστα προεπεξεργάστηκε σε μεγαλύτερες πιέσεις προέκυψαν καλύτερα αποτελέσματα, υψηλές αποδόσεις σε ελαιόλαδο και υψηλές τιμές στις συγκεντρώσεις των ολικών φαινολικών, χλωροφυλλών και καροτένιων αλλά και στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂. Η βέλτιστη συνθήκη προεπεξεργασίας με ΥΠ που επιλέχθηκε ήταν για πίεση 200 MPa και 1 min επεξεργασίας (δείγμα 11), όπου εκτός από υψηλή απόδοση σε ελαιόλαδο και υψηλή συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων, είχε και λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες συνθήκες προεπεξεργασίας της ομάδας του.

6.3 Τρίτη ενότητα πειραμάτων – Μάλαξη προεπεξεργασμένης με ΠΗΠ ή ΥΠ ελαιόπαστας

Στην Τρίτη ενότητα πειραμάτων πραγματοποιήθηκε κινητικό πείραμα θερμοκρασίας και χρόνου μάλαξης στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ (0,9kV/cm, 250 παλμοί) και ΥΠ (200MPa, 1min), οι οποίες βρέθηκαν στην προηγούμενη ενότητα πειραμάτων. Έπειτα, τα επεξεργασμένα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν και υπολογίστηκε η απόδοση του ελαιόλαδου. Ο σκοπός του πειράματος είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της μάλαξης στην επεξεργασμένη ελαιόπαστα και η σύγκριση της απόδοσης και των ποιοτικών δεικτών του επεξεργασμένου ελαιόλαδου με του ανεπεξέργαστου. Παρακάτω, παρουσιάζονται σε πίνακες και διαγράμματα τα αποτελέσματα του κινητικού πειράματος θερμοκρασίας και χρόνου μάλαξης στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ στις δυο ποικιλίες.

6.3.1 Ποικιλία Κορωνέικη

Πίνακας 6.13: Η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην απόδοση του ελαιόλαδου για την βέλτιστη συνθήκη ΠΗΠ της Κορωνέικης ποικιλίας.

Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Απόδοση ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου (%)	Απόδοση ελαιόλαδου με επεξεργασία ΠΗΠ (%)
15	30	15,24±1,09	16,95±0,39
30	0	1,50±0,11	5,71±0,67
	10	17,03±1,48	17,56±1,50
	20	19,00±0,03	19,26±0,00
	30	19,03±0,23	19,75±0,56
	40	18,95±0,23	22,18±0,04
	60	19,14±0,23	20,66±0,59
40	30	19,13±0,07	20,00±0,08

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων.

Από τον πίνακα 6.13 παρατηρείται ότι ανεξάρτητα με τις συνθήκες μάλαξης η προεπεξεργασία με ΠΗΠ οδηγεί σε αυξημένη απόδοση σε ελαιόλαδο σε σχέση με την αντίστοιχη του ανεπεξέργαστου. Επομένως, μπορεί να επιτευχθούν μεγαλύτερες αποδόσεις σε ελαιόλαδο όταν έχει προηγηθεί επεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ σε σχέση με το ανεπεξέργαστο στις ίδιες συνθήκες μάλαξης. Επίσης, σε πιο ήπιες συνθήκες μάλαξης το επεξεργασμένο έλαιο έχει παρόμοιες αποδόσεις με το ανεπεξέργαστο.

Πίνακας 6.14: Η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στους ποιοτικούς δείκτες του επεξεργασμένου με ΠΗΠ ελαιόλαδου (οξύτητα, αριθμό υπεροξειδίων, K₂₃₂, K₂₇₀).

Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Οξύτητα (% ελαιικό οξύ)	Αριθμός υπεροξειδίων (meq/kg)	K ₂₃₂	K ₂₇₀
15	30	0,64±0,02	5,27±0,58	1,34±0,02	0,13±0,00
30	0	0,63±0,00	5,50±0,00	1,39±0,06	0,12±0,00
	10	0,64±0,02	5,75±0,35	1,37±0,00	0,15±0,00
	20	0,64±0,01	6,00±0,71	1,34±0,02	0,15±0,01
	30	0,65±0,07	6,32±0,80	1,49±0,23	0,15±0,01
	40	0,66±0,05	6,75±0,35	1,48±0,00	0,16±0,01
	60	0,71±0,01	7,00±0,71	1,53±0,00	0,16±0,01
40	30	0,76±0,10	6,65±0,00	1,70±0,52	0,16±0,04

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων.

Πίνακας 6.15: Η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ ελαιόλαδου.

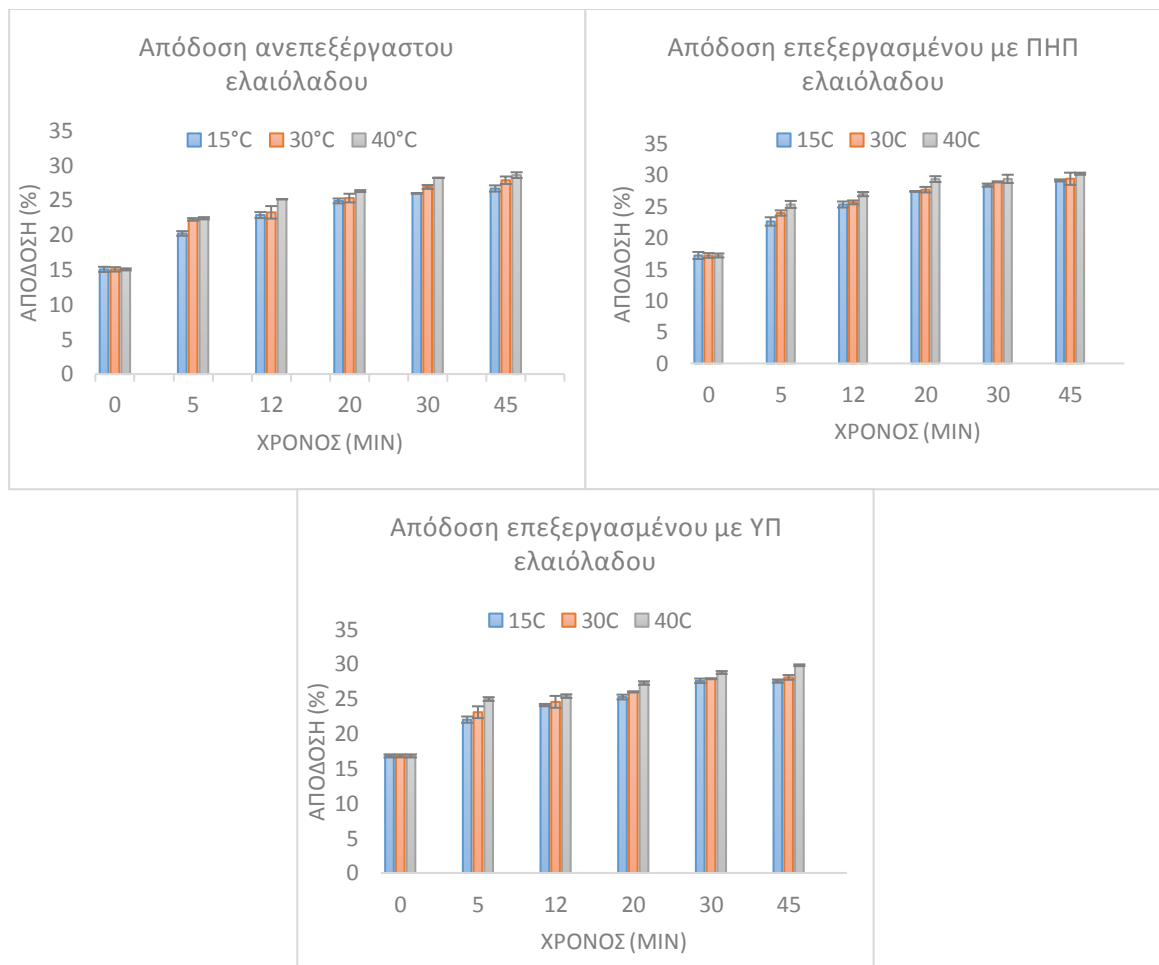
Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Φαινολικές ενώσεις ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου (mg γαλλικού οξέος/L)	Φαινολικές ενώσεις επεξεργασμένου με ΠΗΠ ελαιόλαδου (mg γαλλικού οξέος/L)
15	30	202,2±1,4	222,2±0,8
30	0	197,6±35,6	210,0±18,1
	10	219,9±14,9	220, 1±19,8
	20	223,5±18,2	235,9±17,1
	30	235,8±32,7	240,6±17,8
	40	237,5±2,1	246, 4±14,2
	60	239,0±1,4	256,9±11,4
40	30	244,8±23,0	269,3±0,3

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριών μετρήσεων.

Παρατηρείται ότι οι ποιοτικοί δείκτες του ελαιόλαδου, οξύτητα, αριθμός υπεροξειδίων και οι δείκτες απορρόφησης στο υπειώδες (K_{232} και K_{270}) δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την επεξεργασία με ΠΗΠ, ανεξάρτητα από τις συνθήκες μάλαξης της ελαιόπαστας. Αντίθετα, οι φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου αυξήθηκαν μετά από προεπεξεργασία με ΠΗΠ σε όλες τις θερμοκρασίες και χρόνους μάλαξης. Αυτή η αύξηση θα μπορούσε να ισοδυναμεί και με αύξηση της οξειδωτικής σταθερότητας των προεπεξεργασμένων με ΠΗΠ ελαιολάδων συγκριτικά με τα ανεπεξέργαστα κατά την αποθήκευση.

6.3.2 Ποικιλία Τσουνάτη

Η επίδραση των συνθηκών μάλαξης στην απόδοση σε ελαιόλαδο στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ (0,9kV/cm, 250 παλμοί) και ΥΠ (200MPa για 1min) παρουσιάζεται παρακάτω, για την ποικιλία Τσουνάτη. Στα διαγράμματα έχει προστεθεί και η επίδραση των συνθηκών μάλαξης στην απόδοση σε ελαιόλαδο της ανεπεξέργαστης ελαιόπαστας ώστε να γίνει εμφανής και η επίδραση της προεπεξεργασίας στο ελαιόλαδο.



Διάγραμμα 6.14: Η επίδραση του χρόνου μάλαξης στους 15, 30 και 40 °C στην απόδοση του ανεπεξεργαστού και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδου.

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η θερμοκρασία και ο χρόνος μάλαξης επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση του ελαιόλαδου επεξεργασμένου και μη ($p < 0,05$). Επίσης, γίνεται αντιληπτό ότι η προεπεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ ή ΥΠ οδήγησε σε υψηλότερες αποδόσεις σε ελαιόλαδο ανεξάρτητα από την θερμοκρασία και τον χρόνο μάλαξης συγκριτικά με το ανεπεξεργαστο έλαιο ($p < 0,05$). Αυτό σημαίνει ότι η προεπεξεργασία με ΠΗΠ ή ΥΠ της ελαιόπαστας, αν αυτή μαλαχθεί στην ίδια θερμοκρασία και χρόνο με την ανεπεξεργαστη, θα οδηγήσει σε αυξημένες αποδόσεις σε ελαιόλαδο. Εναλλακτικά, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πιο ήπιες συνθήκες μάλαξης (θερμοκρασία και χρόνος) για την προεπεξεργασμένη με ΠΗΠ ή ΥΠ ελαιόπαστα και να οδηγήσουν στην ίδια απόδοση σε ελαιόλαδο με την ανεπεξεργαστη ελαιόπαστα που όμως έχει μαλαχθεί σε πιο έντονες συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου.

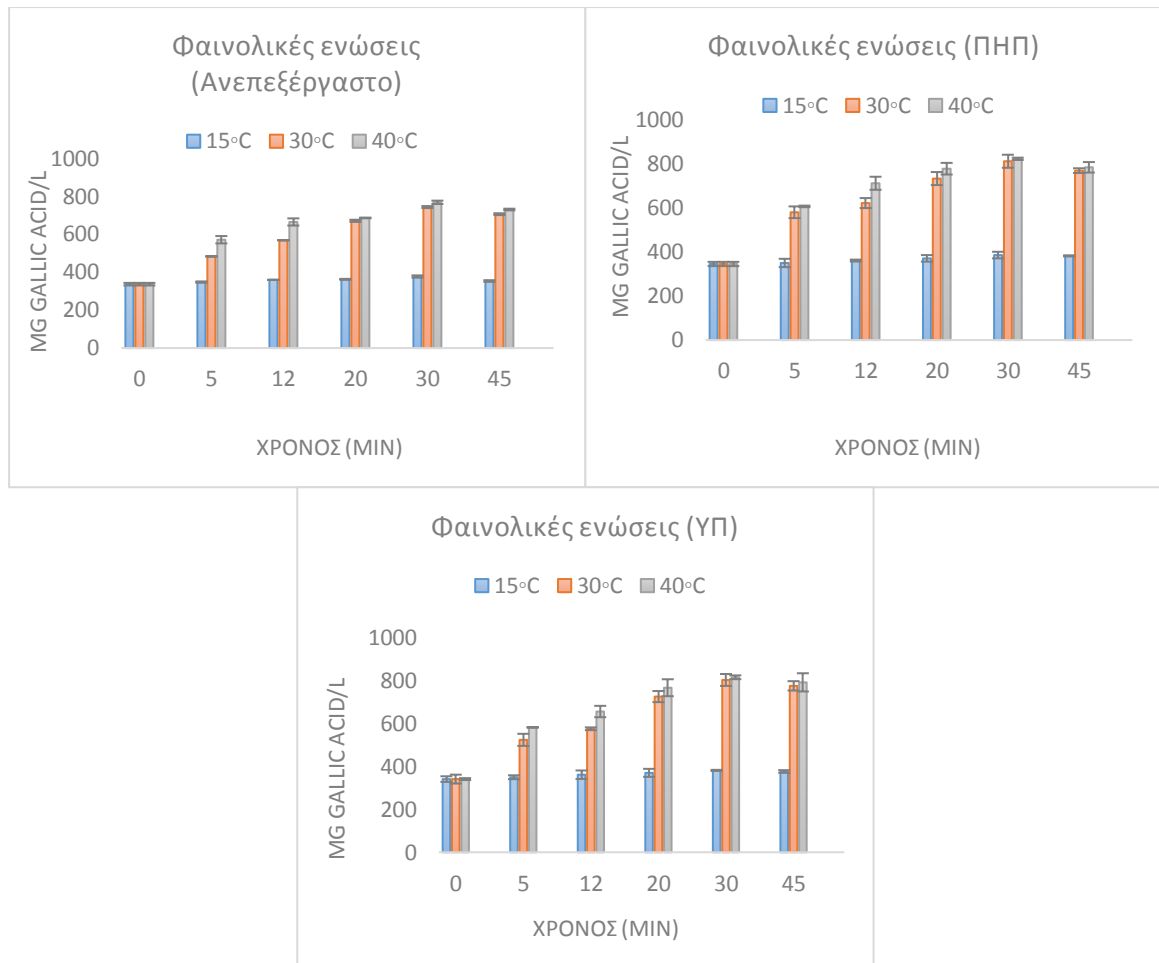
Πίνακας 6.16: Επίδραση των συνθηκών μάλαξης στους ποιοτικούς δείκτες του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδου, οξύτητα, αριθμό υπεροξειδίων, K₂₃₂ και K₂₇₀.

	Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Οξύτητα (% ελαϊκό οξύ)	Αριθμός υπεροξειδίων (meq/kg)	K ₂₃₂	K ₂₇₀
Ανεπεξέργαστο	15	0	0,62±0,09 ^{1ai}	5,40±2,03 ^{1ai}	1,56±0,07 ^{1a}	0,10±0,02 ^{1ai}
		5	0,63±0,16 ^{1bi}	5,95±0,26 ^{1bi}	1,60±0,03 ^{1b}	0,12±0,01 ^{1bi}
		12	0,66±0,05 ^{1bci}	6,18±0,26 ^{1ci}	1,60±0,08 ^{1c}	0,12±0,01 ^{1bci}
		20	0,66±0,10 ^{1bci}	6,31±0,61 ^{1di}	1,62±0,01 ^{1cd}	0,12±0,00 ^{1bci}
		30	0,67±0,07 ^{1bci}	6,36±0,55 ^{1di}	1,64±0,06 ^{1de}	0,13±0,02 ^{1cdi}
		45	0,68±0,04 ^{1ci}	6,85±0,19 ^{1ei}	1,66±0,01 ^{1e}	0,13±0,02 ^{1di}
	30	0	0,62±0,09 ^{12ai}	5,40±2,03 ^{2ai}	1,56±0,07 ^{2a}	0,10±0,02 ^{2ai}
		5	0,63±0,07 ^{12bi}	6,17±0,17 ^{2bi}	1,62±0,07 ^{2b}	0,13±0,00 ^{2bi}
		12	0,67±0,03 ^{12bci}	6,15±0,20 ^{2ci}	1,66±0,05 ^{2c}	0,13±0,01 ^{2bci}
		20	0,66±0,05 ^{12bci}	6,36±0,85 ^{2di}	1,67±0,00 ^{2cd}	0,13±0,01 ^{2bci}
		30	0,66±0,06 ^{12bci}	6,37±1,07 ^{2di}	1,68±0,00 ^{2de}	0,13±0,00 ^{2cdi}
		45	0,69±0,09 ^{12ci}	6,85±0,85 ^{2ei}	1,69±0,19 ^{2e}	0,13±0,01 ^{2di}
	40	0	0,62±0,09 ^{2ai}	5,40±2,03 ^{3ai}	1,56±0,07 ^{3a}	0,10±0,02 ^{3ai}
		5	0,65±0,05 ^{2bi}	6,23±2,24 ^{3bi}	1,70±0,09 ^{3b}	0,13±0,00 ^{3bi}
		12	0,65±0,09 ^{2bci}	6,19±0,62 ^{3ci}	1,71±0,01 ^{3c}	0,13±0,00 ^{3bci}
		20	0,69±0,09 ^{2bci}	6,87±0,1 ^{3di}	1,73±0,07 ^{3cd}	0,14±0,00 ^{3bci}
		30	0,67±0,10 ^{2bci}	6,78±0,13 ^{3di}	1,75±0,05 ^{3de}	0,14±0,00 ^{3cdi}
		45	0,70±0,09 ^{2ci}	6,98±0,08 ^{3ei}	1,78±0,00 ^{3e}	0,14±0,00 ^{3di}
ΠΗΠ	15	0	0,63±0,00 ^{1ai,ii}	5,46±0,19 ^{1aii}	1,60±0,12 ^{1a}	0,12±0,01 ^{1aii}
		5	0,67±0,05 ^{1bi,ii}	5,77±0,23 ^{1bii}	1,62±0,06 ^{1b}	0,12±0,00 ^{1bii}
		12	0,66±0,05 ^{1bci,ii}	5,89±0,75 ^{1cii}	1,63±0,03 ^{1c}	0,12±0,00 ^{1bcii}
		20	0,66±0,04 ^{1bci,ii}	6,07±0,06 ^{1dii}	1,64±0,04 ^{1cd}	0,13±0,00 ^{1bcii}
		30	0,67±0,04 ^{1bci,ii}	6,31±0,33 ^{1dii}	1,66±0,07 ^{1de}	0,13±0,01 ^{1cdii}
		45	0,66±0,04 ^{1ci,ii}	6,33±0,12 ^{1eii}	1,67±0,07 ^{1d}	0,13±0,01 ^{1dii}
	30	0	0,63±0,00 ^{12ai,ii}	5,46±0,10 ^{2aii}	1,60±0,12 ^{2a}	0,12±0,01 ^{2aii}
		5	0,68±0,00 ^{12bi,ii}	5,74±0,23 ^{2bii}	1,63±0,18 ^{2b}	0,13±0,01 ^{2bii}
		12	0,68±0,04 ^{12bci,ii}	6,19±0,27 ^{2cii}	1,66±0,03 ^{2c}	0,13±0,00 ^{2bcii}
		20	0,68±0,04 ^{12bci,ii}	6,32±0,53 ^{2dii}	1,66±0,01 ^{2cd}	0,13±0,00 ^{2bcii}
		30	0,68±0,05 ^{12bci,ii}	6,35±0,49 ^{2dii}	1,67±0,11 ^{2de}	0,13±0,01 ^{2cdii}
		45	0,68±0,01 ^{12ci,ii}	6,45±0,07 ^{2eii}	1,68±0,03 ^{2e}	0,14±0,00 ^{2dii}
	40	0	0,63±0,00 ^{3ai,ii}	5,46±0,10 ^{3aii}	1,60±0,12 ^{3a}	0,12±0,01 ^{3aii}
		5	0,69±0,00 ^{3bi,ii}	6,15±0,12 ^{3bii}	1,69±0,26 ^{3b}	0,13±0,00 ^{3bii}
		12	0,70±0,09 ^{3bci,ii}	6,32±0,15 ^{3cii}	1,72±0,09 ^{3c}	0,14±0,01 ^{3bcii}
		20	0,69±0,01 ^{3bci,ii}	6,48±0,24 ^{3dii}	1,74±0,10 ^{3cd}	0,14±0,00 ^{3bcii}
		30	0,65±0,01 ^{3bci,ii}	6,60±0,52 ^{3dii}	1,77±0,13 ^{3de}	0,14±0,01 ^{3cdii}
		45	0,67±0,00 ^{3ci,ii}	6,79±0,83 ^{3eii}	1,77±0,01 ^{3e}	0,14±0,01 ^{3dii}
ΥΠ	15	0	0,62±0,00 ^{1aii}	5,04±0,05 ^{1aii}	1,56±0,02 ^{1a}	0,11±0,00 ^{1aii}
		5	0,65±0,10 ^{1bii}	5,68±0,25 ^{1bii}	1,60±0,01 ^{1b}	0,12±0,00 ^{1bi}
		12	0,66±0,00 ^{1bcii}	5,81±0,19 ^{1cii}	1,62±0,01 ^{1c}	0,12±0,00 ^{1bcii}
		20	0,68±0,01 ^{1bcii}	6,16±0,47 ^{1dii}	1,63±0,01 ^{1cd}	0,12±0,00 ^{1bcii}
		30	0,69±0,02 ^{1bcii}	6,23±0,59 ^{1dii}	1,64±0,04 ^{1de}	0,13±0,00 ^{1cdii}
		45	0,69±0,00 ^{1cii}	6,53±0,01 ^{1eii}	1,66±0,05 ^{1e}	0,13±0,00 ^{1dii}
	30	0	0,62±0,00 ^{12aii}	5,04±0,05 ^{2aii}	1,56±0,02 ^{2a}	0,11±0,00 ^{2aii}
		5	0,68±0,07 ^{12bii}	5,73±0,21 ^{2bii}	1,61±0,02 ^{2b}	0,13±0,01 ^{2bii}

		12	0,68±0,01 ^{12bcii}	6,24±0,35 ^{2cii}	1,66±0,03 ^{2c}	0,13±0,00 ^{2bcii}
		20	0,68±0,01 ^{12bcii}	6,47±0,51 ^{2dii}	1,67±0,11 ^{2cd}	0,13±0,01 ^{2bcii}
		30	0,68±0,01 ^{12bcii}	6,27±0,54 ^{2dii}	1,68±0,01 ^{2de}	0,13±0,00 ^{2cdii}
		45	0,67±0,02 ^{12cii}	6,80±0,12 ^{2eii}	1,69±0,07 ^{2e}	0,14±0,00 ^{2dii}
	40	0	0,62±0,00 ^{3aii}	5,04±0,05 ^{3aii}	1,56±0,02 ^{3a}	0,11±0,00 ^{3aii}
		5	0,69±0,04 ^{3bii}	6,22±0,40 ^{3bii}	1,69±0,10 ^{3b}	0,13±0,00 ^{3bii}
		12	0,70±0,05 ^{3bcii}	6,54±0,16 ^{3cii}	1,71±0,07 ^{3c}	0,14±0,00 ^{3bcii}
		20	0,69±0,01 ^{3bcii}	6,67±0,38 ^{3dii}	1,73±0,08 ^{3cd}	0,14±0,01 ^{3bcii}
		30	0,70±0,01 ^{3bcii}	6,75±0,56 ^{3dii}	1,77±0,02 ^{3de}	0,14±0,01 ^{3cdii}
		45	0,70±0,00 ^{3cii}	6,96±0,60 ^{3eii}	1,77±0,07 ^{3e}	0,14±0,00 ^{3dii}

