



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων

Τομέας Σύνθεσης & Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών

**Μελέτη διατηρησιμότητας καινοτόμων προϊόντων
πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά
χαρακτηριστικά: Επίδραση μη θερμικών
επεξεργασιών**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΕΡΕΤΗΣ**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Γιαννακούρου Μαρία

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Μαρία Γιαννακούρου για την ευκαιρία που μου έδωσε να δουλέψω και να συνεργαστώ με όλη την ομάδα του εργαστηρίου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας καθώς και για την διαρκή προσφορά της και θέληση να μου επιλύσει οποιαδήποτε απορία.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την ΕΔΙΠ και Δρ. Ευφημία Δερμεσονλούογλου για τη συνεχή παρακολούθηση του πειράματος και τη σημαντική συνεισφορά της στην επίτευξη του τελικού αποτελέσματος. Η καθοδήγηση και οι συμβουλές που έλαβα συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση του θέματος και η υποστήριξή της αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα ώστε να ολοκληρωθεί με το βέλτιστο τρόπο η διπλωματική εργασία.

Επιπλέον, ευχαριστίες οφείλω σε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων που με τις σωστές υποδείξεις τους και συμβουλές με βοήθησαν να επιλύσω οποιαδήποτε ζητήματα προέκυπταν και να ολοκληρώσω το θέμα μου με επιτυχία. Ευχαριστώ ιδιαιτέρως και τον καθηγητή κ. Πέτρο Ταούκη για τη συνεισφορά του και τις παρατηρήσεις του καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη στήριξη, εμψύχωση και ενθάρρυνση που έλαβα σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Γιώργος Σερέτης,

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Περίληψη

Η πατάτα θεωρείται τρόφιμο υψηλής διατροφικής αξίας που καταναλώνεται ευρέως σε ολόκληρο τον κόσμο. Ωστόσο, ενώ η τάση για κατανάλωση φρέσκων προϊόντων ολοένα αυξάνεται, οι φρεσκοκομμένες πατάτες έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Οι παράγοντες αλλοίωσης (μετασυλλεκτικές ασθένειες, ενζυμικό και μη ενζυμικό μαύρισμα κ.ά) ευθύνονται για την υποβάθμιση της ποιότητας και τη χαμηλή διατηρησιμότητά τους. Επιπλέον, όπως είναι γνωστό, η θερμική επεξεργασία μέσω τηγανίσματος είναι η πλέον διαδεδομένη, καθώς εξασφαλίζει μια εύκολη, οικονομική και γρήγορη λύση παρέχοντας ένα γευστικό αποτέλεσμα. Εντούτοις, η υψηλή περιεκτικότητα λιπαρών στα τηγανητά προϊόντα είναι επιβλαβής για την υγεία του ανθρώπου. Αποτελεί ζητούμενο για την έρευνα λοιπόν, η μελέτη τεχνικών επεξεργασίας με στόχο την παραγωγή και τη διατήρηση ποιοτικών, υγιεινών και γευστικών προϊόντων πατάτας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή ενός τελικού προϊόντος πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη διάρκεια ζωής με τη χρήση της μη θερμικής επεξεργασίας. Μελετώνται η ωσμωτική αφυδάτωση, η προεπεξεργασία με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ) και η επίδραση τους στο τηγάνισμα, στην διατηρησιμότητα και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο μέρος της μελέτης ερευνάται η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μη επεξεργασμένα και προεπεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας. Ειδικότερα, εξετάζονται ποιοτικά χαρακτηριστικά που αφορούν το χρώμα και την υφή των προϊόντων, η ενεργότητα του νερού, η πρόσληψη ολικών στερεών και η απώλεια νερού κατά την πειραματική διαδικασία της ώσμωσης που πραγματοποιήθηκε στους 35 °C, με ήπια ανάδευση για 180 min. Τα εξεταζόμενα ωσμωτικά διαλύματα περιέχουν: α) 10% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 84% νερό, β) 20% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 74% νερό και γ) 30% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 64% νερό. Όσον αφορά τη μεταβολή του χρώματος, κατά την εξέταση του δείκτη αμαύρωσης (BI) στα ωσμομένα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας παρατηρήθηκε ότι αυτός μειώθηκε σημαντικά σε τιμές 10.78, 10.12 και 10.39 αντίστοιχα για κάθε περίπτωση. Σχετικά με την υφή, παρατηρήθηκε πως η αύξηση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα επέφερε αύξηση στη σκληρότητα των αντίστοιχων δειγμάτων. Η ενεργότητα του νερού που μελετήθηκε στα εν λόγω δείγματα πατάτας μειώθηκε κατά την ωσμωτική αφυδάτωση σε ποσοστό 4%, 5% και 7% για τα ωσμωτικά διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%, 20% και 30% αντίστοιχα. Κατά την εξέταση της πρόσληψης των ολικών στερεών στο τέλος της ώσμωσης οι τιμές που λήφθηκαν ήταν 0.75, 1.23 και 1.46 g στερεών/g ξηρού στερεού για τα παραπάνω ωσμωτικά διαλύματα. Ομοίως για την απώλεια νερού λήφθηκαν οι τιμές 2.29, 2.33 και 2.94 g νερού/ g ξηρού στερεού μη ωσμομένο. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η προεπεξεργασία με ΠΗΠ σε συνθήκες 0.5 kV/cm σε 200 παλμούς και εξετάστηκε η ωσμωτική αφυδάτωση των επεξεργασμένων δειγμάτων για τα ωσμωτικά διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10% και 20% στις ίδιες συνθήκες και χρόνο. Το