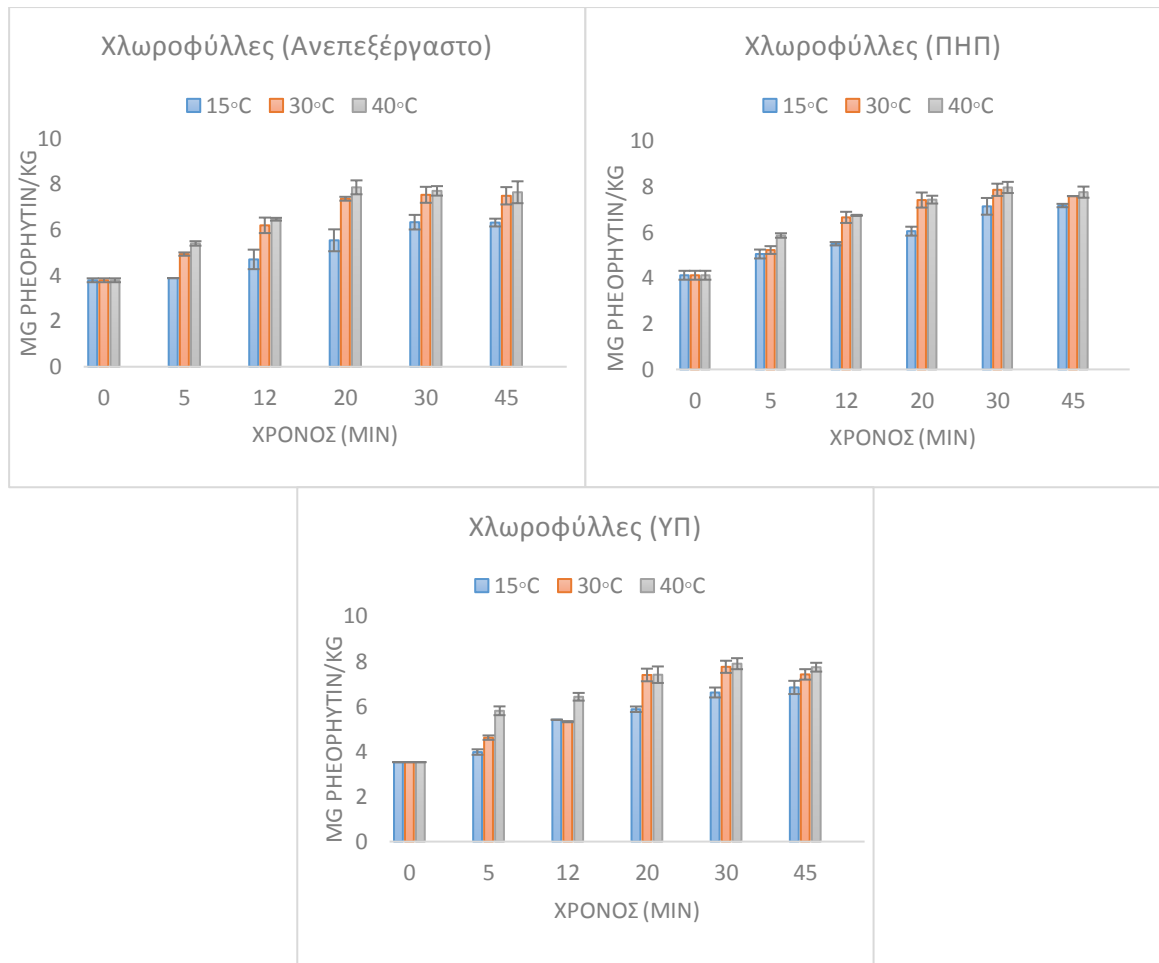
±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων μάλαξης, οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών μάλαξης και οι λατινικοί αριθμοί δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των επεξεργασιών.

Στον πίνακα 6.16 παρατηρείται ότι η οξύτητα του ελαιόλαδου επηρεάστηκε από την επεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ και από τις συνθήκες μάλαξης της ελαιόπαστας ($p<0,05$), όμως οι τιμές της οξύτητας δεν ξεπερνούν την οριακή τιμή 0,8% σε ελαϊκό οξύ, επομένως το ελαιόλαδο παραμένει εξαιρετικά παρθένο. Επίσης, συγκρίνοντας το ανεπεξέργαστο λάδι με το προεπεξεργασμένο (με ΠΗΠ ή ΥΠ) παρατηρείται ότι με την προεπεξεργασία ΠΗΠ ή ΥΠ, ο αριθμός υπεροξειδίων μεταβάλλεται σημαντικά ($p<0,05$) σε σχέση με το ανεπεξέργαστο. Ο αριθμός υπεροξειδίων όμως δεν πλησιάζει τα 20meq/kg ανεξάρτητα από τις συνθήκες της προεπεξεργασίας και της μάλαξης που εφαρμόστηκαν στην ελαιόπαστα. Η προεπεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ δεν επηρεάζει τον δείκτη K_{232} σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με το ανεπεξέργαστο ($p>0,05$). Αντίθετα, η προεπεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ επηρεάζει τον δείκτη K_{270} ($p<0,05$), χωρίς όμως οι τιμές του να αυξάνονται πολύ.



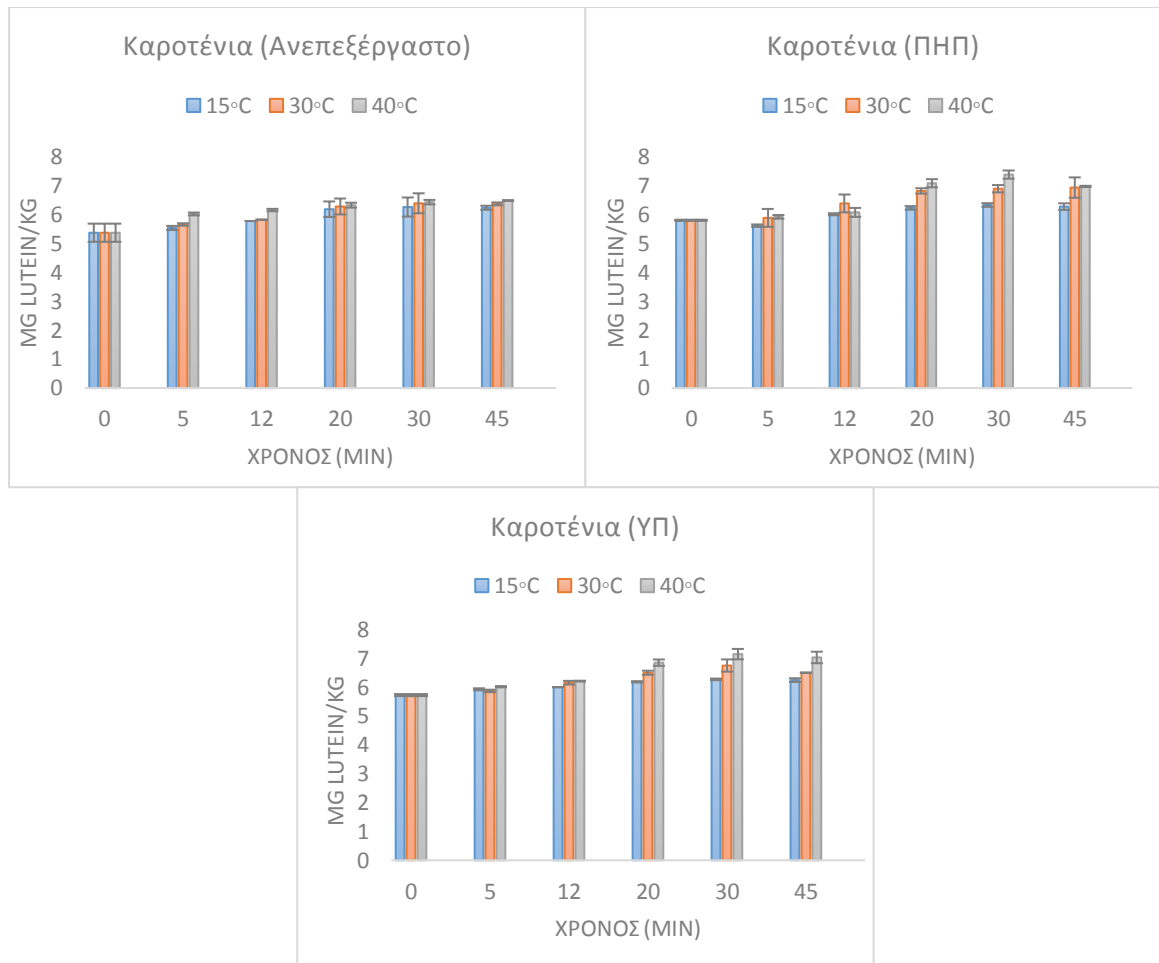
Διάγραμμα 6.15: Επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδου.

Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι το ελαιόλαδο που επεξεργάστηκε με ΠΗΠ και ΥΠ παρουσιάζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ολικών φαινολών σε σχέση με το ανεπεξέργαστο, ανεξάρτητα από τις συνθήκες μάλαξης που εφαρμόζονται. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών της ελιάς και άρα στην απελευθέρωση μεγαλύτερης ποσότητας ενδοκυτταρικών ενώσεων. Επίσης, μεταξύ των δυο επεξεργασιών, τα ΠΗΠ έχουν λίγο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φαινολικών από τις αντίστοιχες της ΥΠ. Άρα το επεξεργασμένο με ΠΗΠ ελαιόλαδο θα μπορούσε να εμφανίζει μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα κατά την αποθήκευση και άρα μεγαλύτερο χρόνο ζωής.



Διάγραμμα 6.16: Επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδου.

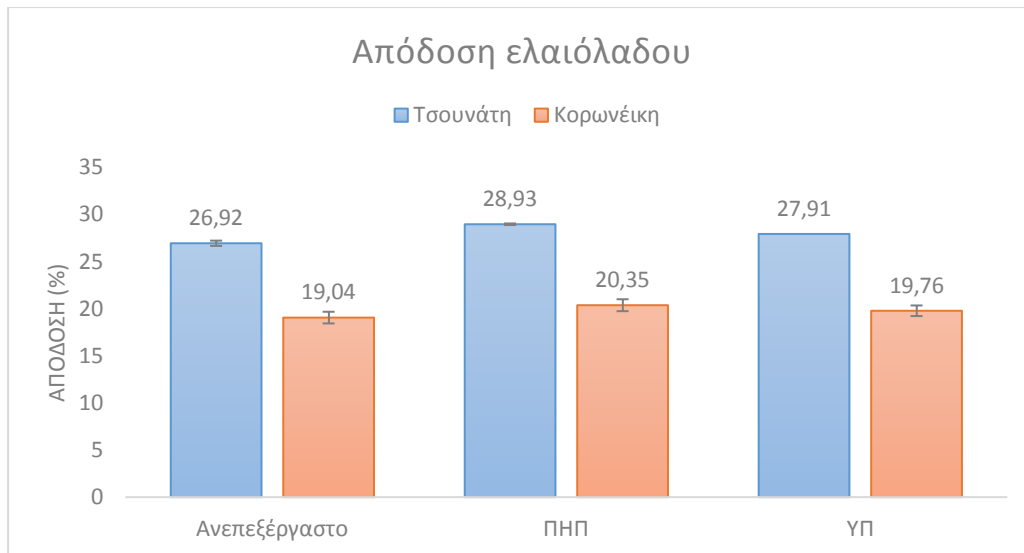
Στα διαγράμματα παρατηρείται ότι η προεπεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ αυξάνει την συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Η προεπεξεργασία με ΠΗΠ έχει λίγο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφυλλών σε σχέση με την ΥΠ προεπεξεργασία. Η αύξηση της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα ελαιόλαδο με πιο έντονο πράσινο χρώμα σε σχέση με το ανεπεξέργαστο.



Διάγραμμα 6.17: Επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην συγκέντρωση των καροτενίων του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδου.

Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι και τα καροτένια, όπως και οι χλωροφύλλες, του ελαιόλαδου που προεπεξεργάστηκε με ΠΗΠ και ΥΠ αυξάνονται συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Η προεπεξεργασία με ΠΗΠ έχει λίγο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σχέση με την ΥΠ προεπεξεργασία.

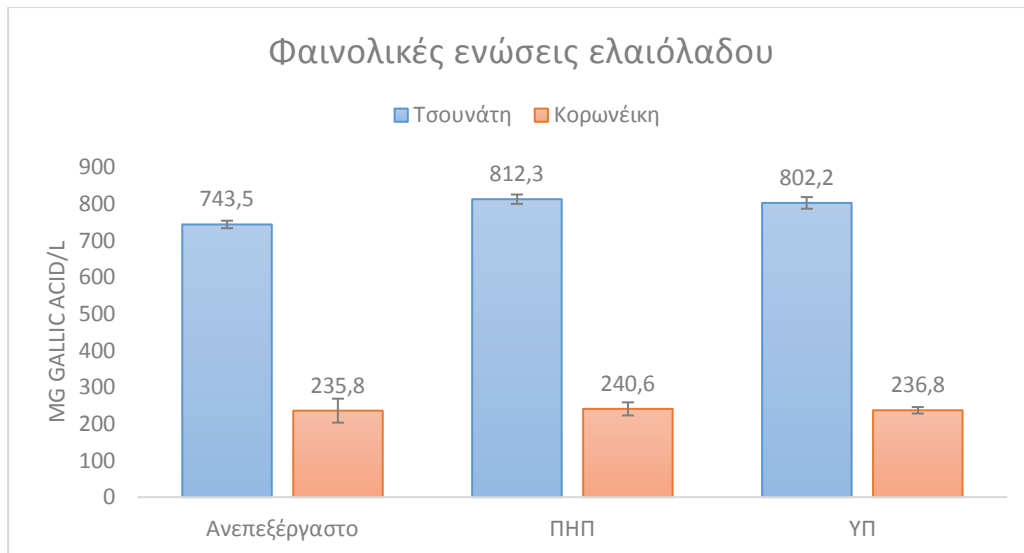
Συνοψίζοντας, οι βέλτιστες συνθήκες μάλαξης για την ανεπεξέργαστη και την επεξεργασμένη ελαιόπαστα είναι οι 30°C για 30 min, οι βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ είναι για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,9kV/cm και 250 παλμούς, κοινές και για τις δυο ποικιλίες ελιάς και οι βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας με ΥΠ είναι για πίεση 200MPa και 1 min για την Τσουνάτη και για την Κορωνέικη ποικιλία. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται μαζί τα αποτελέσματα της ανεπεξέργαστης και της επεξεργασμένης ελαιόπαστας στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης και επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ.



Διάγραμμα 6.18: Η επίδραση των βέλτιστων συνθηκών των διεργασιών ΠΗΠ και ΥΠ στην απόδοση του ελαιόλαδου των δυο ποικιλιών ελιάς Τσουνάτη και Κορωνέικη στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Στο διάγραμμα 6.18 παρατηρείται ότι στην ποικιλία ελιάς Τσουνάτη, καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την απόδοση σε ελαιόλαδο, είχε η ελαιόπαστα που προεπεξεργάστηκε με την τεχνολογία των ΠΗΠ, με αύξηση απόδοσης 7,5% συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Επίσης, στην Κορωνέικη ποικιλία η τεχνολογία των ΠΗΠ είχε τα καλύτερα αποτελέσματα, με αύξηση απόδοσης 6,9%.

Ακόμα, πρέπει να αναφερθεί ότι η Κορωνέικη ποικιλία παρουσιάζει μικρότερες αποδόσεις σε σύγκριση με την Τσουνάτη με ή χωρίς επεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ. Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό μέγεθος της κάθε ποικιλίας όπως επίσης και στο στάδιο ωρίμανσης τους. Η Τσουνάτη ελιά είχε αρκετά μεγαλύτερο μέγεθος καρπού και βρισκόταν στο τελευταίο στάδιο ωρίμανσης της (μαύρη ελιά) κατά την συγκομιδή.



Διάγραμμα 6.19: Η επίδραση των βέλτιστων συνθηκών των διεργασιών ΠΗΠ και ΥΠ στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου των δυο ποικιλιών ελιάς Τσουνάτι και Κορωνέικη στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης.

Στο διάγραμμα 6.19 γίνεται αντιληπτή η επίδραση της προεπεξεργασίας της ελαιόπαστας με τις τεχνολογίες ΠΗΠ και ΥΠ και στην συγκέντρωση των ολικών φαινολών. Για την ποικιλία Τσουνάτι όπως και με την απόδοση, τα καλύτερα αποτελέσματα έδειξε η προεπεξεργασία με την ΠΗΠ τεχνολογία, με αύξηση της συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων κατά 9,3%. Η Κορωνέικη ποικιλία ελιάς επίσης παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα μετά από επεξεργασία με ΠΗΠ με αύξηση 2% της συγκέντρωσης των ολικών φαινολών σε σχέση πάντα με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Άρα, και στις δυο ποικιλίες ελιάς η επεξεργασία με ΠΗΠ οδηγεί σε επιθυμητά αποτελέσματα, αφού η αύξηση των φαινολικών ενώσεων οδηγεί σε πιθανώς μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα στο ελαιόλαδο κατά την αποθήκευση. Ακόμα, παρατηρείται ότι μεταξύ των δυο ποικιλιών ελιάς η διαφορά στην συγκέντρωση των φαινολικών είναι πολύ μεγάλη, το οποίο οφείλεται στην διαφορετική ποικιλία ελαιόκαρπου και στο διαφορετικό στάδιο ωρίμανσης κατά την συγκομιδή.

Πίνακας 6.17: Επίδραση της προεπεξεργασίας της ελαιόπαστας με ΠΗΠ και ΥΠ στα ελεύθερα λιπαρά οξέα.

Ποικιλίες	Κορωνέικη			Τσουνάτι			Όρια*
	Ανεπεξέργαστο (30°C, 30min)	ΠΗΠ (30°C, 30min)	ΥΠ (30°C, 30min)	Ανεπεξέργαστο (30°C, 30min)	ΠΗΠ (30°C, 30min)	ΥΠ (30°C, 30min)	
Μυριστικό	0,02	0,01	0,01	Μη ανιχνεύσιμο	0,01	0,01	max 0,03
Παλμιτικό	11,81	12,05	12,04	8,42	8,48	8,49	7,50-20,00
Παλμιτελαϊκό	0,83	0,81	0,83	0,41	0,42	0,42	0,30-3,50
Δεκαεπτανικό	0,03	0,04	0,04	0,12	0,12	0,12	max 0,30
Δεκαεπτενικό	0,08	0,07	0,08	0,21	0,21	0,21	max 0,30
Στεατικό	2,51	2,63	2,37	3,07	3,05	3,13	0,50-5,00
Ελαϊκό	75,49	75,56	75,61	81,37	81,38	81,71	55,00-83,00

Λινελαϊκό	7,50	6,93	6,44	4,97	4,91	4,88	3,50-21,00
Λινολενικό	0,75	0,83	0,73	0,48	0,49	0,48	max 1,00
Εικοσανικό	0,45	0,48	0,45	0,47	0,45	0,47	max 0,60
Εικοσενοϊκό	0,32	0,35	0,34	0,29	0,29	0,29	max 0,40
Βεχενικό	0,15	0,17	0,16	0,14	0,14	0,14	max 0,20
Λιγνοκερικό	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	max 0,20
Ελαϊκό/Λινελαϊκό	10,07	10,90	11,74	16,37	16,57	16,74	

*Κανονισμός (ΕΟΚ) 2568/91 και τροποποιήσεις του για το εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο.

Στον πίνακα 6.17 φαίνεται ότι το ελαϊκό οξύ και το πηλίκιο ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές τους στα επεξεργασμένα ελαιόλαδα με ΠΗΠ και ΥΠ και στις δυο ποικιλίες. Αυτό σημαίνει ότι όταν το ελαιόλαδο επεξεργάζεται με ΠΗΠ και ΥΠ, αυξάνεται η οξειδωτική σταθερότητα του και άρα η διάρκεια ζωής του. Από το πηλίκιο ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ παρατηρείται ότι η επεξεργασία με ΥΠ προσδίδει λίγο καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την ΠΗΠ. Επίσης, συγκρίνοντας τις δυο ποικιλίες ελιάς φαίνεται ότι οι τιμές του ελαϊκού οξέος και του πηλίκου ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ που περιέχονται στο ελαιόλαδο, ανεξάρτητα από την επεξεργασία ή μη που λαμβάνει χώρα, είναι υψηλότερες στην Τσουνάτη ποικιλία. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική ποικιλία των ελαιόλαδων και στο διαφορετικό στάδιο ωρίμανσης των ελαιόκαρπων κατά την συγκομιδή τους.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα που διεξήχθησαν κατά την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να συγκριθούν με άλλες έρευνες που έχουν γίνει για την μελέτη της επίδρασης της τεχνολογίας των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων και της Υπερυψηλής Πίεσης στην απόδοση του ελαιόλαδου. Μία από τις έρευνες αυτές είναι των Puertolas et al (2015), οι οποίοι χρησιμοποίησαν την ποικιλία ελιάς Arroniz και την επεξεργάστηκαν με ΠΗΠ σε ένταση πεδίου 2 kV/cm, ειδική ενέργεια 11.25 kJ/kg και μάλαξη στους 24 °C για 60 min. Τα αποτελέσματα του πειράματος τους έδειξε ότι η απόδοση σε ελαιόλαδο αυξάνεται κατά 13,3% σε σχέση με το ανεπεξέργαστο και η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου αυξάνονται κατά 11,5%. Οι Abenoza et al (2013) απέδειξαν ότι και στην ποικιλία Arbequina αυξάνεται η απόδοση σε ελαιόλαδο μετά από επεξεργασία με ΠΗΠ σε ένταση πεδίου 2 kV/cm, ειδική ενέργεια 5,22 kJ/kg και μάλαξη στους 15 °C για 30 min. Η αύξηση τη απόδοσης ήταν 14,1% σε σύγκριση με το ανεπεξέργαστο, ενώ παρατηρήθηκε μείωση στις φαινολικές ενώσεις κατά 24,6%, η οποία μάλλον οφείλεται στην χαμηλή θερμοκρασία μάλαξης που εφαρμόστηκε.

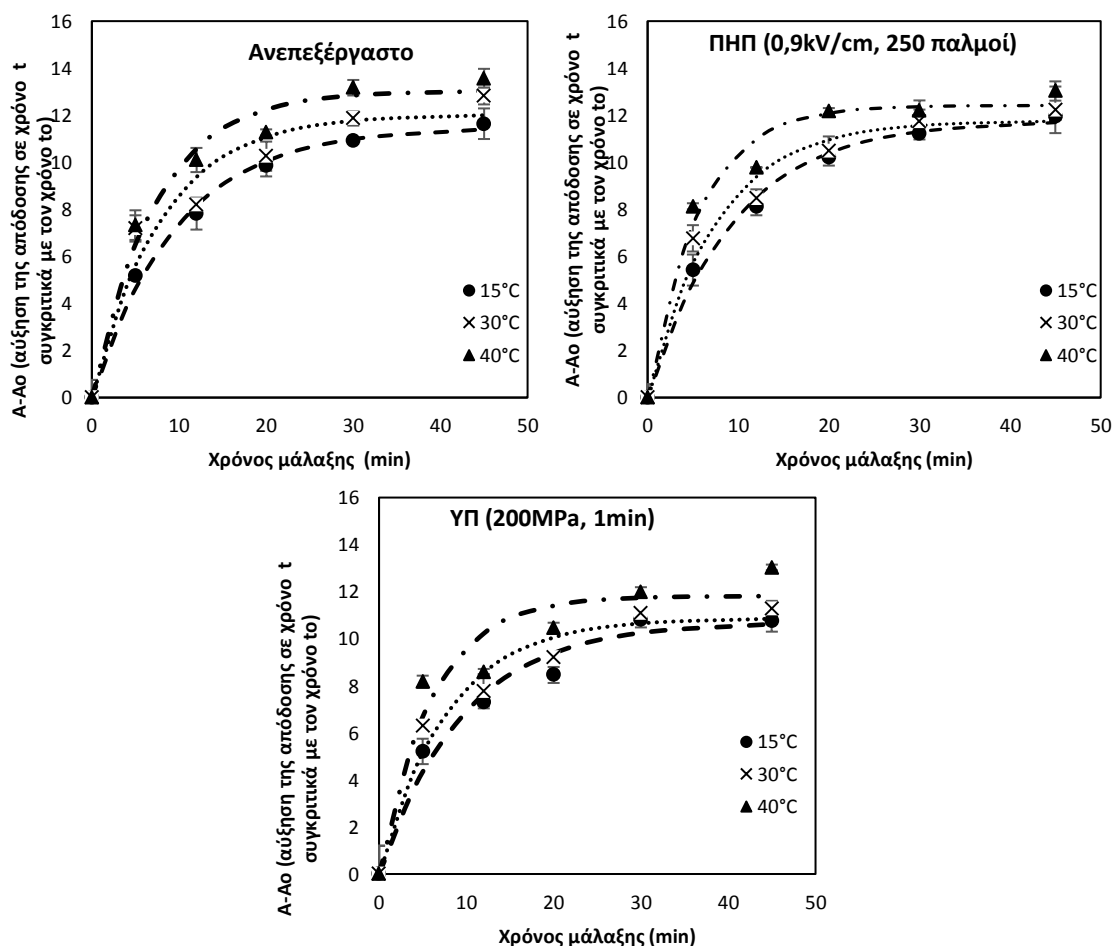
Όσον αφορά την τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης, οι Andreou et al (2016) μελέτησαν την επίδραση της ΥΠ στην απόδοση ελαιόλαδου σε 3 ποικιλίες ελιάς (Μανάκι, Τσουνάτη και Αμφίσσης) και απέδειξαν ότι σε πίεση 200MPa και 1min και για μάλαξη στους 30 °C για 30 min, η απόδοση αυξήθηκε 24% για την Μανάκι, 6% για την Τσουνάτη και 8% για την Αμφίσσης συγκριτικά με ένα ανεπεξέργαστο δείγμα. Επίσης, και η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου αυξήθηκε μετά την επεξεργασία με ΥΠ, 24% για την Μανάκι, 21% για την Τσουνάτη και 27% για την Αμφίσσης.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής συμφωνούν με άλλες έρευνες που έχουν διεξαχθεί πάνω στο ίδιο θέμα, με τις διαφορές που φαίνονται να οφείλονται στις διαφορετικές ποικιλίες ελιάς που χρησιμοποιήθηκαν και στις διαφορετικές συνθήκες μάλαξης που εφαρμόστηκαν.

6.4 Μοντελοποίηση των συνθηκών μάλαξης για την αύξηση της απόδοσης

Με χρήση του κλασματικού μοντέλου 1^{ης} τάξης και της εξίσωσης Arrhenius μοντελοποιείται η αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο και σε φαινολικές ενώσεις, στο ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο της ποικιλίας Τσουνάτη, στις διάφορες συνθήκες μάλαξης που εφαρμόστηκαν. Στη συνέχεια παρατίθεται το μοντέλο με τη μορφή διαγραμμάτων και πινάκων.

6.4.1 Μοντέλο αύξησης απόδοσης ελαιόλαδου



Διάγραμμα 6.20: Επίδραση του χρόνου και της θερμοκρασίας μάλαξης στην αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο για ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο συγκριτικά με τον χρόνο 0.

Στα διαγράμματα παρατηρείται ότι με την αύξηση του χρόνου και της θερμοκρασίας μάλαξης αυξάνεται η διαφορά απόδοσης μεταξύ του χρόνου μάλαξης t και του χρόνου t₀ (χρόνος μάλαξης 0 min) στο ανεπεξέργαστο καθώς και στο επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ

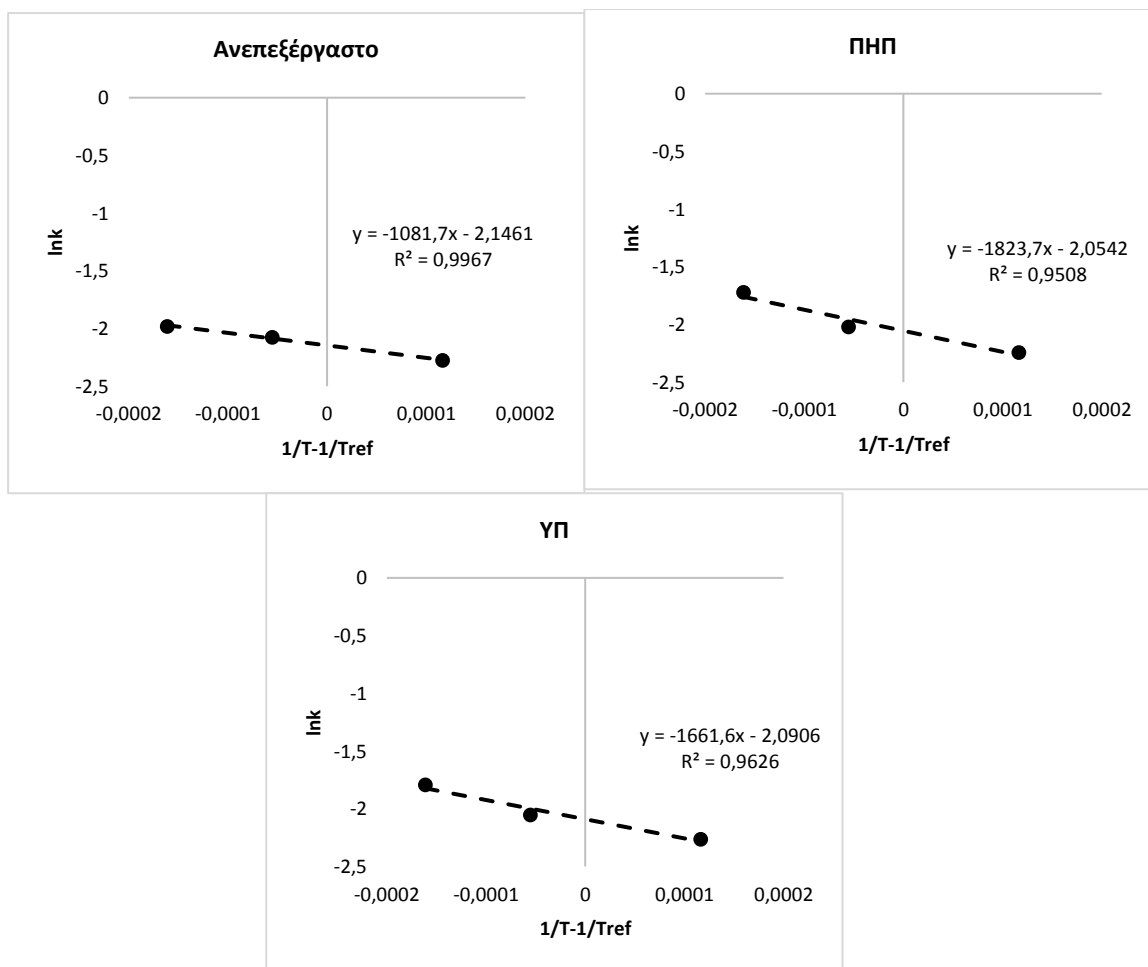
ελαιόλαδο. Επίσης, φαίνεται ότι μετά τα 30 min μάλαξης η διαφορά στην απόδοση σταθεροποιείται τόσο στο ανεπεξέργαστο όσο και στο επεξεργασμένο ελαιόλαδο.

Πίνακας 6.18: Παράμετροι του κλασματικού μοντέλου 1^{ης} τάξης, ο προεκθετικός παράγοντας a και ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο ελαιόλαδο στις θερμοκρασίες μάλαξης.

Συνθήκες	T(°C)	a (%)	k (s ⁻¹)	R ²
Ανεπεξέργαστο	15	11,51±0,31	0,1027±0,0089	0,9947
	30	12,05±0,85	0,1254±0,0323	0,9517
	40	13,05±0,53	0,1383±0,0215	0,9827
ΠΗΠ (0,9kV/cm, 250 παλμοί)	15	11,79±0,32	0,1063±0,0094	0,9944
	30	11,78±0,57	0,1327±0,0241	0,9761
	40	12,42±0,49	0,1791±0,0314	0,9793
ΥΠ (200MPa, 1min)	15	10,71±0,61	0,1039±0,0193	0,9755
	30	10,88±0,64	0,1286±0,0279	0,9658
	40	11,82±0,87	0,1668±0,0524	0,9331

±σφάλμα (standar error)

Στον πίνακα 6.18 φαίνεται ότι καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία μάλαξης αυξάνεται και ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k . Στα επεξεργασμένα ελαιόλαδα με ΠΗΠ και ΥΠ ο ρυθμός k παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ανεξάρτητα από την θερμοκρασία μάλαξης συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο έλαιο. Το ελαιόλαδο που επεξεργάστηκε με ΠΗΠ έχει τις μεγαλύτερες τιμές για τον ρυθμό k , που σημαίνει ότι με επεξεργασία με ΠΗΠ αυξάνεται περισσότερο η απόδοση σε ελαιόλαδο σε σχέση με το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΥΠ δείγμα.



Διάγραμμα 6.21: Ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k συναρτήσει της θερμοκρασίας αναφοράς (25 °C) για ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Στα διαγράμματα παρατηρείται η συσχέτιση του ρυθμού αύξησης της απόδοσης k με την θερμοκρασία αναφοράς (25 °C) μέσω της εξίσωσης Arrhenius. Από την εξίσωση Arrhenius που προκύπτει από κάθε διάγραμμα, υπολογίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης και ο ρυθμός αναφοράς, k_{ref} για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο. Η συσχέτιση του ρυθμού k με την θερμοκρασία αναφοράς είναι καλύτερη στο ανεπεξέργαστο έλαιο συγκριτικά με την αντίστοιχη στα επεξεργασμένα ελαιόλαδα με ΠΗΠ και ΥΠ όπως φαίνεται από το R^2 .

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών της ενέργειας ενεργοποίησης και του ρυθμού αύξησης της απόδοσης k_{ref} για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

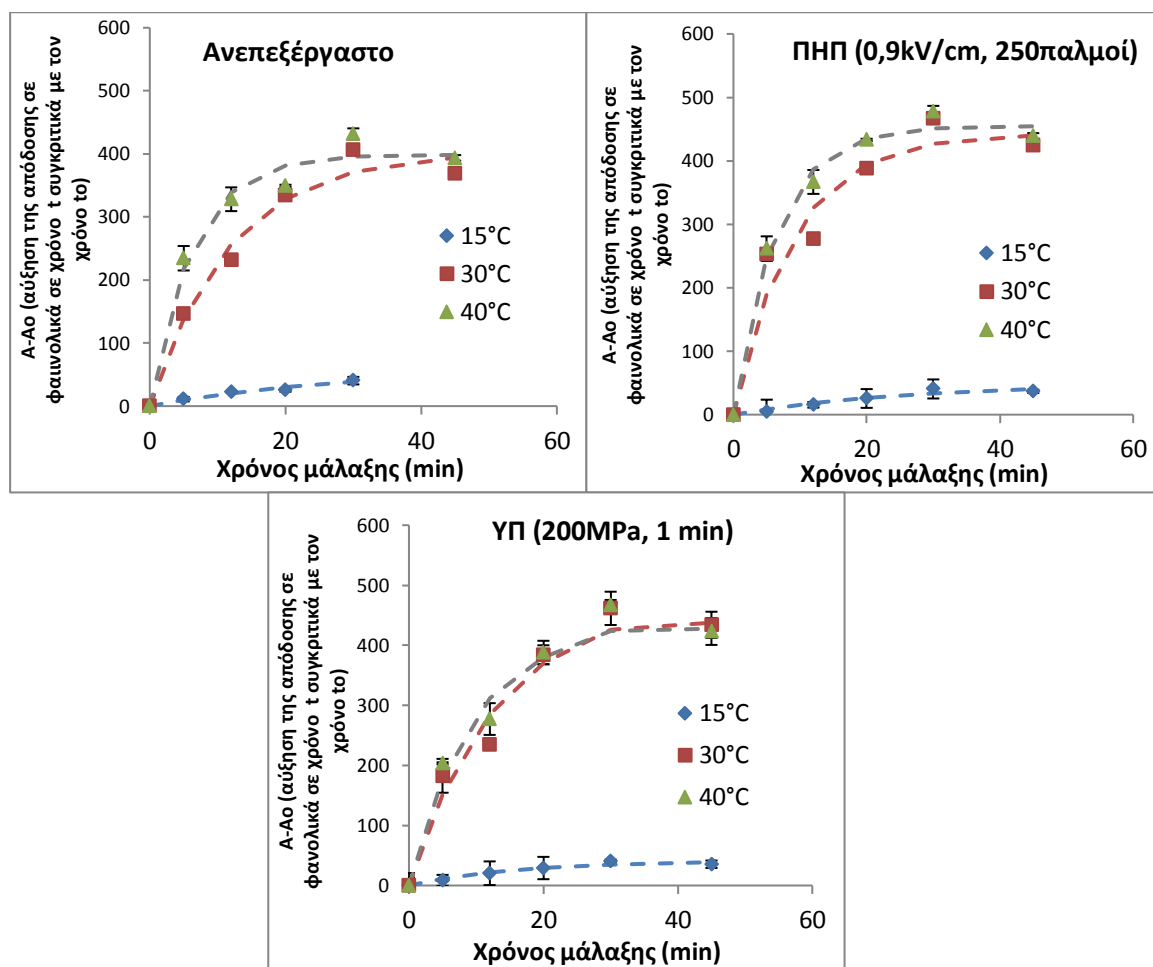
Πίνακας 6.19: Η ενέργεια ενεργοποίησης και ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k_{ref} για ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Συνθήκες	E_a (kJ)	k_{ref} (s ⁻¹)	R ²
Ανεπεξέργαστο	8,99±0,55	0,1169±0,0010	0,9967
ΠΗΠ (0,9kV/cm, 250παλμοί)	15,16±0,39	0,1282±0,0075	0,9508
ΥΠ (200MPa, 1min)	13,81±0,30	0,1236±0,0056	0,9626

±σφάλμα (standar error)

Στον πίνακα 6.19 φαίνεται ότι τα επεξεργασμένα με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδα έχουν μεγαλύτερες τιμές στην ενέργεια ενεργοποίησης και στον ρυθμό αύξησης της απόδοσης k_{ref} σε σχέση με το ανεπεξέργαστο. Μάλιστα, το επεξεργασμένο με ΠΗΠ έλαιο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές. Αυτό σημαίνει ότι το επεξεργασμένο με ΠΗΠ ελαιόλαδο έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.

6.4.2 Μοντέλο αύξησης απόδοσης φαινολικών ενώσεων



Διάγραμμα 6.22: Επίδραση του χρόνου και της θερμοκρασίας μάλαξης στην αύξηση της απόδοσης σε φαινολικές ενώσεις για ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

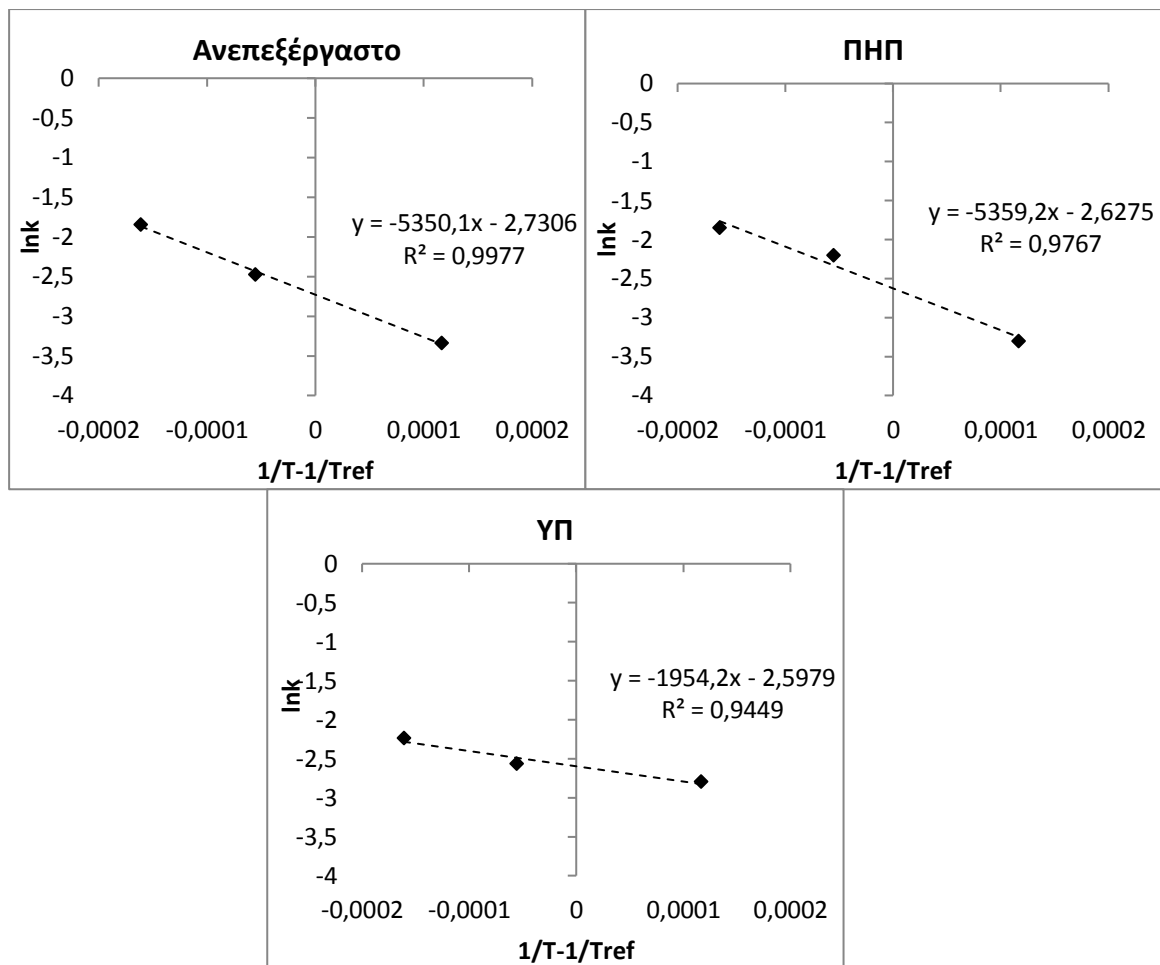
Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι με την αύξηση του χρόνου και της θερμοκρασίας μάλαξης αυξάνεται η διαφορά απόδοσης σε φαινολικές ενώσεις μεταξύ του χρόνου μάλαξης t και του χρόνου t_0 στο ανεπεξέργαστο καθώς και στο επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο. Η διαφορά στην απόδοση σε φαινόλες όταν η θερμοκρασία αυξάνεται από 15 °C σε 30 και 40 °C είναι πολύ μεγάλη. Επίσης, φαίνεται ότι μετά τα 30 min μάλαξης η διαφορά στην απόδοση σταθεροποιείται τόσο στο ανεπεξέργαστο όσο και στο επεξεργασμένο ελαιόλαδο.

Πίνακας 6.20: Παράμετροι του κλασματικού μοντέλου 1^{ης} τάξης, ο προεκθετικός παράγοντας a και ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο ελαιόλαδο στις θερμοκρασίες μάλαξης.

Συνθήκες	T(°C)	a (%)	k (s ⁻¹)	R ²
Ανεπεξέργαστο	15	58,79±23,21	0,0355±0,0215	0,9658
	30	403,42±26,21	0,0841±0,0158	0,9782
	40	398,74±17,51	0,1581±0,0287	0,9772
ΠΗΠ (0,9kV/cm, 250 παλμοί)	15	49,92±14,06	0,0368±0,0189	0,9397
	30	442,97±32,66	0,1110±0,0278	0,9558
	40	454,82±12,96	0,1576±0,0185	0,9904
ΥΠ (200MPa, 1min)	15	41,52±5,15	0,0610±0,0181	0,9600
	30	472,46±41,99	0,0769±0,0187	0,9645
	40	431,22±21,35	0,1068±0,0175	0,9811

±σφάλμα (standar error)

Στον πίνακα 6.20 φαίνεται ότι με αύξηση της θερμοκρασία μάλαξης αυξάνεται ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k . Στους 30 °C, που θεωρήθηκε η βέλτιστη θερμοκρασία μάλαξης, τα επεξεργασμένα ελαιόλαδα με ΠΗΠ και ΥΠ παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές στο ρυθμό k συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο έλαιο. Αυτό σημαίνει ότι όταν η ελαιόπαστα επεξεργάζεται με ΠΗΠ και ΥΠ η απόδοση σε φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου που προκύπτει θα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη του ανεπεξέργαστου ελαίου. Από το R² φαίνεται ότι τα πειραματικά αποτελέσματα των συνθηκών μάλαξης έχουν σχετικά καλή προσαρμογή στο κλασματικό μοντέλο 1^{ης} τάξης.



Διάγραμμα 6.23: Ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k συναρτήσει της θερμοκρασίας αναφοράς (25 °C) για ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Στα διαγράμματα φαίνεται η συσχέτιση του ρυθμού αύξησης της απόδοσης k με την θερμοκρασία αναφοράς (25°C) μέσω της εξίσωσης Arrhenius. Η συσχέτιση είναι καλύτερη στο ανεπεξέργαστο έλαιο συγκριτικά με την αντίστοιχη στα επεξεργασμένα ελαιόλαδα με ΠΗΠ και ΥΠ. Από τις εξίσωσεις Arrhenius που προκύπτουν από τα διαγράμματα, υπολογίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης και ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k_{ref} για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο. Η συσχέτιση του ρυθμού k με την θερμοκρασία αναφοράς είναι καλύτερη στο ανεπεξέργαστο έλαιο συγκριτικά με την αντίστοιχη στα επεξεργασμένα ελαιόλαδα με ΠΗΠ και ΥΠ όπως φαίνεται από το R^2 .

Πίνακας 6.21: Η ενέργεια ενεργοποίησης και ο ρυθμός αύξησης της απόδοσης k_{ref} για ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Συνθήκες	E_a (kJ)	k_{ref} (s ⁻¹)	R ²
Ανεπεξέργαστο	44,48±0,28	0,0652±0,0030	0,9977
ΠΗΠ (0,9kV/cm, 250παλμοί)	44,56±0,86	0,0723±0,0112	0,9767
ΥΠ (200MPa, 1min)	16,25±0,44	0,0744±0,0050	0,9449

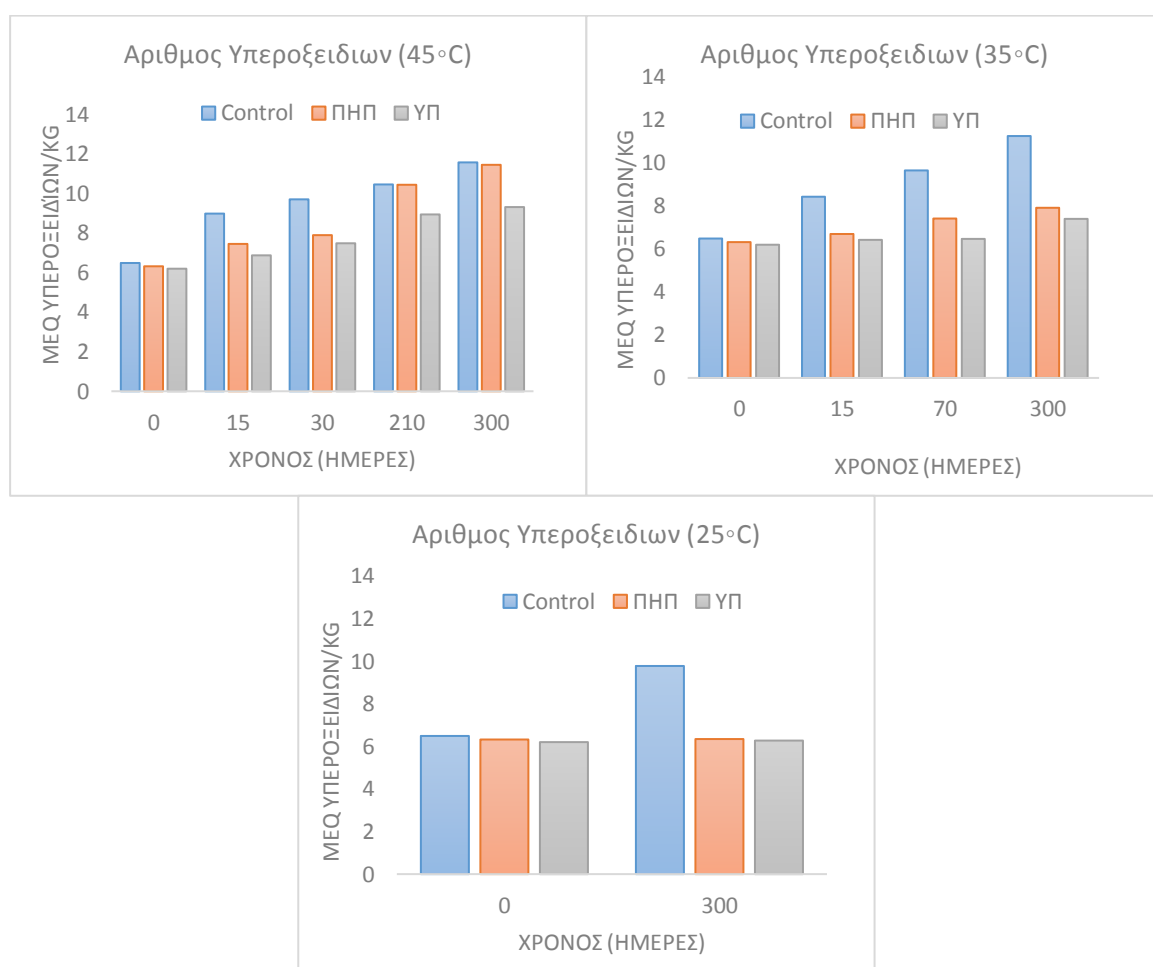
±σφάλμα (standar error)

Στον πίνακα 6.21 φαίνεται ότι το επεξεργασμένο με ΥΠ ελαιόλαδο έχει την μικρότερη τιμή στην ενέργεια ενεργοποίησης και την μεγαλύτερη στον ρυθμό αύξησης της απόδοσης k_{ref} σε σχέση με το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ έλαιο. Η μικρή ενέργεια ενεργοποίησης υποδηλώνει μικρή ευαισθησία στην αύξηση της απόδοσης σε φαινολικές ενώσεις όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.

6.5 Επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας

Στο πείραμα αυτό σκοπός ήταν ο προσδιορισμός του χρόνου ζωής του ελαιόλαδου που είχε προεπεξεργαστεί με τις τεχνολογίες ΠΗΠ και ΥΠ. Με αυτόν τον σκοπό, αποθηκεύτηκαν δείγματα ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου και επεξεργασμένου στις βέλτιστες συνθήκες ΠΗΠ (0,9 kV/cm, 250 παλμοί) και ΥΠ (200 MPa, 1 min) στις θερμοκρασίες 25, 35, 45 °C. Σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα επαναλαμβάνονταν οι μέθοδοι προσδιορισμού των σημαντικότερων ποιοτικών δεικτών που συνδέονται με τον βαθμό τάγγισης του ελαίου και την οξειδωτική του σταθερότητα: ο αριθμός υπεροξειδίων, οι φαινολικές ενώσεις, οι δείκτες K_{232} και K_{270} , οι χλωροφύλλες και τα καροτένια). Επειδή όμως το ελαιόλαδο είναι πολύ ανθεκτικό το πείραμα δεν ολοκληρώθηκε στην διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης του χρόνου και της θερμοκρασίας αποθήκευσης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου.

6.5.1 Ποικιλία Κορωνέικη

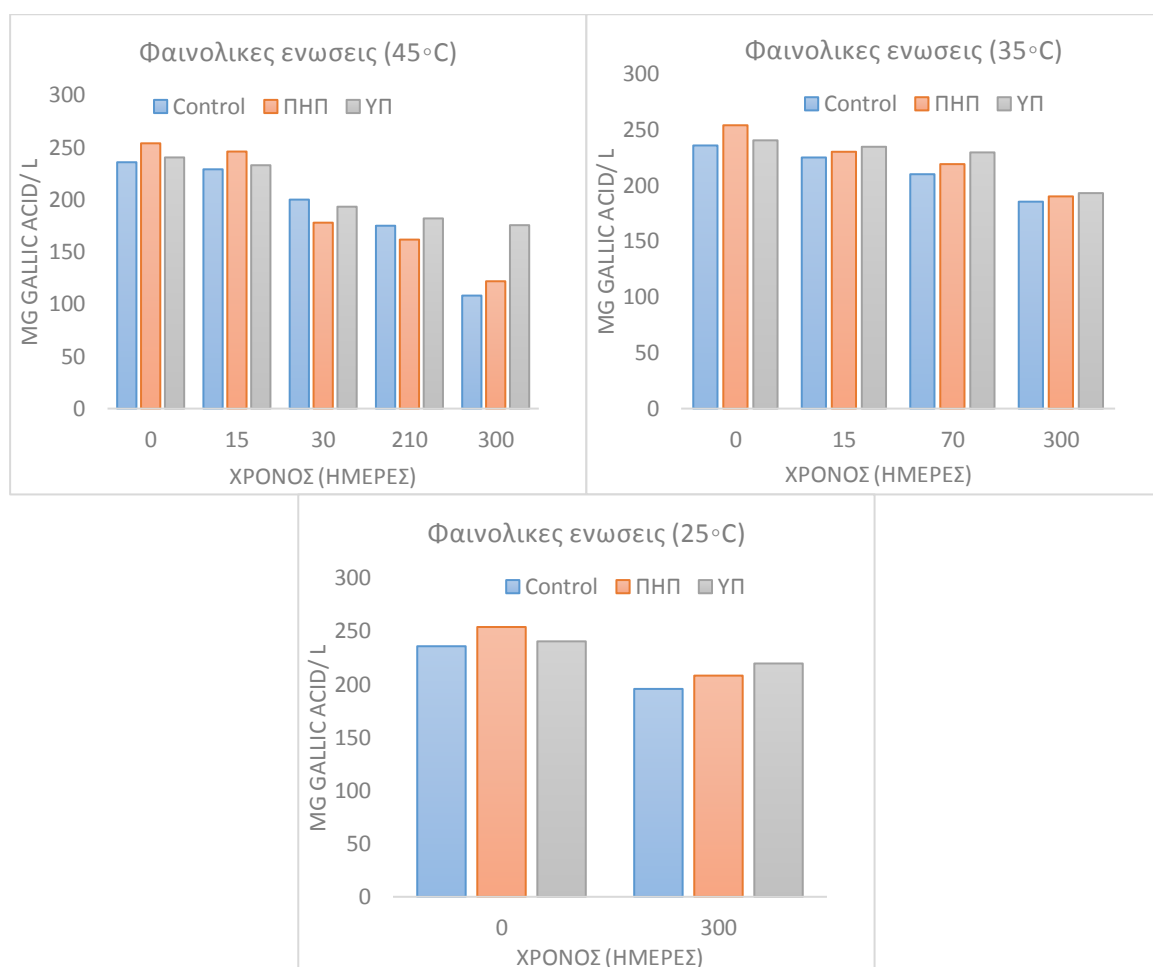


Διάγραμμα 6.24: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στον αριθμό υπεροξειδίων του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25,35 και 45 °C.

Στα διαγράμματα παρατηρείται ότι με το πέρασμα του χρόνου ο αριθμός υπεροξειδίων αυξάνεται είτε έχει προεπεξεργαστεί το ελαιόλαδο είτε όχι σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο επειδή η υψηλότερη θερμοκρασία αποθήκευσης ευνοεί την οξείδωση του ελαιόλαδου. Επίσης, παρατηρείται ότι ακόμα και μετά από 10 μήνες αποθήκευσης του ελαιόλαδου στους 45°C τα υπεροξείδια δεν έχουν ξεπεράσει τα 20 meq/kg ελαιόλαδου. Αυτό δηλώνει τη μεγάλη διάρκεια ζωής που έχει το ελαιόλαδο και μάλιστα συνεχίζει να χαρακτηρίζεται εξαιρετικά παρθένο. Με την προεπεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ και ιδιαίτερα με ΥΠ ο αριθμός υπεροξειδίων του ελαιόλαδου αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό, που σημαίνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με το ανεπεξεργαστο δείγμα.

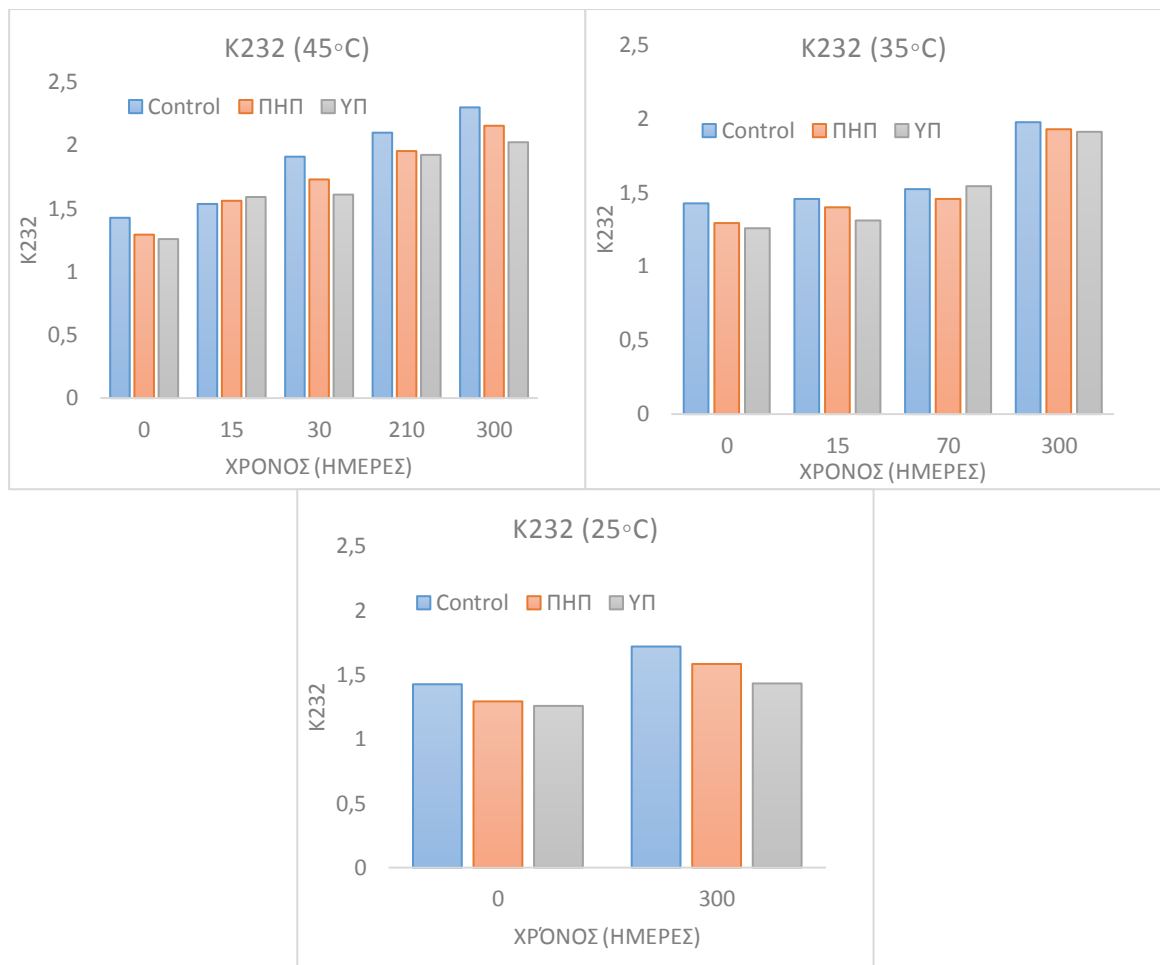
Γενικά ο μικρός ρυθμός αύξησης του αριθμού των υπεροξειδίων του ελαιόλαδου που έχει υποστεί προεπεξεργασία με ΥΠ πιθανώς να οφείλεται σε απενεργοποίηση

ενδογενών ενζύμων που είναι υπεύθυνα για την οξείδωση του ελαιόλαδου κατά την αποθήκευση, όπως είναι η λιποξυγενάση.

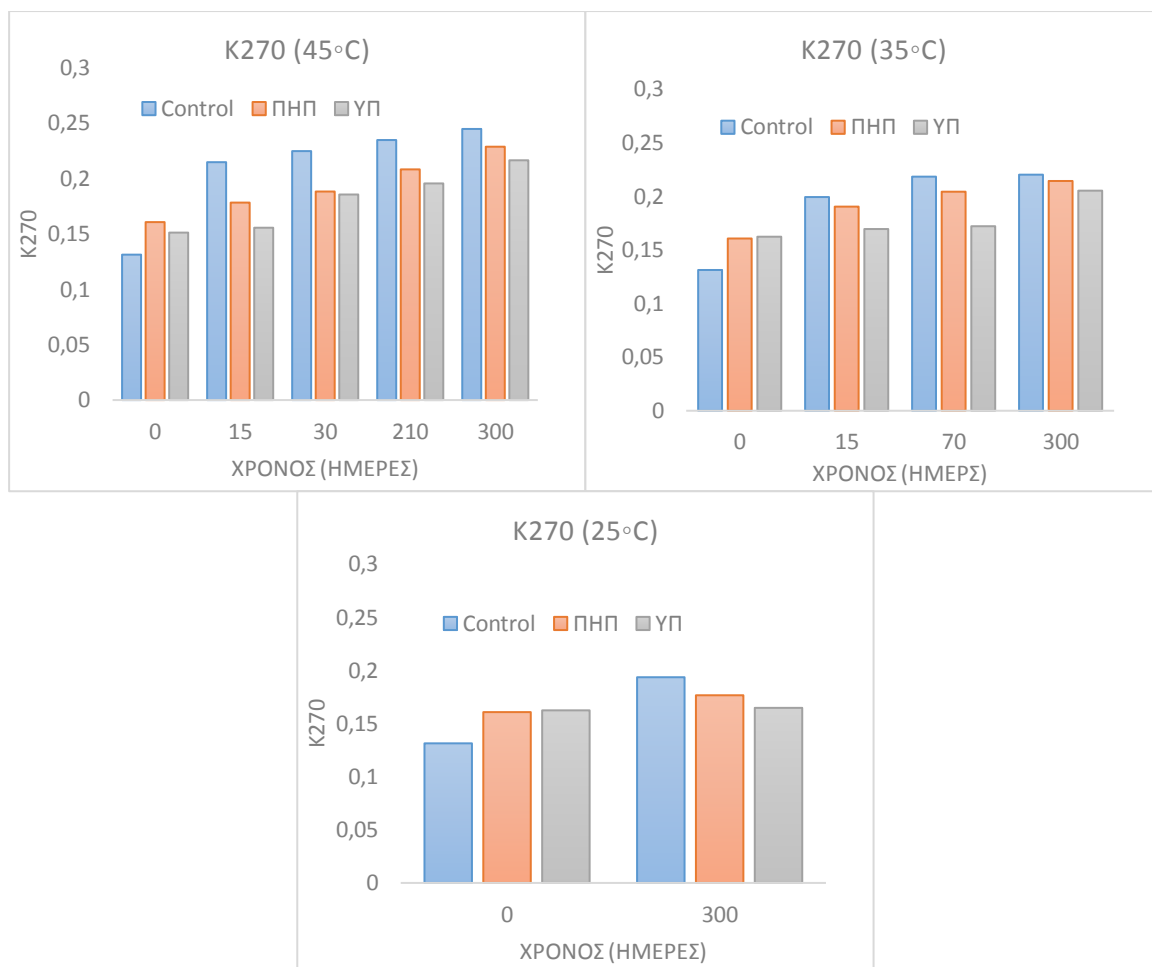


Διάγραμμα 6.25: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C.

Αντίθετα από την πορεία του αριθμού των υπεροξειδίων ακολουθούν οι ολικές φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου. Καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης στους 45°C τα ολικά φαινολικά μειώνονται με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι στις άλλες δύο θερμοκρασίες (35 και 25 °C). Όπως στην περίπτωση του αριθμού υπεροξειδίων, το λάδι στην υψηλή θερμοκρασία αποθήκευσης αρχίζει να οξειδώνεται. Στις πρώτες 30 μέρες αποθήκευσης παρατηρείται μια απότομη μείωση των φαινολικών ενώσεων, ενώ στη συνέχεια της αποθήκευσης η μείωση αυτή γίνεται με πιο αργό ρυθμό. Το επεξεργασμένο με ΠΗΠ ελαιόλαδο ακολουθεί πορεία παρόμοια με το ανεπεξέργαστο αλλά με τιμές συγκέντρωσης λίγο μεγαλύτερες. Αντίθετα, το ελαιόλαδο που επεξεργάστηκε με ΥΠ παρουσιάζει μικρότερη μείωση στη συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων. Άρα, η επεξεργασία με ΥΠ προστατεύει περισσότερο το ελαιόλαδο από την οξείδωση.

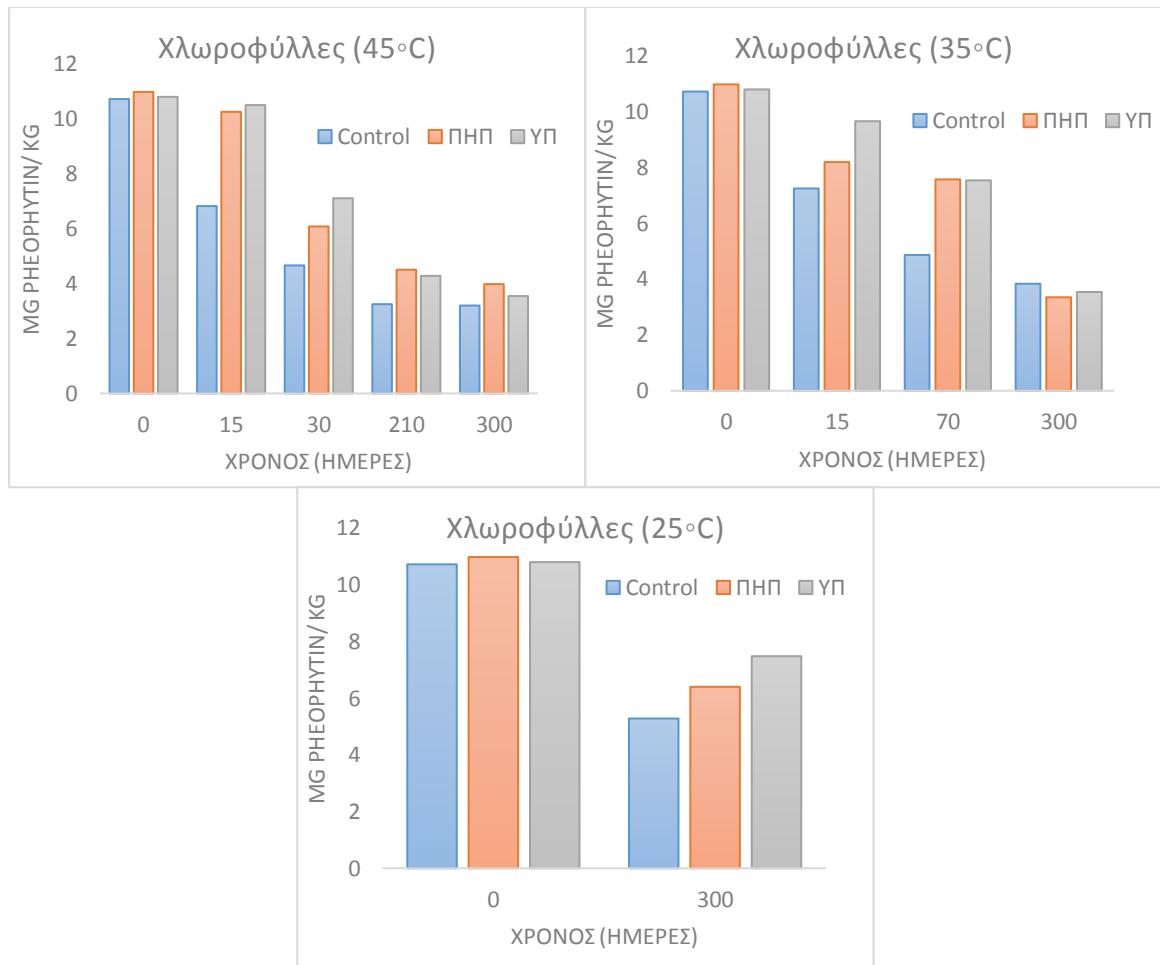


Διάγραμμα 6.26: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες, K232 του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C.

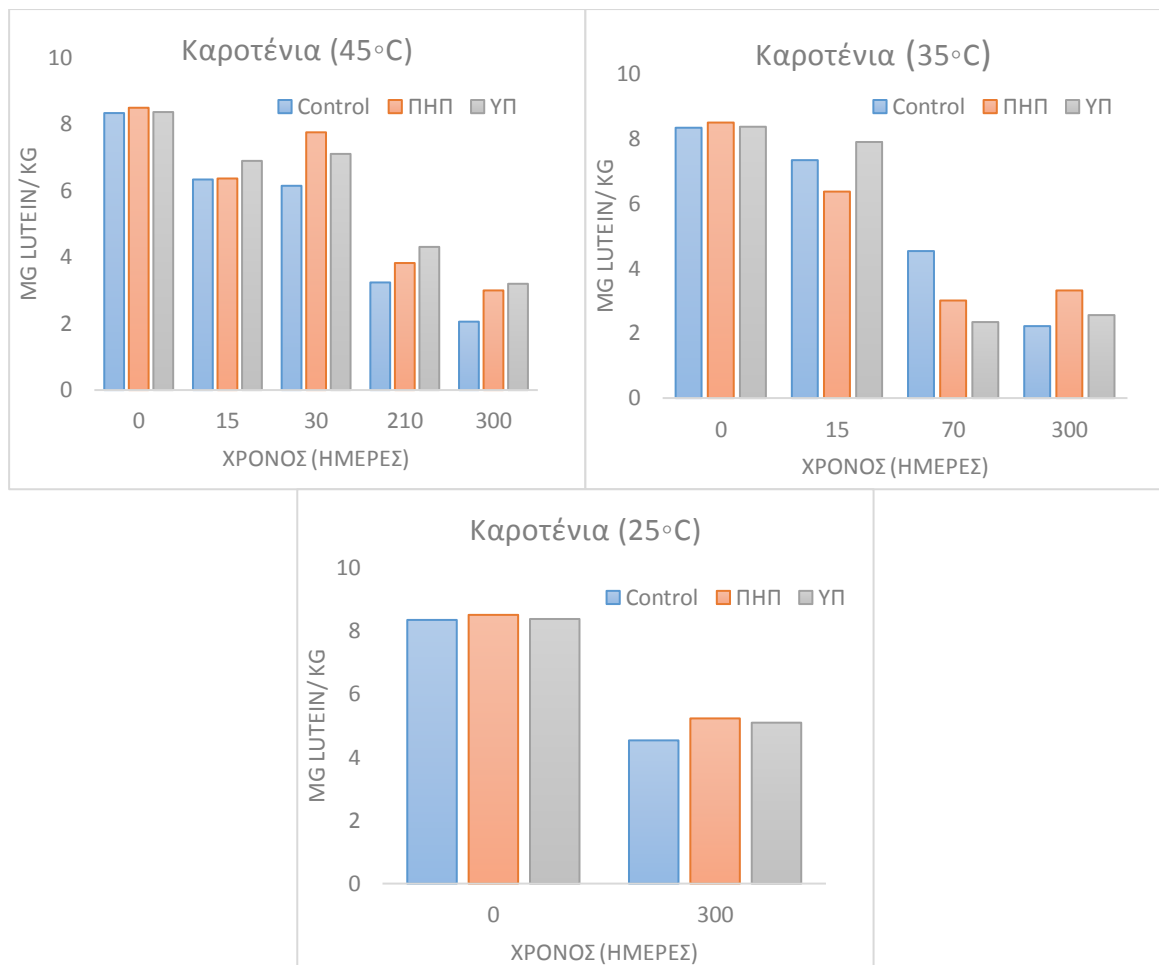


Διάγραμμα 6.27: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες, K₂₇₀ του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C.

Οι δείκτες απορρόφησης στο υπεριώδες (K₂₃₂, K₂₇₀) του ελαιόλαδου αυξάνονται με το πέρασμα του χρόνου αποθήκευσης του, που είναι λογικό αφού οι ουσίες που είναι υπεύθυνες για την απορρόφηση στο υπεριώδες είναι προϊόντα οξειδωτικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια αποθήκευσης του ελαίου. Παρατηρείται όμως στα διαγράμματα 6.26, 6.27 ότι το επεξεργασμένο έλαιο με ΠΗΠ και ΥΠ, έχει σε όλη την διάρκεια αποθήκευσης μικρότερες τιμές από τις αντίστοιχες του ανεπεξέργαστου. Το επεξεργασμένο με ΠΗΠ ελαιόλαδο παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερες τιμές στους δείκτες K₂₃₂, K₂₇₀, που σημαίνει ότι η επεξεργασία ΥΠ προστατεύει περισσότερο το ελαιόλαδο από την οξείδωση. Στον δείκτη K₂₇₀, η αύξηση είναι μικρότερη όταν το έλαιο έχει επεξεργαστεί με τις μεθόδους ΠΗΠ και ΥΠ. Επίσης η αύξηση των δεικτών απορρόφησης στο υπεριώδες είναι μικρότερη στους 25 °C σε σχέση με τις υψηλότερες θερμοκρασίες των 35 και 45 °C.



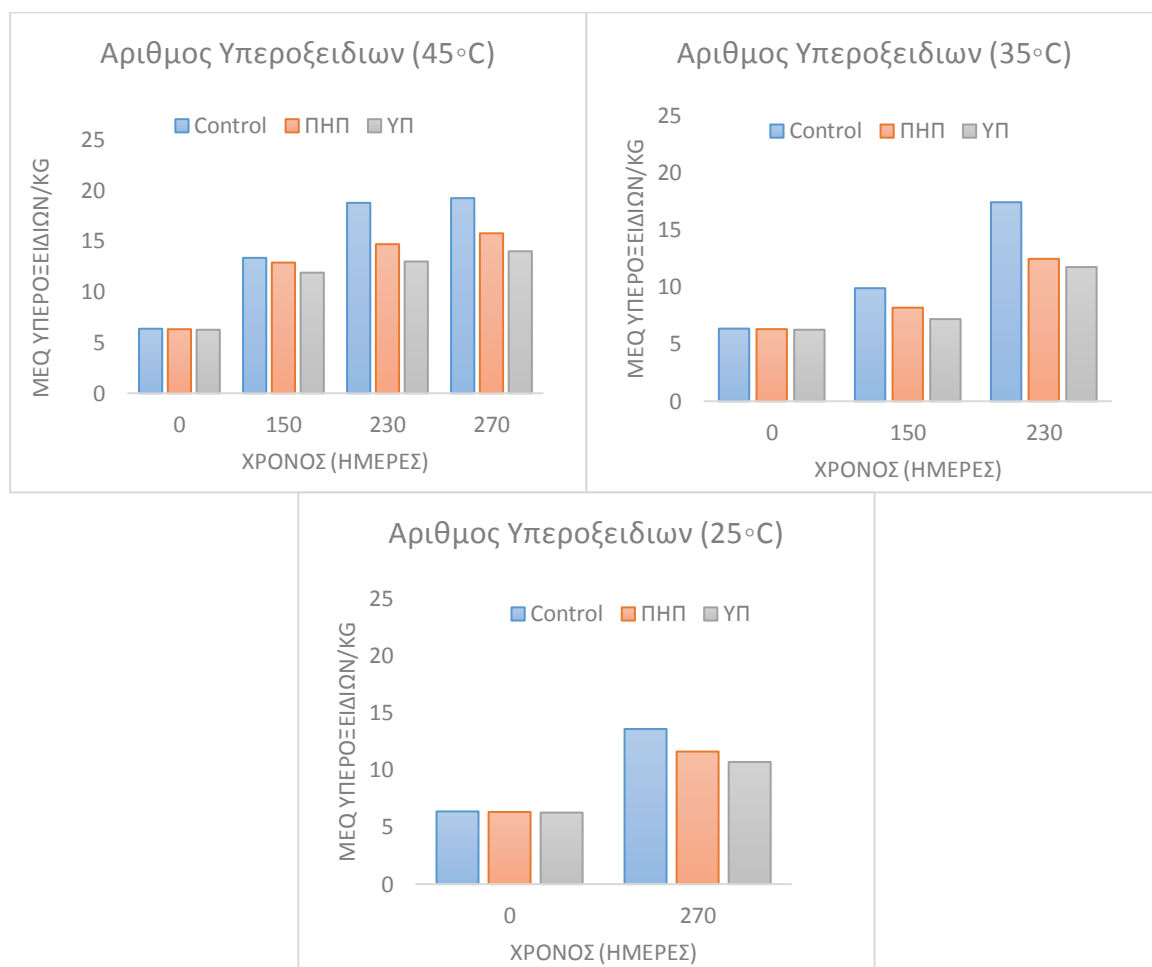
Διάγραμμα 6.28: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στις χλωροφύλλες του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C.



Διάγραμμα 6.29: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στα καροτένια του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C.

Στα διαγράμματα 6.28 και 6.29 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών και των καροτενοειδών του ελαιόλαδου μειώνονται με το πέρασμα του χρόνου. Οι τιμές της συγκέντρωσης τόσο στις χλωροφύλλες όσο και στα καροτένια είναι μικρότερες στο ανεπεξέργαστο έλαιο. Μάλιστα στα επεξεργασμένα με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδα, η συγκέντρωση των χλωροφυλλών αρχίζει να μειώνεται μετά τις πρώτες 15 μέρες αποθήκευσης. Η θερμοκρασία αποθήκευσης δεν φαίνεται να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την συγκέντρωση των χλωροφυλλών.

6.5.2 Ποικιλία Τσουνάτη

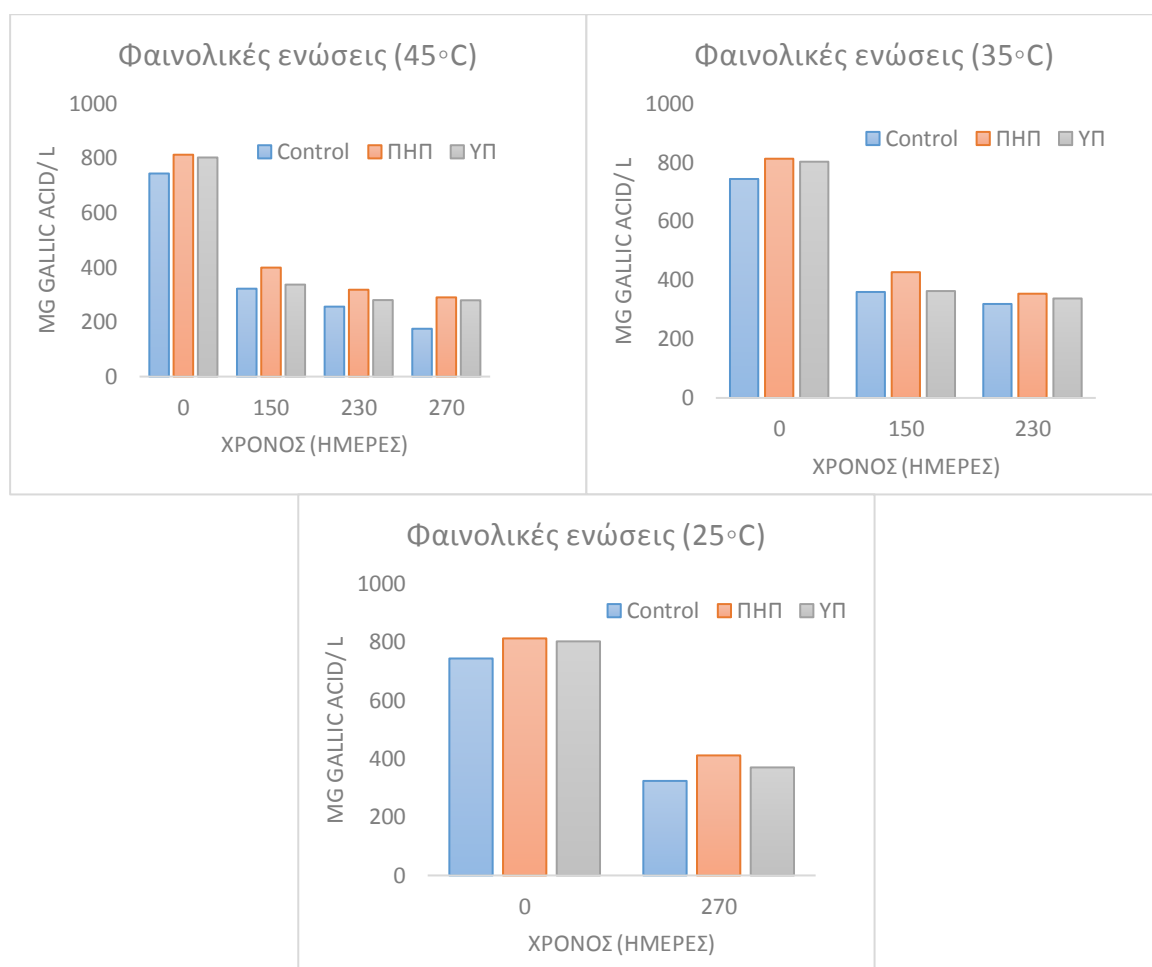


Διάγραμμα 6.30: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στον αριθμό υπεροξειδίων του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης τους 25, 35 και 45 °C.

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι με την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης, ο αριθμός των υπεροξειδίων αυξάνεται είτε έχει επεξεργαστεί το ελαιόλαδο είτε όχι, για τους πρώτους 5 μήνες αποθήκευσης. Στη συνέχεια, η αύξηση των υπεροξειδίων στο ανεπεξέργαστο ελαιόλαδο αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με την αντίστοιχη των προεπεξεργασμένων με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδων. Αυτό σημαίνει ότι η προεπεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ που έγινε στην ελαιόπαστα, προσέδωσε στο ελαιόλαδο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Γενικά ο μικρός ρυθμός αύξησης του αριθμού των υπεροξειδίων των ελαιόλαδων που έχουν υποστεί προεπεξεργασία με ΥΠ πιθανώς να οφείλεται σε απενεργοποίηση ενδογενών ενζύμων που είναι υπεύθυνα για την οξείδωση του ελαιόλαδου κατά την αποθήκευση, όπως είναι η λιποξυγενάση.

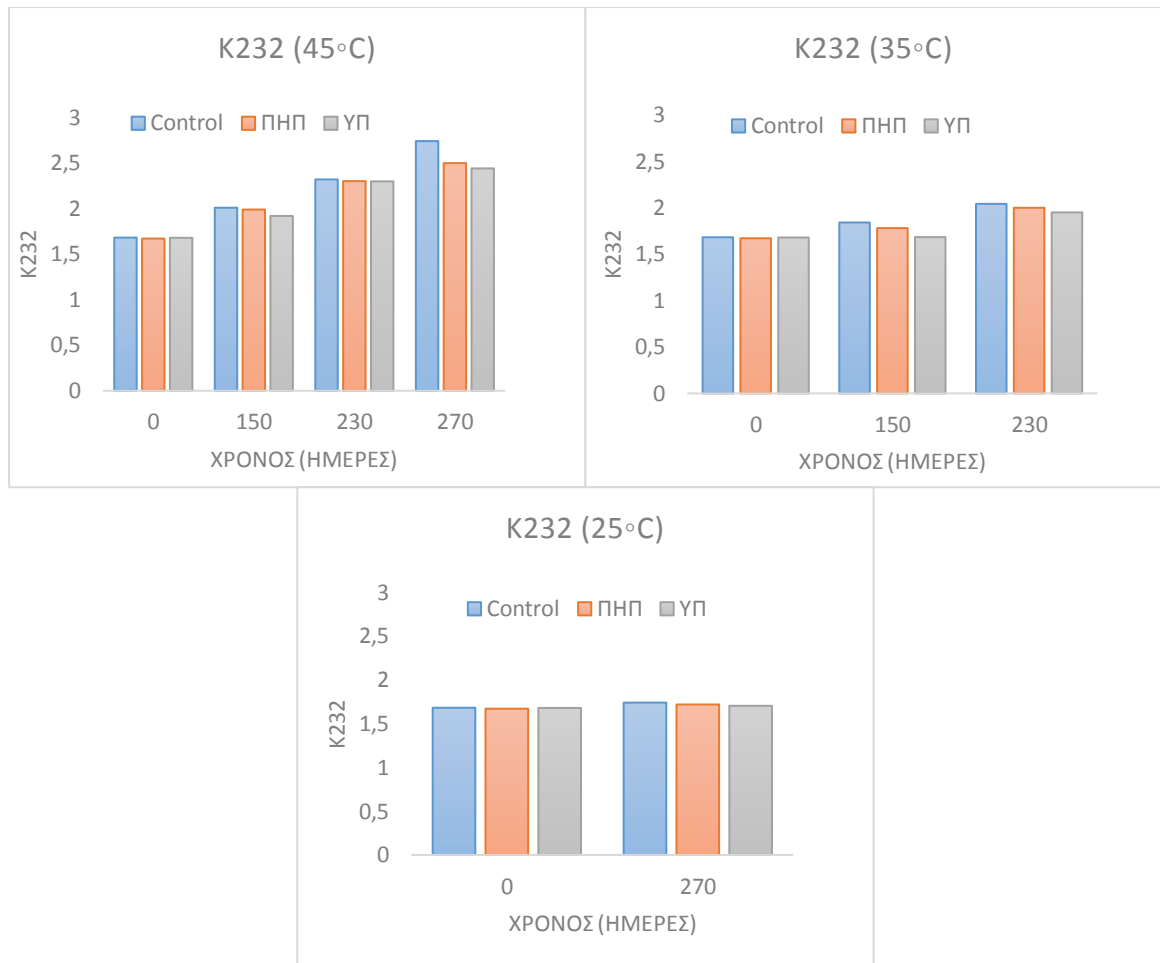
Επίσης, παρατηρείται ότι ακόμα και μετά από 9 μήνες αποθήκευσης του ελαιόλαδου στους 45 °C τα υπεροξειδία δεν έχουν ξεπεράσει τα 20 meq/kg ελαιόλαδου. Αυτό δηλώνει τη μεγάλη διάρκεια ζωής που έχει το ελαιόλαδο. Αντίθετα όμως με την αποθήκευση στους 45 °C, στους 35 °C το ελαιόλαδο παρουσιάζει μικρότερη αύξηση των

υπεροξειδίων και στους 25 °C ακόμα μικρότερη. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο επειδή η υψηλότερη θερμοκρασία αποθήκευσης ευνοεί την οξείδωση του ελαιόλαδου.

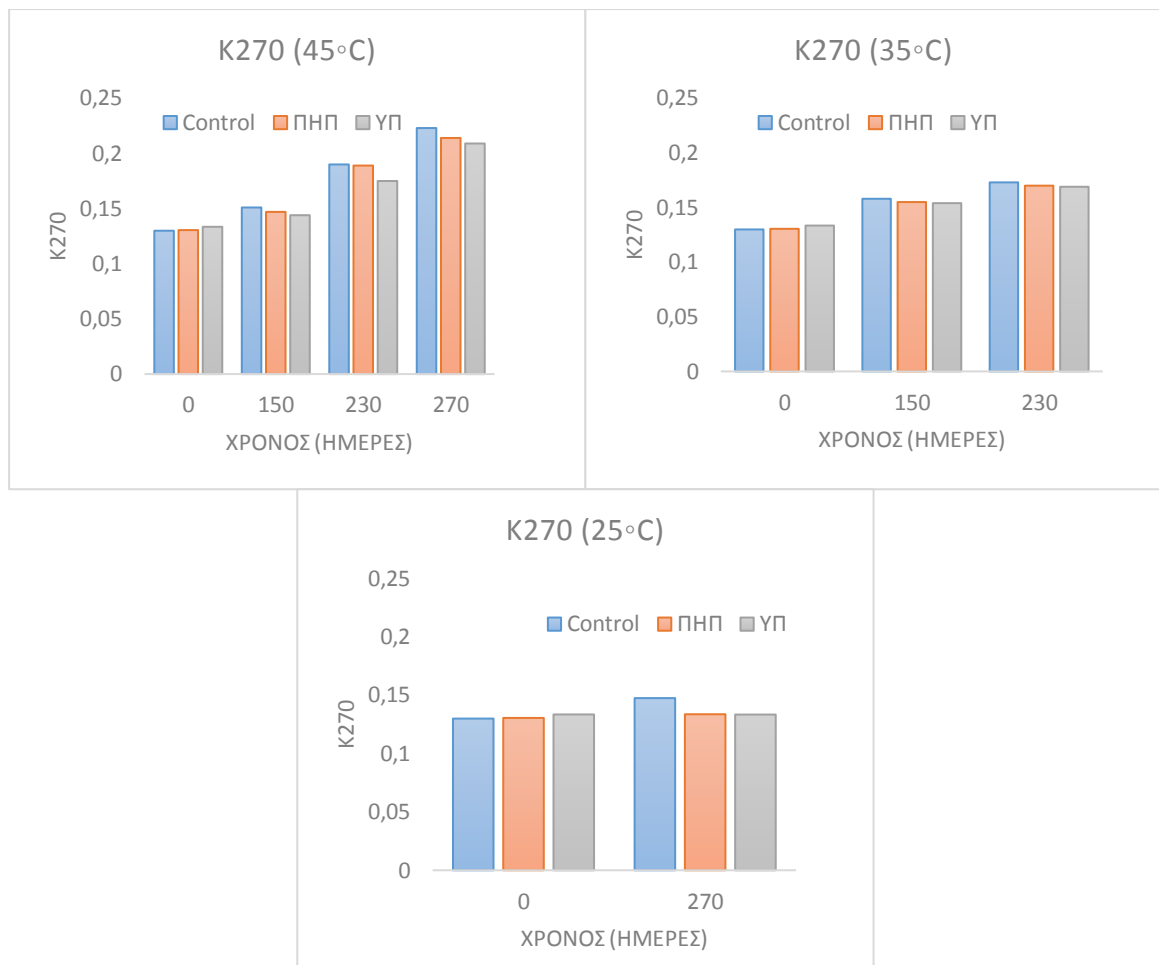


Διάγραμμα 6.31: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης τους 25, 35 και 45 °C.

Αντίθετα από την πορεία του αριθμού των υπεροξειδίων ακολουθούν οι φαινολικές ενώσεις του ελαιόλαδου. Καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης σε όλες τις θερμοκρασίες τα ολικά φαινολικά μειώνονται που σημαίνει, όπως στην περίπτωση του αριθμού υπεροξειδίων, ότι το λάδι αρχίζει να οξειδώνεται. Μετά τους 3 πρώτους μήνες αποθήκευσης στους 35 και 45 °C παρατηρείται ότι ο ρυθμός μείωσης των φαινολικών ενώσεων μειώνεται. Τα επεξεργασμένα με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδα φαίνεται να έχουν λίγο πιο μεγάλες συγκεντρώσεις ολικών φαινολικών συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο ελαιόλαδο σε όλες τις θερμοκρασίες. Αυτό οφείλεται στο ότι τα προεπεξεργασμένα έλαια είχαν μεγαλύτερες αρχικές τιμές ολικών φαινολικών ενώσεων συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο. Επίσης, παρατηρείται ότι όταν αποθηκεύεται το λάδι στους 25 ή 35 °C η μείωση της συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων είναι μικρότερη συγκριτικά με την αποθήκευση στους 45 °C. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η οξείδωση του ελαιόλαδου αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

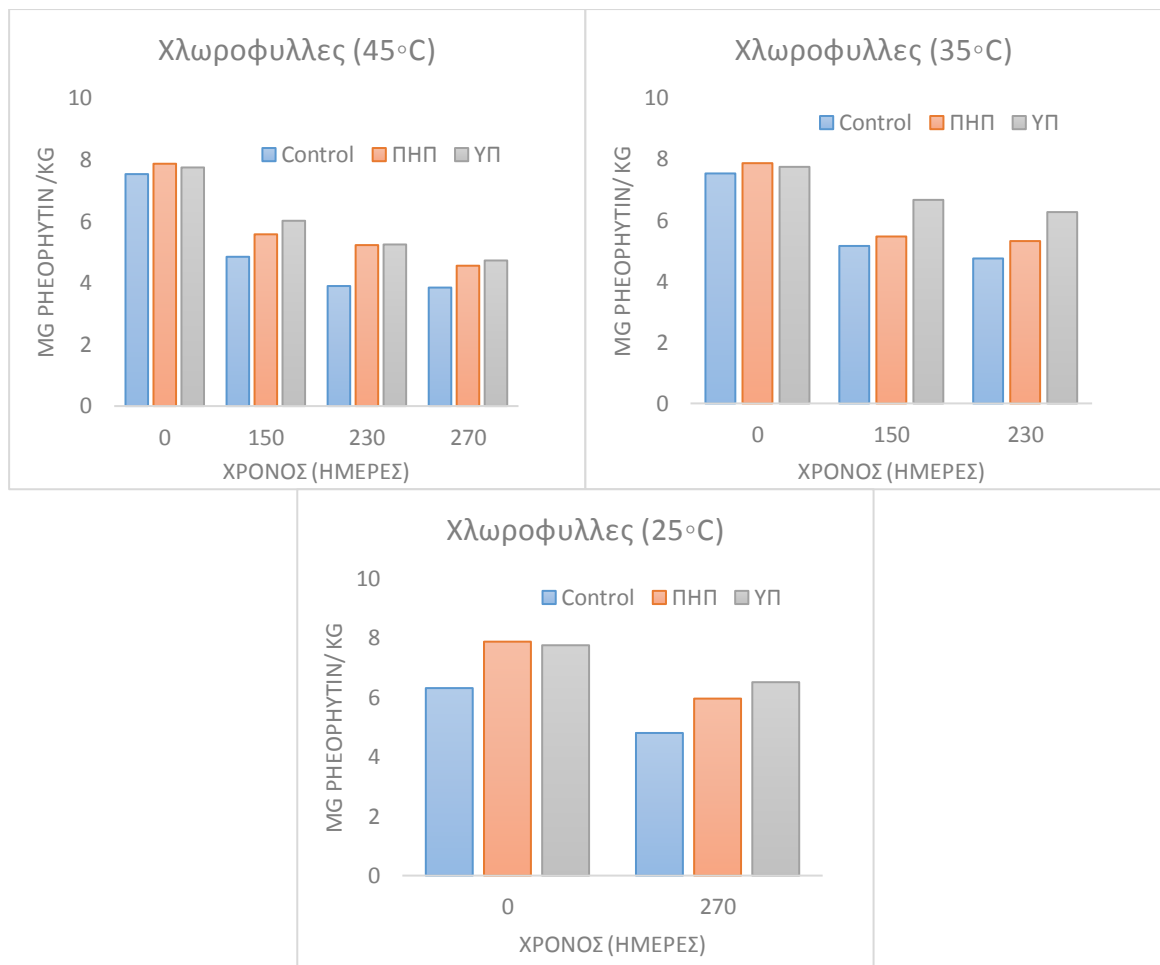


Διάγραμμα 6.32: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στον δείκτη K232 του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης τους 25, 35 και 45 °C.

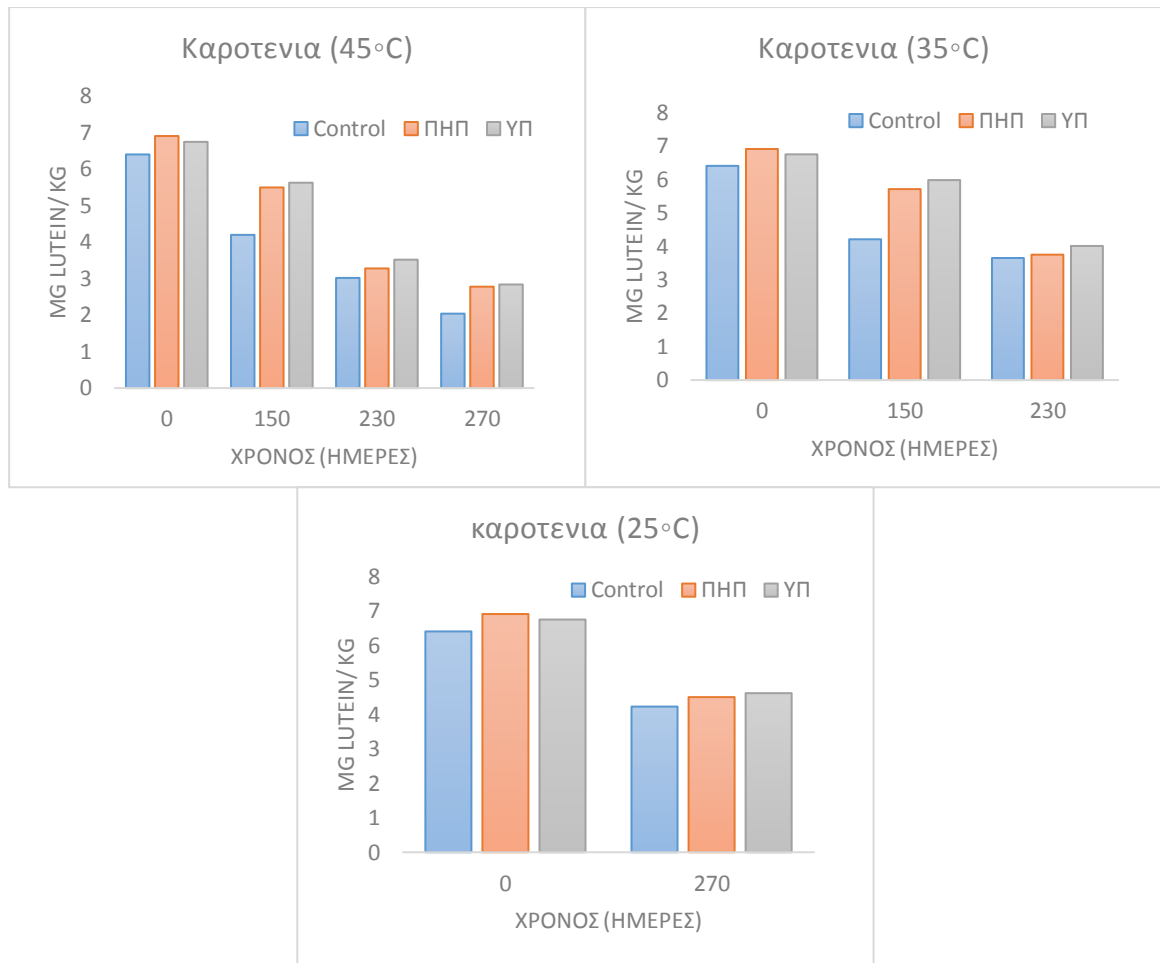


Διάγραμμα 6.33: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στον δείκτη K₂₇₀ του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης τους 25, 35 και 45 °C.

Οι δείκτες απορρόφησης στο υπεριώδες (K₂₃₂, K₂₇₀) του ελαιόλαδου αυξάνονται με το πέρασμα του χρόνου αποθήκευσης τους, με επεξεργασία ή μη της ελαιόπαστας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις ουσίες που είναι υπεύθυνες για την απορρόφηση στο υπεριώδες, οι οποίες είναι προϊόντα οξειδωτικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης του ελαίου. Μετά τους πρώτους 3 μήνες παρατηρείται ότι ο ρυθμός αύξησης των δεικτών K₂₃₂, K₂₇₀ αυξάνεται ανεξάρτητα από την επεξεργασία που έγινε. Η αύξηση των δύο αυτών δεικτών πραγματοποιείται με πιο αργό ρυθμό στους 25 και 35 °C συγκριτικά με την αύξηση τους στους 45 °C, αυτό εξηγείται επειδή η οξείδωση του ελαιόλαδου επηρεάζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Στον δείκτη K₂₇₀ η αύξηση είναι πολύ μικρότερη όταν η ελαιόπαστα έχει πρώτα προεπεξεργαστεί με τις μεθόδους ΠΗΠ και ΥΠ.



Διάγραμμα 6.34: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης τους 25, 35 και 45 °C.



Διάγραμμα 6.35: Η επίδραση του χρόνου (ημέρες) στην συγκέντρωση των καροτενίων του ελαιόλαδου σε θερμοκρασία αποθήκευσης τους 25, 35 και 45 °C.

Οι συγκεντρώσεις των χλωροφυλλών και των καροτενίων μειώνονται με την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης. Ο ρυθμός της μείωσης των χλωροφυλλών και των καροτενίων είναι μεγαλύτερος στο ανεπεξέργαστο έλαιο σε σχέση με τα επεξεργασμένα με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδα σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Μάλιστα, η συγκέντρωση των χλωροφυλλών στο επεξεργασμένο με ΥΠ ελαιόλαδο μειώνεται με μικρότερο ρυθμό συγκριτικά με το επεξεργασμένο με ΠΗΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η επίδραση των μη θερμικών τεχνολογιών των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ) και της Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ) στην απόδοση του ελαιόλαδου δυο ποικιλιών ελιάς, της Κορωνέικης και της Τσουνάτης. Ο στόχος των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας ήταν η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ και των βέλτιστων συνθηκών μάλαξης (θερμοκρασία και χρόνος), στις οποίες η απόδοση του ελαιόλαδου αυξήθηκε με παράλληλη όμως διατήρηση της ποιότητας του ελαίου. Επίσης, πραγματοποιήθηκε επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας στο ελαιόλαδο.

Στα πειράματα της πρώτης ενότητας εξετάστηκε η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μάλαξης στην απόδοση σε ανεπεξέργαστο ελαιόλαδο και στους ποιοτικούς δείκτες του. Βρέθηκε ότι στην Κορωνέικη ποικιλία η απόδοση αυξήθηκε σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας μάλαξης από 15 σε 30 και 40 °C και για χρόνους από 10 έως 30 min μάλαξης. Από τους ποιοτικούς δείκτες, η οξύτητα αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας μάλαξης και στους 40 °C προσέγγισε σε μεγάλο βαθμό την οριακή τιμή 0,8% σε ελαϊκό οξύ, πάνω από την οποία το λάδι παύει να χαρακτηρίζεται εξαιρετικά παρθένο. Ακόμα, οι φαινολικές ενώσεις αυξήθηκαν με την αύξηση είτε της θερμοκρασίας και είτε του χρόνου μάλαξης, με την μέγιστη τιμή να εμφανίζεται στα 60 min με 5,6% παραπάνω αύξηση απόδοσης συγκριτικά με τα 30 min μάλαξης. Η διαφορά αυτή δεν θεωρείται αρκετά σημαντική για να δικαιολογήσει την επιπλέον καταπόνηση της ελαιόπαστας. Τέλος, από το προφίλ των ελεύθερων λιπαρών οξέων, το ελαϊκό οξύ και το πηλίκo ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ του ελαιόλαδου στους 30°C για 30 min παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις άλλες θερμοκρασίες μάλαξης. Αυτό σημαίνει ότι στις συνθήκες μάλαξης 30 °C για 30 min, το ελαιόλαδο θα έχει μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα κατά την αποθήκευση του. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν και τα ελαιόλαδα από την Τσουνάτη ποικιλία. Όπως και στην περίπτωση της Κορωνέικης ποικιλίας παρατηρείται ότι η θερμοκρασία μάλαξης από τους 30 °C στους 40 °C επηρέασε λιγότερο την αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο σε σύγκριση με την αντίστοιχη αύξηση από τους 15 °C στους 30 °C. Επίσης, η θερμοκρασία των 15°C παρουσίασε τους καλύτερους ποιοτικούς δείκτες, δηλαδή πολύ μικρές τιμές οξύτητας, αριθμού υπεροξειδίων και τιμές K_{232} , K_{270} , που είναι λογικό αφού με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η οξείδωση του ελαιόλαδου. Όμως παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών ενώσεων (μεγάλη οξειδωτική σταθερότητα) και των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου αυξήθηκε σημαντικά στις υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τους 15 °C, με τη μέγιστη να παρουσιάζεται στους 40 °C. Από την άλλη, ο αριθμός υπεροξειδίων είχε μικρότερη τιμή στους 30 °C συγκριτικά με τους 40 °C. Επιπρόσθετα, από το προφίλ των ελεύθερων λιπαρών οξέων, το ελαϊκό οξύ και το πηλίκo ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ είχαν την μεγαλύτερη τιμή τους στους 30°C. Επομένως, οι βέλτιστες συνθήκες μάλαξης που επιλέχθηκαν για την εξαγωγή ελαιόλαδου ήταν οι **30°C για 30 min**. Επιπρόσθετα, έγινε και δοκιμή εξαγωγής ελαιόλαδου με ή και χωρίς μάλαξη και για τις δύο ποικιλίες. Η αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο που επιτεύχθηκε ήταν

1168% για την Κορωνέικη και 78,6% για την Τσουνάτη συγκριτικά με ένα δείγμα που δεν έχει μαλαχθεί. Από το πείραμα αυτό λοιπόν βγαίνει το συμπέρασμα ότι η μάλαξη είναι ένα πολύ σημαντικό στάδιο στην παραγωγή του ελαιόλαδου, χωρίς το οποίο χάνεται ένα μεγάλο ποσοστό από την απόδοση του ελαίου.

Στην δεύτερη ενότητα πειραμάτων, μελετήθηκε η επίδραση των συνθηκών προεπεξεργασίας ΠΗΠ και ΥΠ στην απόδοση σε ελαιόλαδο και στους ποιοτικούς δείκτες του, στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης που βρέθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Τα αποτελέσματα στην Κορωνέικη ποικιλία ελιάς έδειξαν ότι η απόδοση σε ελαιόλαδο αυξάνεται όταν η ελαιόπαστα προεπεξεργάζεται με την τεχνολογία των ΠΗΠ, που πιθανώς οφείλεται στο ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόστηκε στην ελαιόπαστα προκαλεί την διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης του και την πιο εύκολη εκχύλιση του ελαίου προς το εξωτερικό. Επίσης, η προεπεξεργασία με ΠΗΠ δεν επηρέασε σημαντικά του ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, εκτός από την συγκέντρωση των ολικών φαινολικών ενώσεων, που σημειώθηκε αύξηση της μετά την προεπεξεργασία με ΠΗΠ. Στην Τσουνάτη ποικιλία η απόδοση σε ελαιόλαδο αυξήθηκε σημαντικά με την προεπεξεργασία με ΠΗΠ στις πιο έντονες εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου. Ο χρόνος επεξεργασίας με ΠΗΠ δεν επηρεάζει σημαντικά την αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο, καθώς φαίνεται ότι για ίδια ένταση ηλεκτρικού πεδίου στους δυο διαφορετικούς χρόνους (250 και 2250 παλμούς) η αύξηση της απόδοσης είναι παρόμοια. Από τους ποιοτικούς δείκτες, η οξύτητα προσέγγισε την οριακή τιμή 0,8% σε ελαϊκό οξύ για την ακραία ένταση ηλεκτρικού πεδίου (1,4kV/cm και 2250 παλμούς), πέρα από το οποίο το ελαιόλαδο παύει να χαρακτηρίζεται εξαιρετικά παρθένο. Οι συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καρωτένιων αυξήθηκαν με την αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, ενώ δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας. Οι βέλτιστες συνθήκες ΠΗΠ που επιλέχθηκαν λοιπόν ήταν για ένταση ηλεκτρικού πεδίου **0,9kV/cm και 250 παλμούς**, στις οποίες η απόδοση αυξήθηκε κατά 6,9% στην Κορωνέικη και 8% στην Τσουνάτη σε σχέση με ένα ανεπεξέργαστο δείγμα.

Όσον αφορά την προεπεξεργασία με ΥΠ στην Τσουνάτη ποικιλία, η απόδοση αυξήθηκε σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα, όμως παρατηρήθηκε ότι η ασκούμενη πίεση της διεργασίας αλλά και ο χρόνος επεξεργασίας δεν επηρέασαν σημαντικά την αύξηση αυτή. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία ΥΠ εφαρμόζεται ομοιόμορφα και ακαριαία στην ελαιόπαστα, έτσι η αύξηση της έντασης της εφαρμοζόμενης πίεσης και του χρόνου επεξεργασίας δεν έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση του ελαιόλαδου. Επομένως η επιλογή της βέλτιστης συνθήκης ΥΠ έγινε με βάση τους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου, από τους οποίους οι φαινολικές ενώσεις, οι χλωροφύλλες και τα καρωτένια αυξήθηκαν σημαντικά συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι για πίεση 600 MPa και 5 min η οξύτητα προσέγγισε την οριακή τιμή 0,8% ελαϊκό οξύ. Έτσι, οι βέλτιστες συνθήκες ΥΠ που επιλέχθηκαν ήταν για πίεση **200MPa και 1 min** επεξεργασίας, όπου υπήρξε αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο, διατήρηση της ποιότητας του ελαίου σε σύγκριση με το ανεπεξέργαστο δείγμα και όσο τον δυνατόν ηπιότερες συνθήκες επεξεργασίας.

Επομένως, συμπεραίνεται ότι η προεπεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ και ΥΠ οδήγησε σε παραγωγή υψηλότερων αποδόσεων σε ελαιόλαδο και ταυτόχρονη διατήρηση των ποιοτικών του δεικτών. Τα καλύτερα αποτελέσματα έδειξε η προεπεξεργασία της ελαιόπαστας με ΠΗΠ για την αύξηση της απόδοσης καθώς και για την αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών φαινολών στην Κορωνέικη και την Τσουνάτη ποικιλία.

Η τρίτη ενότητα πειραμάτων είχε σκοπό την σύγκριση των αποδόσεων και των ποιοτικών δεικτών του επεξεργασμένου με ΠΗΠ (0,9kV/cm, 250 παλμοί) και ΥΠ (200MPa και 1 min) ελαιόλαδου με το ανεπεξέργαστο έλαιο στις βέλτιστες συνθήκες προεπεξεργασίας της ελαιόπαστας που επιλέχθηκαν στη δεύτερη ενότητα. Η απόδοση του ελαιόλαδου της Κορωνέικης ποικιλίας αυξήθηκε κατά 6,9% όταν επεξεργάστηκε με ΠΗΠ και 3,8% με επεξεργασία με ΥΠ, και η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών του κατά 2% και 0,45% για επεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ αντίστοιχα σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Στην Τσουνάτη η απόδοση παρουσίασε αύξηση κατά 7,5% όταν επεξεργάστηκε με ΠΗΠ και 3,7% με επεξεργασία με ΥΠ, και οι ολικές φαινόλες του ελαίου αυξήθηκαν κατά 9% όταν επεξεργάστηκε με ΠΗΠ και 7,9% με επεξεργασία ΥΠ. Επίσης, από το προφίλ των ελεύθερων λιπαρών οξέων, το ελαϊκό οξύ και το πηλίκιο ελαϊκό/λινελαϊκό οξύ παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές τους στα επεξεργασμένα ελαιόλαδα με ΠΗΠ και ΥΠ και στις δυο ποικιλίες. Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα ότι με προεπεξεργασία της ελαιόπαστας με τις τεχνολογίες ΠΗΠ και ΥΠ προκύπτουν είτε υψηλότερες αποδόσεις σε ελαιόλαδο σε σχέση με το ανεπεξέργαστο με ίδιους ή και βελτιωμένους ποιοτικούς δείκτες (αύξηση φαινολικών ενώσεων), είτε ίδια απόδοση με το ανεπεξέργαστο αλλά σε πιο ήπιες συνθήκες μάλαξης (χρόνου και θερμοκρασίας).

Τα παραπάνω αποτελέσματα περιγράφηκαν μαθηματικά ένα κλασματικό μοντέλο 1^{ης} τάξης. Συγκεκριμένα υπολογίστηκαν οι ρυθμοί της αύξησης της απόδοσης σε ελαιόλαδο και σε φαινολικές ενώσεις, στο ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο ελαιόλαδο της ποικιλίας Τσουνάτη, στις διάφορες συνθήκες μάλαξης και στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ και ΥΠ. Ύστερα, εκφράστηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στους ρυθμούς της αύξησης της απόδοσης σε ελαιόλαδο και σε φαινολικές ενώσεις μέσω της εξίσωσης Arrhenius. Οι ρυθμοί αύξησης της απόδοσης σε ελαιόλαδο και σε φαινολικές ενώσεις για το επεξεργασμένο με ΠΗΠ ελαιόλαδο έχουν την μεγαλύτερη εξάρτηση από την θερμοκρασία αφού η ενέργεια ενεργοποίησης είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΥΠ έλαιο.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε επιταχυνόμενο πείραμα διατηρησιμότητας, όπου αποθηκεύτηκαν δείγματα ελαιόλαδου στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας ΠΗΠ και ΥΠ μαζί με ένα ανεπεξέργαστο δείγμα για σύγκριση, σε 3 θερμοκρασίες (25, 35 και 45 °C). Το πείραμα αυτό είχε σκοπό την μελέτη της διάρκειας ζωής του ελαιόλαδου, η οποία όπως αποδείχθηκε είναι πολύ μεγάλη αφού μετά από 10 μήνες αποθήκευσης του ελαιόλαδου, τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά δεν υποβαθμίστηκαν. Μπορεί οι ποιοτικοί δείκτες να μεταβλήθηκαν όμως οι μεταβολές αυτές δεν ήταν τόσο σημαντικές ώστε να θεωρηθεί το λάδι μη εδώδιμο. Όπως ήταν αναμενόμενο, στις υψηλές θερμοκρασίες η οξειδωση ήταν μεγαλύτερη, χωρίς όμως να επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του ελαίου. Επίσης, τα

ελαιόλαδα που είχαν προεπεξεργαστεί με ΠΗΠ ή ΥΠ φαίνεται να οδηγούν σε αυξημένη διάρκεια ζωής συγκριτικά με τα ανεπεξεργαστα που αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην απενεργοποίηση κάποιων ενδογενών ενζύμων όπως είναι η λιποξυγενάση που επιταχύνουν την οξείδωση του ελαιόλαδου είτε λόγω της εκχύλισης περισσότερων φαινολικών ενώσεων κατά την εξαγωγή του ελαιόλαδου που συμβάλλουν στην μεγαλύτερη οξειδωτική σταθερότητα κατά την αποθήκευση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτήν την διπλωματική, τα Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ) και η Υπερυψηλή Πίεσης (ΥΠ) μπορούν να χαρακτηριστούν ως κατάλληλες προεπεξεργασίες για να οδηγήσουν στην αύξηση της απόδοσης σε ελαιόλαδο και ταυτόχρονα στην διατήρηση ή και την βελτίωση των ποιοτικών δεικτών του και της διάρκειας ζωής του ελαιόλαδου.

Συγκρίνοντας τις δυο τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα ΠΗΠ μπορεί να εφαρμοστούν ως διεργασία συνεχούς έργου, ενώ το μειονέκτημα της ΥΠ είναι ότι είναι μια διεργασία διαλείποντος έργου. Οι χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις και οι μικροί χρόνοι επεξεργασίας που απαιτούνται και για τις δύο τεχνολογίες είναι τα πλεονεκτήματά τους, προσφέροντας δυνατότητες για την εφαρμογή τους στη βιομηχανία εξαγωγής ελαιόλαδου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abenoza M., Benito M., Saldaña G., Álvarez I., Raso J., Sánchez-Gimeno A. C., (2013), "Effects of Pulsed Electric Field on Yield Extraction and Quality of Olive Oil", *Food Bioprocess Technology*, Volume 6, pages 1367–1373

Andreou V., Dimopoulos G., Alexandrakis Z., Katsaros G., Oikonomou D., Topfl S., Heinz V., Taoukis P., (2016), "Shelf-life evaluation of virgin olive oil extracted from olives subjected to nonthermal pretreatments for yield increase", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*

Aparicio R., Hardwood J., (2013), "Handbook of olive oil, Analysis and Properties", Springer, second edition

Balasubramaniam V. M. (Bala), Martinez-Monteagudo S I., Gupta R., (2015), "Principles and Application of High Pressure–Based Technologies in the Food Industry", *Annual Review of Food Science and Technology*, Volume 6, pages 1-28

Balasubramaniam V. M., Barbosa-Cánovas G. V., Lelieveld H. L. M., (2016), "High Pressure Processing of Food, Principles, Technology and Applications", Springer, pages 1-7

Błaszczak W., Amarowicz R., Górecki A. R., (2017), "Antioxidant capacity, phenolic composition and microbial stability of aronia juice subjected to high hydrostatic pressure processing", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 39, pages 141-147

Briones-Labarca V., Plaza-Morales M., Giovagnoli-Vicuña C., Jamett F., (2015), "High hydrostatic pressure and ultrasound extractions of antioxidant compounds, sulforaphane and fatty acids from Chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*) seeds: Effects of extraction conditions and methods", *LWT - Food Science and Technology*, Volume 60, Issue 1, pages 525-534

Ching-Yun Hsu, Pi-Yu Chao, Shene-Pin Hu, Chi-Ming Yang, (2013), "The Antioxidant and Free Radical Scavenging Activities of Chlorophylls and Pheophytins", *Food and Nutrition Sciences*, Volume 4 No.8A

Christoforou E., Kylili A., Fokaidis P.A., (2016), "Technical and economical evaluation of olive mills solid waste pellets", *Renewable Energy*, Volume 96, Part A, pages 33–41

Da-Wen Sun, (2014), "Emerging Technologies for Food Processing", Elsevier, Second edition

De Vito F., (2006), "Application of Pulsed Electric Field (PEF) Techniques in Food Processing", PhD Thesis, pages 3-21

Donsi F., Ferrari G., Pataro G., (2010), "Applications of Pulsed Electric Field Treatments for the Enhancement of Mass Transfer from Vegetable Tissue", *Food Engineering Review*, Volume 2 pages 109-130

Farkas D. F., Hoover D. G., (2000), "High Pressure Processing", *Journal of Food Science*, Volume 65, Issue Supplement s8, pages 47-64

FDA (U.S. Food and Drug Administration), (2015), "Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies - Pulsed Electric Fields"

Guderjan M., Elez-Martínez P., Knorr D., (2007), "Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil", *Innovative Food Science and Emerging Technologies* Volume 8, pages 55-62

Guderjan M., Topfl S., Angersbach A., Knorr D., (2005), "Impact of pulsed electric field treatment on the recovery and quality of plant oils", *Journal of Food Engineering*, Volume 67, pages 281-287

Gunstone F. D., (2011), "Vegetable Oils in Food Technology, Composition, Properties and Uses", Wiley-Blackwell, second edition

Hbaieb R. H., Kotti F., Cortes-Francisco N., Caixach J., Gargouri M., Vichi S., (2016), "Ripening and storage conditions of Chétoui and Arbequina olives: Part II. Effect on olive endogenous enzymes and virgin olive oil secoiridoid profile determined by high resolution mass spectrometry", *Food Chemistry*, Volume 210, pages 631-639

Hbaieb R. H., Kotti F., García-Rodríguez R., Gargouri M., Sanz C., Pérez A. G., (2015), "Monitoring endogenous enzymes during olive fruit ripening and storage: Correlation with virgin olive oil phenolic profiles", *Food Chemistry*, Volume 174, pages 240-247

Inarejos-Garcia A. M., Gómez-Rico A., Desamparados Salvador M., Fregapane G., (2009), "Influence of malaxation conditions on virgin olive oil yield, overall quality and composition", *European Food Research and Technology*, Volume 228, Issue 4, pages 671-677

Jäger H., (2012), "Process performance analysis of pulsed electric field (PEF) food applications", PhD Thesis, pages 7-27

Jun Xi, Deji Shen, Shou Zhao, Bingbing Lu, Ye Li, Rui Zhang, (2009), "Characterization of polyphenols from green tea leaves using a high hydrostatic pressure extraction", *International Journal of Pharmaceutics*, Volume 382, Issue 1-2, pages 139-143

Kalua C. M., Bedgood R., Bishop A. G., Prenzler P. D., (2006), "Changes in Volatile and Phenolic Compounds with Malaxation Time and Temperature during Virgin Olive Oil Production", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Volume 54, pages 7641-7651

Klonowski I., Heinz V., Toepfl S., Gunnarsson og Guðjón Þorkelsson G., (2006), "Applications of pulsed electric field technology for the food industry", Icelandic Fisheries laboratories Project Report, pages 1-2

Knorr D., Angersbach A., (1998), "Impact of high-intensity electric field pulses on plant membrane permeabilization", *Trends in Food Science & Technology*, Volume 9, Issue 5, pages 185-191

- Leite T. S., de Jesus A. L. T., Schmiele M., Tribst A. A. L., Cristianini M., (2017), "High pressure processing (HPP) of pea starch: Effect on the gelatinization properties", *LWT-Food Science and Technology*, Volume 76, Part B, pages 361-369
- Lerma Garcia M. J., (2012), "Characterization and Authentication of Olive and Other Vegetable Oils, New Analytical Methods", Springer Theses, Recognizing Outstanding Ph.D. Research
- Mailer R., Beckingham C., (2006), "Testing olive oil quality: chemical and sensory methods", NSW Department of Primary Industries, Primefact 231
- Mohamed M. E. A., Amer Eissa A. H., (2012), "Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology", *Structure and Function of Food Engineering*, Chapter 11, pages 275-299
- Oey I., Lille M., Van Loey A., Hendrickx M., (2008) "Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: a review", *Trends in Food Science & Technology*, Volume 19, Issue 6, pages 320-328
- Ohlsson T., Bengtsson N., (2002), "Minimal processing technologies in the food industry", Woodhead Publishing Limited, pages 41-46
- Pataro G., Ferrari G., Donsi F., (2011), "Mass Transfer Enhancement by Means of Electroporation", INTECH Open Access Publisher, pages 151-160
- Patras A., Brunton N.P., Da Pieve S., Butler F., (2009), "Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 10, Issue 3, pages 308-313
- Prasad K. N., En Yang, Chun Yi, Mouming Zhao, Yueming Jiang, (2009), "Effects of high pressure extraction on the extraction yield, total phenolic content and antioxidant activity of longan fruit pericarp", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 10, Issue 2, pages 155-159
- Prasad N. K., Bao Yang, Mouming Zhao, Biao S. Wang, Feng Chen, Yueming Jiang, (2008), "Effects of high-pressure treatment on the extraction yield, phenolic content and antioxidant activity of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp", *International Journal of Food Science & Technology*, Volume 44, Issue 5, pages 960-966
- Puértolas E., Cregenzán O., Luengo E., Álvarez I., Raso J., (2013), "Pulsed-electric-field-assisted extraction of anthocyanins from purple-fleshed potato", *Food Chemistry*, Volume 136, Issues 3–4, Pages 1330–1336
- Puertolas E., Luengo E., Alvarez I., Raso J., (2012), "Improving Mass Transfer to Soften Tissues by Pulsed Electric Fields: Fundamentals and Applications", *Annual Reviews of Food Science Technology*, Volume 3, pages 263–282
- Puertolas E., Martinez de Maranon I., (2015), "Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: Impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties", *Food Chemistry*, pages 497–502

- Ribeiro Sarkis J., Boussetta N., Tessaro I. C., Damasceno Ferreira Marczak L., Vorobiev E., (2015), "Application of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges for oil extraction from sesame seeds", *Journal of Food Engineering*, Volume 153, pages 20-27
- Roig A., Cayuela M. L., Sánchez-Monedero M. A., (2006), "An overview on olive mill wastes and their valorisation methods", *Waste Management*, Volume 26, pages 960-969
- Shorstkii I., Sharifzadeh Mirshekarloo M., Koshevoi E., (2014), "Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: Lab scale parameters optimization", Federal Target Program «Research and development on priority directions of scientific-technological complex of Russia in 2014 - 2020 years», pages 1-6
- Sibbett G. S., Ferguson L., (2005), "Olive production manual", University of California, Agriculture and Natural Resources, Second edition
- Soliva-Fortuny R., Balasa A., Knorr D., Martin-Belloso O., (2009), "Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review", *Food Science & Technology*, Volume 20, pages 544-556
- Toepfl S., Heinz V., Knorr D., (2005), "Overview of Pulsed Electric Field Processing for Food", *Emerging Technologies for Food Processing*, Chapter 4, Elsevier Ltd, pages 69-81
- Toepfl S., Mathys A., Heinz V., Knorr D., (2006), "Review: Potential of High Hydrostatic Pressure and Pulsed Electric Fields for Energy Efficient and Environmentally Friendly Food Processing", *Food Reviews International*, Volume 22, Issue 4, pages 405-423
- Torres J. A., Velazquez G., (2005), "Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods", *Journal of Food Engineering*, Volume 67, Issues 1-2, pages 95-112
- Tsimidou M., Blekas G., Boskou D., (2003), "Olive oil", Elsevier Science Ltd.
- Velasco J., Dobarganes C., (2002), "Oxidative stability of virgin olive oil", *European Journal of Lipid Science and Technology*, Volume 104, pages 661-676
- Vossen P., (2007), "Olive Oil: History, Production, and Characteristics of the World's Classic Oils", *HortScience*, Volume 42 no. 5, pages 1093-1100
- Xi Jun, (2009), "Caffeine extraction from green tea leaves assisted by high pressure processing", *Journal of Food Engineering*, Volume 94, Issue 1, pages 105-109
- Αλεξανδράκης Ζ. Σ., (2015), "Μελέτη Βιοχημικών, Καταλυτικών και Δομικών μεταβολών φυτικών ενζύμων σε συνθήκες Υπερψηλής Πίεσης", Διδακτορική Διατριβή
- Ανδρέου Β., Αλεξανδράκης Ζ., Κατσαρός Γ., Οικονόμου Δ., Ταούκης Π., (2015), "Μελέτη της Επίδρασης Υπερψηλής Πίεσης και Παλλόμενων Ηλεκτρικών Πεδίων στη Δραστικότητα Ενδογενών Ενζύμων Ελιάς", 10^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
- Αρβανίτης Θ., (2009), "Το σύστημα υπερπυκνής γραμμικής ελαιοκαλλιέργειας ως επιχειρηματική επένδυση", Γεωργία-Κτηνοτροφία, τεύχος 6, σελίδα 42

Βέμμος Σ., (2009), “Νεότερα συστήματα καλλιέργειας της ελιάς”, Γεωργία-Κτηνοτροφία, τεύχος 6, σελίδες 34-38

Γαλαζούλας Χ., (2003), “Αριστοποίηση φυγοκεντρικής μεθόδου παραγωγής ελαιόλαδου. Καθαρισμός και αξιοποίηση των αποβλήτων ελαιοτριβείου”, Διδακτορική Διατριβή, σελίδες 1-17

Γώγου Ε. Γ., (2010), “Ανάπτυξη δεικτών αξιολόγησης και ελέγχου της διεργασίας Υπερψηλής Πίεσης στα τρόφιμα”, Διδακτορική Διατριβή, σελίδες 1-16

ΕΦΕΤ (Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων), (2012) «Κανόνες Εμπορίας και Επισήμανσης ελαιόλαδου»

Κώτσιου Κ., (2015), “Μεταβολές των συστατικών του ελαιόλαδου κατά την αποθήκευση και το μαγείρεμα”, Διδακτορική Διατριβή, σελίδες 21-28

Λοϊδίδης Μ., (2009), “Επεξεργασία υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων με τη μέθοδο της συγχουμποποίησής τους με πυρηνόξυλο”, Διδακτορική Διατριβή

Ντόλια Σ., (2006), “Διαχείριση αποβλήτων ελαιουργείων, Ανασκόπηση ερευνών και προβλήματα”, Μεταπτυχιακή Εργασία

Ταούκης Π., Ωραιοπούλου Β., (2009), “Επιστήμη και Μηχανική Διεργασιών Τροφίμων”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελίδες 338-340

Τζια Κ. Ε., (1987), “Συμβολή στη μελέτη του εξευγενισμού υψηλόβαθμων πυρηνέλαιων”, Διδακτορική Διατριβή, σελίδες 62-64

Τζίκα Δ. Ε., (2008), “Οξειδωτικά ένζυμα ελιάς και ελαιόλαδου: Αλληλεπίδραση με αντιοξειδωτικά”, Διδακτορική Διατριβή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πρώτη ενότητα πειραμάτων-Μάλαξη ανεπεξέργαστης ελαιόπαστας

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **απόδοση** σε ελαιόλαδο μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 1: Σημαντική διαφορά στην απόδοση σε ελαιόλαδο μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	9908,566	1	9908,566	33027,94	0,000000
temperature	8,418	2	4,209	14,03	0,001252
time	328,207	5	65,641	218,80	0,000000
Error	3,000	10	0,300		

Πίνακας 2: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	yield Mean	1	2	3
1	22,63000	****		
2	23,45167		****	
3	24,30500			****

Πίνακας 3: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	yield Mean	1	2	3	4	5
1	15,06000		****			
2	21,63667			****		
3	23,77000				****	
4	25,52000					****
5	27,05000	****				
6	27,73667	****				

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **οξύτητα** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 4: Σημαντική διαφορά στην οξύτητα του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	7,788089	1	7,788089	92069,88	0,000000
temperature	0,000280	2	0,000140	1,66	0,239263
time	0,009489	5	0,001898	22,44	0,000039
Error	0,000846	10	0,000085		

Πίνακας 5: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	acidity Mean	1	2	3	4
1	0,620000		****		
2	0,638000			****	
3	0,659667	****			
5	0,669000	****			
4	0,669333	****			
6	0,690667				****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **αριθμό υπεροξειδίων** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 6: Σημαντική διαφορά στον αριθμό υπεροξειδίων του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	706,9677	1	706,9677	40375,88	0,000000
temperature	0,1866	2	0,0933	5,33	0,026603
time	3,8459	5	0,7692	43,93	0,000002
Error	0,1751	10	0,0175		

Πίνακας 7: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	PV Mean	1	2
1	6,176833	****	
2	6,215000	****	
3	6,409333		****

Πίνακας 8: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	PV Mean	1	2	3	4
1	5,405000			****	
2	6,117667	****			
3	6,173333	****			
5	6,501333		****		
4	6,510667		****		
6	6,894333				****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 9: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂ του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	49,22966	1	49,22966	84637,13	0,000000
temperature	0,02587	2	0,01293	22,24	0,000208
time	0,04308	5	0,00862	14,81	0,000239
Error	0,00582	10	0,00058		

Πίνακας 10: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	K232 Mean	1	2	3
1	1,611833	****		
2	1,645833		****	
3	1,703667			****

Πίνακας 11: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	K232 Mean	1	2	3	4
1	1,556000				****
2	1,638333	****			
3	1,658333	****	****		
4	1,672000	****	****	****	
5	1,691333		****	****	
6	1,706667			****	

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 12: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀ του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,285264	1	0,285264	41012,43	0,000000
temperature	0,000192	2	0,000096	13,83	0,001319
time	0,002142	5	0,000428	61,58	0,000000
Error	0,000070	10	0,000007		

Πίνακας 13: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	K270 Mean	1	2	3
1	0,122000	****		
2	0,125667		****	
3	0,130000			****

Πίνακας 14: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	K270 Mean	1	2	3
1	0,102000			****
2	0,127000		****	
3	0,129333	****	****	
4	0,130667	****	****	
5	0,132333	****		
6	0,134000	****		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 15: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	4913983	1	4913983	683,8256	0,000000
temperature	253921	2	126961	17,6677	0,000522
time	171380	5	34276	4,7698	0,017297
Error	71860	10	7186		

Πίνακας 16: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	phenols Mean	1	2
1	356,2449		****
2	584,8503	****	
3	626,3842	****	

Πίνακας 17: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	phenols Mean	1	2
1	336,8640		****
2	467,4842	****	****
3	531,0622	****	
4	573,1409	****	
6	596,6653	****	
5	629,7421	****	

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των χλωροφυλλών** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 18: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	633,3880	1	633,3880	3766,146	0,000000
temperature	6,4922	2	3,2461	19,301	0,000369
time	30,2769	5	6,0554	36,005	0,000004
Error	1,6818	10	0,1682		

Πίνακας 19: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	chlorophylls Mean	1	2
1	5,096053		****
2	6,219716	****	
3	6,480130	****	

Πίνακας 20: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	chlorophylls Mean	1	2	3	4
1	3,789668		****		
2	4,742120			****	
3	5,789530				****
4	6,923265	****			
6	7,153465	****			
5	7,193750	****			

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των καροτένιων** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

Πίνακας 21: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των καροτένιων του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	715,5502	1	715,5502	4656,794	0,000000
temperature	2,0412	2	1,0206	6,642	0,014612
time	5,7690	5	1,1538	7,509	0,003618
Error	1,5366	10	0,1537		

Πίνακας 22: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	carotenoids Mean	1	2
2	5,995833	****	
3	6,145833	****	
1	6,773277		****

Πίνακας 23: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	carotenoids Mean	1	2	3	4
1	5,386667			****	
2	5,835347			****	****
3	6,142527	****			****
4	6,678738	****	****		
6	6,873240	****	****		
5	6,913368		****		

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σημαντικές διαφορές των συγκεντρώσεων των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καροτένιων στις διάφορες θερμοκρασίες και στους διάφορους χρόνους μάλαξης που εφαρμόστηκαν. Οι διαφορές αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης (ANOVA, Duncan test).

Πίνακας 24: Επίδραση των συνθηκών μάλαξης στις συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καροτένιων στο ανεπεξέργαστο ελαιόλαδο.

Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Φαινολικές ενώσεις (mg γαλλικού οξέος/L)	Χλωροφύλλες (mg φαιοφυτίνη/kg)	Καροτένια (mg λουτεΐνη/kg)
15	0	336,9±6,8 ^{1a}	3,79±0,09 ^{1a}	5,39±0,32 ^{1a}
	5	347,9±3,5 ^{1ab}	3,88±0,00 ^{1b}	5,80±0,07 ^{1ab}
	12	359,7±0,9 ^{1b}	4,70±0,43 ^{1c}	6,42±0,00 ^{1bc}
	20	362,2±2,6 ^{1b}	5,54±0,48 ^{1d}	7,40±0,27 ^{1cd}
	30	377,2±5,9 ^{1b}	6,34±0,32 ^{1d}	7,89±0,33 ^{1cdd}
	45	353,5±4,3 ^{1b}	6,32±0,17 ^{1d}	7,73±0,07 ^{1d}
30	0	336,9±6,8 ^{2a}	3,79±0,09 ^{2a}	5,39±0,32 ^{2a}
	5	483,2±1,6 ^{2ab}	4,94±0,07 ^{2b}	5,67±0,04 ^{2ab}
	12	568,5±1,3 ^{2b}	6,20±0,34 ^{2c}	5,84±0,01 ^{2bc}
	20	671,0±5,6 ^{2b}	7,36±0,09 ^{2d}	6,30±0,28 ^{2cd}
	30	743,5±5,2 ^{2b}	7,54±0,35 ^{2d}	6,41±0,35 ^{2cdd}
	45	705,9±4,8 ^{2b}	7,49±0,38 ^{2d}	6,39±0,05 ^{2d}
40	0	336,8±6,8 ^{2a}	3,79±0,09 ^{2a}	5,39±0,32 ^{2a}
	5	571,3±19,4 ^{2ab}	5,40±0,10 ^{2b}	6,04±0,05 ^{2ab}
	12	664,9±18,8 ^{2b}	6,47±0,06 ^{2c}	6,17±0,04 ^{2bc}
	20	686,1±1,8 ^{2b}	7,86±0,31 ^{2d}	6,34±0,08 ^{2cd}
	30	768,5±8,8 ^{2b}	7,71±0,21 ^{2d}	6,45±0,08 ^{2cdd}
	45	730,5±4,4 ^{2b}	7,65±0,48 ^{2d}	6,50±0,00 ^{2d}

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριών μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων μάλαξης, ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών μάλαξης.

Δεύτερη ενότητα πειραμάτων-Επεξεργασία με ΠΗΠ και ΥΠ

1. Επεξεργασία με ΠΗΠ

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **απόδοση** σε ελαιόλαδο μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 25: Σημαντική διαφορά στην απόδοση σε ελαιόλαδο μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	4916,353	1	4916,353	349090,1	0,000000
intensity	9,833	3	3,278	232,7	0,000474
time	0,006	1	0,006	0,4	0,558969
Error	0,042	3	0,014		

Πίνακας 26: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

intensity	yield Mean	1	2	3
1	23,63000	****		
2	23,79000	****		
3	25,52500		****	
4	26,21500			****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **οξύτητα** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 27: Σημαντική διαφορά στην οξύτητα του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	4,018613	1	4,018613	27275,65	0,000000
intensity	0,002970	3	0,000990	6,72	0,076018
time	0,000242	1	0,000242	1,64	0,290054
Error	0,000442	3	0,000147		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **αριθμό υπεροξειδίων** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 28: Σημαντική διαφορά στον αριθμό υπεροξειδίων του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	384,6983	1	384,6983	5662,463	0,000005
intensity	0,1197	3	0,0399	0,588	0,663526
time	0,7738	1	0,7738	11,389	0,043257
Error	0,2038	3	0,0679		

Πίνακας 29: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου επεξεργασίας (αριθμός παλμών).

time	PV Mean	1	2
1	6,623500	****	
2	7,245500		****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 30: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂ του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	18,73026	1	18,73026	30285,40	0,000000
intensity	0,03304	3	0,01101	17,81	0,020480
time	0,00025	1	0,00025	0,41	0,567838
Error	0,00186	3	0,00062		

Πίνακας 31: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

intensity	K223 Mean	1	2
1	1,458000	****	
2	1,498000	****	
3	1,533000	****	
4	1,631500		****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 32: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀ του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,136765	1	0,136765	45588,17	0,000000
intensity	0,000003	3	0,000001	0,28	0,839627
time	0,000008	1	0,000008	2,67	0,200976
Error	0,000009	3	0,000003		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 33: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	1092272	1	1092272	64932,63	0,000000
intensity	1634	3	545	32,38	0,008723
time	94	1	94	5,58	0,099123
Error	50	3	17		

Πίνακας 34: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

intensity	phenols Mean	1	2
1	350,5030	****	
2	361,0945	****	
4	381,0310		****
3	385,3920		****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των χλωροφυλλών** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 35: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	674,5465	1	674,5465	4776,114	0,000007
intensity	3,9133	3	1,3044	9,236	0,050292
time	0,2450	1	0,2450	1,735	0,279377
Error	0,4237	3	0,1412		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των καροτένιων** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

Πίνακας 36: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των καροτένιων του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΠΗΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	393,1208	1	393,1208	18514,32	0,000001
intensity	0,1051	3	0,0350	1,65	0,345442
time	0,0242	1	0,0242	1,14	0,363993
Error	0,0637	3	0,0212		

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σημαντικές διαφορές των συγκεντρώσεων των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καροτένιων στις συνθήκες επεξεργασίας με ΠΗΠ που εφαρμόστηκαν. Οι διαφορές αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης (ANOVA, Duncan test).

Πίνακας 37: Επίδραση των συνθηκών ΠΗΠ στις συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καροτένιων στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

Συνθήκες	Δείγματα	Φαινολικές ενώσεις (mg γαλλικού οξέος/L)	Χλωροφύλλες (mg φαιοφυτίνη/kg)	Καροτένια (mg λουτεΐνη/kg)
-	ανεπεξεργαστο	349,6±2,6	6,31±0,09	5,91±0,08
f=300Hz, τ=15μ,250 παλμοί	0,5kV/cm	349,9±2,7 ^{1a}	8,10±0,32	6,80±0,23
	0,7kV/cm	353,6±1,7 ^{1a}	8,49±0,17	7,11±0,16
	0,9kV/cm	382,3±0,0 ^{2a}	9,89±0,10	7,10±0,09
	1,4kV/cm	378,5±1,8 ^{2a}	9,55±0,20	6,81±0,18
f=300Hz, τ=15μ,2250 παλμοί	0,5kV/cm	351,1±1,8 ^{1a}	8,10±0,22	6,91±0,21
	0,7kV/cm	368,6±2,3 ^{1a}	9,58±0,29	6,95±0,00
	0,9kV/cm	388,5±2,3 ^{2a}	9,82±0,07	7,25±0,07
	1,4kV/cm	383,5±1,7 ^{2a}	9,93±0,26	7,15±0,07

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά (p<0,05) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων επεξεργασίας (αριθμός παλμών), ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά (p<0,05) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου.

2. Επεξεργασία με ΥΠ

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **απόδοση** σε ελαιόλαδο μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 38: Σημαντική διαφορά στην απόδοση σε ελαιόλαδο μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	7328,367	1	7328,367	19190,28	0,000001
intensity	1,676	3	0,559	1,46	0,381005
time	0,644	1	0,644	1,69	0,284851
Error	1,146	3	0,382		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **οξύτητα** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 39: Σημαντική διαφορά στην οξύτητα του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	4,561710	1	4,561710	8352,868	0,000003
intensity	0,000979	3	0,000326	0,598	0,658555
time	0,000325	1	0,000325	0,595	0,496569
Error	0,001638	3	0,000546		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **αριθμό υπεροξειδίων** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 40: Σημαντική διαφορά στον αριθμό υπεροξειδίων του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	342,8533	1	342,8533	38487,53	0,000000
intensity	0,4757	3	0,1586	17,80	0,020492
time	0,0231	1	0,0231	2,59	0,205617
Error	0,0267	3	0,0089		

Πίνακας 41: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της πίεσης.

intensity	PV Mean	1	2	3
1	6,233000	****		
2	6,416500	****	****	
3	6,658000		****	****
4	6,878500			****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 42: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂ του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	18,04503	1	18,04503	158116,3	0,000000
intensity	0,02444	3	0,00815	71,4	0,002745
time	0,00021	1	0,00021	1,8	0,267883
Error	0,00034	3	0,00011		

Πίνακας 43: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της πίεσης.

intensity	K223 Mean	1	2	3
2	1,424000		****	
1	1,476000			****
3	1,546500	****		
4	1,561000	****		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 44: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀ του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,104882	1	0,104882	5773,321	0,000005
intensity	0,000745	3	0,000248	13,670	0,029589
time	0,000041	1	0,000041	2,229	0,232246
Error	0,000055	3	0,000018		

Πίνακας 45: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της πίεσης.

intensity	K270 Mean	1	2	3
2	0,102500	****		
1	0,109000	****	****	
3	0,118500		****	****
4	0,128000			****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 46: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	5479973	1	5479973	19135,92	0,000001
intensity	10340	3	3447	12,04	0,035227
time	2001	1	2001	6,99	0,077452
Error	859	3	286		

Πίνακας 47: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της πίεσης.

intensity	phenols Mean	1	2
1	772,4165		****
2	819,9720	****	****
3	852,6660	****	
4	865,5265	****	

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των χλωροφυλλών** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 48: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	344,6625	1	344,6625	2123,886	0,000022
intensity	0,2723	3	0,0908	0,559	0,677450
time	0,0066	1	0,0066	0,041	0,852939
Error	0,4868	3	0,1623		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των καροτένιων** του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

Πίνακας 49: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των καροτένιων του ελαιόλαδου μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	254,5896	1	254,5896	466423,7	0,000000
intensity	0,5122	3	0,1707	312,8	0,000305
time	0,0378	1	0,0378	69,3	0,003635
Error	0,0016	3	0,0005		

Πίνακας 50: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της πίεσης.

intensity	carotenoids Mean	1	2	3	4
1	5,320000	****			
2	5,480000		****		
3	5,810000			****	
4	5,955000				****

Πίνακας 51: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου επεξεργασίας.

time	carotenoids Mean	1	2
1	5,572500	****	
2	5,710000		****

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σημαντικές διαφορές των συγκεντρώσεων των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καροτένιων στις συνθήκες επεξεργασίας με ΥΠ που εφαρμόστηκαν. Οι διαφορές αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης (ANOVA, Duncan test).

Πίνακας 52: Επίδραση των συνθηκών ΥΠ στις συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καροτένιων στις βέλτιστες συνθήκες μάλαξης (30 °C, 30 min).

Δείγματα	Φαινολικές ενώσεις (mg γαλλικού οξέος/L)	Χλωροφύλλες (mg φαιοφυτίνη/kg)	Καροτένια (mg λουτεΐνη/kg)
ανεπεξεργαστο	759,7±3,5	5,21±0,00	5,23±0,05
50MPa, 1min	769,8±1,8 ^{1a}	6,34±0,32	5,24±0,01 ^{1a}
100MPa, 1min	811,0±5,1 ^{12a}	6,37±0,00	5,41±0,01 ^{2a}
200MPa, 1min	829,0±5,8 ^{2a}	6,82±0,17	5,73±0,05 ^{3a}
600MPa, 1min	837,5±6,6 ^{2a}	6,61±0,05	5,91±0,04 ^{4a}
50MPa, 5min	775,1±3,5 ^{1a}	6,22±0,15	5,40±0,02 ^{1b}
100MPa, 5min	828,9±3,5 ^{12a}	7,22±0,02	5,55±0,01 ^{2b}
200MPa, 5min	876,3±1,7 ^{2a}	6,32±0,10	5,89±0,00 ^{3b}
600MPa, 5min	893,5±0,0 ^{2a}	6,61±0,15	6,00±0,01 ^{4b}

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p < 0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων επεξεργασίας, ενώ οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p < 0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των πιέσεων.

Τρίτη ενότητα πειραμάτων-Μάλαξη προεπεξεργασμένης με ΠΗΠ ή ΥΠ ελαιόπαστας

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **απόδοση** σε ελαιόλαδο μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 53: Σημαντική διαφορά στην απόδοση σε ελαιόλαδο μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	32606,26	1	32606,26	122328,6	0,000000
treatment	42,85	2	21,42	80,4	0,000000
temperature	22,47	2	11,23	42,2	0,000000
time	922,56	5	184,51	692,2	0,000000
Error	11,73	44	0,27		

Πίνακας 54: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της επεξεργασίας.

treatment	yield Mean	1	2	3
1	23,46222	****		
3	24,61294		****	
2	25,64306			****

Πίνακας 55: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	yield Mean	1	2	3
1	23,85135	****		
2	24,44984		****	
3	25,41703			****

Πίνακας 56: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	yield Mean	1	2	3	4	5	6
1	16,35795	****					
2	22,99388		****				
3	24,82059			****			
4	26,62299				****		
5	28,02484					****	
6	28,61620						****

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σημαντικές διαφορές της απόδοσης στο ανεπεξέργαστο και στο επεξεργασμένο ελαιόλαδο στις θερμοκρασίες και τους χρόνους μάλαξης που εφαρμόστηκαν. Οι διαφορές αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης (ANOVA, Duncan test).

Πίνακας 57: Επίδραση των συνθηκών μάλαξης στην απόδοση του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδου

Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Απόδοση ανεπεξέργαστου ελαιόλαδου (%)	Απόδοση ελαιόλαδου με επεξεργασία ΠΗΠ (%)	Απόδοση ελαιόλαδου με επεξεργασία ΥΠ (%)
15	0	15,06±1,05 ^{1ai}	17,20±0,56 ^{1aⁱⁱ}	16,81±0,22 ^{1aⁱⁱⁱ}
	5	20,24±0,33 ^{1bi}	22,63±0,67 ^{1bⁱⁱ}	22,03±0,45 ^{1bⁱⁱⁱ}
	12	22,88±1,69 ^{1ci}	25,33±0,48 ^{1cⁱⁱ}	24,12±0,17 ^{1cⁱⁱⁱ}
	20	24,91±1,45 ^{1di}	27,41±0,04 ^{1dⁱⁱ}	25,27±0,35 ^{1dⁱⁱⁱ}
	30	25,99±0,06 ^{1ei}	28,41±0,25 ^{1eⁱⁱ}	27,61±0,32 ^{1eⁱⁱⁱ}
	45	26,70±1,01 ^{1fi}	29,17±0,17 ^{1fⁱⁱ}	27,56±0,23 ^{1fⁱⁱⁱ}
30	0	15,06±1,05 ^{2ai}	17,20±0,38 ^{2aⁱⁱ}	16,81±1,22 ^{2aⁱⁱⁱ}
	5	22,25±0,19 ^{2bi}	23,97±0,42 ^{2bⁱⁱ}	23,10±0,84 ^{2bⁱⁱⁱ}
	12	23,27±1,90 ^{2ci}	25,66±0,31 ^{2cⁱⁱ}	24,58±0,86 ^{2cⁱⁱⁱ}
	20	25,32±0,62 ^{2di}	27,69±0,44 ^{2dⁱⁱ}	26,01±0,08 ^{2dⁱⁱⁱ}
	30	26,92±1,03 ^{2ei}	28,93±0,08 ^{2eⁱⁱ}	27,91±0,07 ^{2eⁱⁱⁱ}
	45	27,89±0,99 ^{2fi}	29,43±0,97 ^{2fⁱⁱ}	28,10±0,34 ^{2fⁱⁱⁱ}
40	0	15,06±1,05 ^{3ai}	17,20±0,32 ^{3aⁱⁱ}	16,81±0,22 ^{3aⁱⁱⁱ}
	5	22,42±1,06 ^{3bi}	25,34±0,56 ^{3bⁱⁱ}	24,98±0,27 ^{3bⁱⁱⁱ}
	12	25,16±0,01 ^{3ci}	26,98±0,33 ^{3cⁱⁱ}	25,40±0,26 ^{3cⁱⁱⁱ}
	20	26,33±0,14 ^{3di}	29,38±0,46 ^{3dⁱⁱ}	27,29±0,25 ^{3dⁱⁱⁱ}
	30	28,24±0,00 ^{3ei}	29,41±0,66 ^{3eⁱⁱ}	28,80±0,20 ^{3eⁱⁱⁱ}
	45	28,62±0,41 ^{3fi}	30,24±0,17 ^{3fⁱⁱ}	29,84±0,12 ^{3fⁱⁱⁱ}

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στην απόδοση σε ελαιόλαδο μεταξύ των χρόνων μάλαξης, οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στην απόδοση μεταξύ των θερμοκρασιών μάλαξης και οι λατινικοί αριθμοί δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στην απόδοση μεταξύ των επεξεργασιών.

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **οξύτητα** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 58: Σημαντική διαφορά στην οξύτητα του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	23,95602	1	23,95602	108101,8	0,000000
treatment	0,00230	2	0,00115	5,2	0,009506
temperature	0,00146	2	0,00073	3,3	0,046548
time	0,01976	5	0,00395	17,8	0,000000
Error	0,00975	44	0,00022		

Πίνακας 59: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της επεξεργασίας.

treatment	acidity Mean	1	2
1	0,657778	****	
2	0,666667	****	****
3	0,673722		****

Πίνακας 60: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	acidity Mean	1	2
1	0,659556	****	
2	0,666333	****	****
3	0,672278		****

Πίνακας 61: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	acidity Mean	1	2	3
1	0,625333			****
2	0,663222	****		
3	0,672889	****	****	
5	0,674778	****	****	
4	0,677333	****	****	
6	0,682778		****	

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **αριθμό υπεροξειδίων** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 62: Σημαντική διαφορά στον αριθμό υπεροξειδίων του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	2055,387	1	2055,387	85479,77	0,000000
treatment	0,257	2	0,128	5,34	0,008367
temperature	1,073	2	0,536	22,30	0,000000
time	11,181	5	2,236	93,00	0,000000
Error	1,058	44	0,024		

Πίνακας 63: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της επεξεργασίας.

treatment	PV Mean	1	2
2	6,120500	****	
3	6,120944	****	
1	6,267056		****

Πίνακας 64: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	PV Mean	1	2	3
1	6,019722	****		
2	6,130500		****	
3	6,358278			****

Πίνακας 65: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	PV Mean	1	2	3	4	5
1	5,303000		****			
2	5,960444			****		
3	6,168000				****	
4	6,410556	****				
5	6,445667	****				
6	6,729333					****

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂ του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 66: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₃₂ του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	148,7194	1	148,7194	338207,6	0,000000
treatment	0,0018	2	0,0009	2,0	0,146395
temperature	0,0699	2	0,0349	79,4	0,000000
time	0,1094	5	0,0219	49,8	0,000000
Error	0,0193	44	0,0004		

Πίνακας 67: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	K232 Mean	1	2	3
1	1,622833	****		
2	1,647389		****	
3	1,708389			****

Πίνακας 68: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	K232 Mean	1	2	3	4	5
1	1,572333				****	
2	1,638778					****
3	1,663444	****				
4	1,677222	****	****			
5	1,697111		****	****		
6	1,708333			****		

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στον **δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 69: Σημαντική διαφορά στον δείκτη απορρόφησης στο υπεριώδες K₂₇₀ του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,882945	1	0,882945	54852,20	0,000000
treatment	0,000107	2	0,000054	3,34	0,044811
temperature	0,000926	2	0,000463	28,77	0,000000
time	0,003168	5	0,000634	39,36	0,000000
Error	0,000708	44	0,000016		

Πίνακας 70: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της επεξεργασίας.

treatment	K270 Mean	1	2
1	0,125889		****
3	0,128667	****	
2	0,129056	****	

Πίνακας 71: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	K270 Mean	1	2	3
1	0,123056	****		
2	0,127389		****	
3	0,133167			****

Πίνακας 72: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	K270 Mean	1	2	3	4
1	0,111667				****
2	0,127333	****			
3	0,129444	****	****		
4	0,130556	****	****		
5	0,133222		****	****	
6	0,135000			****	

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης, για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 73: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	16029321	1	16029321	2811,088	0,000000
treatment	14668	2	7334	1,286	0,286511
temperature	918074	2	459037	80,502	0,000000
time	599790	5	119958	21,037	0,000000
Error	250896	44	5702		

Πίνακας 74: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	phenols Mean	1	2
1	361,7336		****
2	617,4316	****	
3	655,3235	****	

Πίνακας 75: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	phenols Mean	1	2	3	4
1	345,1580				****
2	488,2465		****		
3	542,2111		****	****	
4	607,0175	****		****	
6	629,8279	****			
5	656,5166	****			

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των χλωροφυλλών** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 76: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των χλωροφυλλών του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	1988,672	1	1988,672	14880,30	0,000000
treatment	1,841	2	0,920	6,89	0,002502
temperature	11,545	2	5,773	43,19	0,000000
time	94,354	5	18,871	141,20	0,000000
Error	5,880	44	0,134		

Πίνακας 77: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της επεξεργασίας.

treatment	chlorophylls Mean	1	2
1	5,931966	****	
3	5,944132	****	
2	6,329541		****

Πίνακας 78: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας μάλαξης.

temperature	chlorophylls Mean	1	2	3
1	5,437516	****		
2	6,235543		****	
3	6,532580			****

Πίνακας 79: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	chlorophylls Mean	1	2	3	4	5
1	3,812688		****			
2	4,974238			****		
3	5,937242				****	
4	6,928412					****
6	7,332829	****				
5	7,425868	****				

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan test για την σημαντική διαφορά στην **συγκέντρωση των καροτενίων** του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

Πίνακας 80: Σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση των καροτενίων του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών και των χρόνων μάλαξης για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδο.

	SS	Degree of Freedom	MS	F	p
Intercept	2150,885	1	2150,885	15262,66	0,000000
treatment	0,078	2	0,039	0,28	0,759427
temperature	0,239	2	0,119	0,85	0,435874
time	11,180	5	2,236	15,87	0,000000
Error	6,201	44	0,141		

Πίνακας 81: Κριτήριο διαφοράς (Duncan test) για τον παράγοντα του χρόνου μάλαξης.

time	carotenoids Mean	1	2	3
1	5,642222		****	
2	5,864560		****	****
3	6,145287			****
4	6,639024	****		
6	6,736080	****		
5	6,840012	****		

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι σημαντικές διαφορές των συγκεντρώσεων των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καρωτένιων του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου ελαιόλαδου στις θερμοκρασίες και τους χρόνους μάλαξης που εφαρμόστηκαν. Οι διαφορές αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης (ANOVA, Duncan test).

Πίνακας 82: Επίδραση των συνθηκών μάλαξης στις συγκεντρώσεις των φαινολικών ενώσεων, των χλωροφυλλών και των καρωτένιων του ανεπεξέργαστου και του επεξεργασμένου με ΠΗΠ και ΥΠ ελαιόλαδου.

	Θερμοκρασία μάλαξης(°C)	Χρόνος μάλαξης (min)	Φαινολικές ενώσεις (mg γαλλικού οξέος/L)	Χλωροφύλλες (mg φαιοφυτίνη/kg)	Καρωτένια (mg λουτεΐνη/kg)
Ανεπεξέργαστο	15	0	336,9±6,8 ^{1a}	3,79±0,09 ^{1ai}	5,39±0,32 ^a
		5	347,9±3,5 ^{1b}	3,88±0,00 ^{1bi}	5,80±0,07 ^{ab}
		12	359,7±0,9 ^{1bc}	4,70±0,43 ^{1ci}	6,42±0,00 ^b
		20	362,2±2,6 ^{1cd}	5,54±0,48 ^{1di}	7,40±0,27 ^c
		30	377,2±5,9 ^{1d}	6,34±0,32 ^{1ei}	7,89±0,33 ^c
		45	353,5±4,3 ^{1d}	6,32±0,17 ^{1ei}	7,73±0,07 ^c
	30	0	336,9±6,8 ^{2a}	3,79±0,09 ^{2ai}	5,39±0,32 ^a
		5	483,2±1,6 ^{2b}	4,94±0,07 ^{2bi}	5,67±0,04 ^{ab}
		12	568,5±1,3 ^{2bc}	6,20±0,34 ^{2ci}	5,84±0,01 ^b
		20	671,0±5,7 ^{2cd}	7,36±0,09 ^{2di}	6,30±0,28 ^c
		30	743,5±5,2 ^{2d}	7,54±0,35 ^{2ei}	6,41±0,35 ^c
		45	705,9±4,8 ^{2d}	7,49±0,38 ^{2ei}	6,39±0,05 ^c
	40	0	336,9±6,8 ^{2a}	3,79±0,09 ^{3ai}	5,39±0,32 ^a
		5	571,3±19,4 ^{2b}	5,40±0,10 ^{3bi}	6,04±0,05 ^{ab}
		12	664,9±18,8 ^{2bc}	6,47±0,06 ^{3ci}	6,17±0,04 ^b
20		686,1±1,7 ^{2cd}	7,86±0,31 ^{3di}	6,34±0,08 ^c	
30		768,5±8,8 ^{2d}	7,71±0,21 ^{3ei}	6,45±0,08 ^c	
45		730,5±4,4 ^{2d}	7,65±0,48 ^{3ei}	6,50±0,00 ^c	
ΠΗΠ	15	0	345,5±9,7 ^{1a}	4,13±0,20 ^{1aii}	5,82±0,02 ^a
		5	350,2±18,9 ^{1b}	5,06±0,20 ^{1bii}	5,63±0,04 ^{ab}
		12	361,0±4,4 ^{1bc}	5,51±0,07 ^{1cii}	6,03±0,04 ^b
		20	371,0±14,9 ^{1cd}	6,06±0,20 ^{1dii}	6,25±0,06 ^c
		30	386,0±15,0 ^{1d}	7,15±0,37 ^{1eii}	6,35±0,06 ^c
		45	382,2±2,6 ^{1d}	7,18±0,07 ^{1eii}	6,29±0,11 ^c
	30	0	345,5±9,7 ^{2a}	4,13±0,20 ^{2aii}	5,82±0,02 ^a
		5	580,6±26,6 ^{2b}	5,23±0,17 ^{2bii}	5,90±0,31 ^{ab}
		12	622,3±22,7 ^{2bc}	6,66±0,24 ^{2cii}	6,40±0,31 ^b
		20	733,6±29,5 ^{2cd}	7,42±0,33 ^{2dii}	6,84±0,09 ^c
		30	812,3±29,5 ^{2d}	7,87±0,27 ^{2eii}	6,91±0,13 ^c
		45	769,8±10,6 ^{2d}	7,60±0,00 ^{2eii}	6,95±0,35 ^c
	40	0	345,5±9,7 ^{2a}	4,13±0,20 ^{3aii}	5,82±0,18 ^a
		5	607,1±3,5 ^{2b}	5,87±0,10 ^{3bii}	5,94±0,12 ^{ab}
		12	712,2±29,6 ^{2bc}	6,75±0,02 ^{3cii}	6,09±0,02 ^b
20		778,5±26,5 ^{2cd}	7,44±0,17 ^{3dii}	7,10±0,18 ^c	
30		823,3±5,3 ^{2d}	7,98±0,24 ^{3eii}	7,40±0,14 ^c	
45					

		45	784,7±23,9 ^{2d}	7,77±0,24 ^{3eii}	6,99±0,18 ^c
ΥΠ	15	0	340,6±4,5 ^{1a}	3,52±0,00 ^{1ai}	5,73±0,04 ^a
		5	349,2±9,1 ^{1b}	3,97±0,12 ^{1bi}	5,93±0,04 ^{ab}
		12	361,0±19,7 ^{1bc}	5,40±0,00 ^{1ci}	6,00±0,00 ^b
		20	369,7±18,6 ^{1cd}	5,87±0,12 ^{1di}	6,19±0,02 ^c
		30	380,9±2,7 ^{1d}	6,61±0,22 ^{1ei}	6,27±0,03 ^c
		45	375,9±6,2 ^{1d}	6,84±0,29 ^{1ei}	6,25±0,06 ^c
	30	0	340,6±4,4 ^{2a}	3,52±0,00 ^{2ai}	5,73±0,04 ^a
		5	523,3±28,2 ^{2b}	4,61±0,10 ^{2bi}	5,87±0,04 ^{ab}
		12	574,9±6,4 ^{2bc}	5,32±0,02 ^{2ci}	6,16±0,06 ^b
		20	724,8±25,8 ^{2cd}	7,39±0,28 ^{2di}	6,50±0,07 ^c
		30	802,1±27,7 ^{2d}	7,75±0,27 ^{2ei}	6,75±0,21 ^c
		45	774,7±21,8 ^{2d}	7,42±0,23 ^{2ei}	6,50±0,00 ^c
	40	0	340,6±4,4 ^{2a}	3,52±0,00 ^{3ai}	5,73±0,04 ^a
		5	581,3±1,8 ^{2b}	5,80±0,18 ^{3bi}	6,02±0,02 ^{ab}
		12	655,1±26,4 ^{2bc}	6,42±0,07 ^{3ci}	6,21±0,01 ^b
		20	766,0±39,4 ^{2cd}	7,40±0,12 ^{3di}	6,85±0,11 ^c
		30	814,6±8,8 ^{2d}	7,89±0,09 ^{3ei}	7,15±0,18 ^c
		45	791,0±42,4 ^{2d}	7,73±0,21 ^{3ei}	7,03±0,20 ^c

±αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση μεταξύ τριων μετρήσεων. Τα γράμματα στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των χρόνων μάλαξης, οι αριθμοί στον εκθέτη δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των θερμοκρασιών μάλαξης και οι λατινικοί αριθμοί δηλώνουν την σημαντική διαφορά ($p<0,05$) της αύξησης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαιόλαδου μεταξύ των επεξεργασιών.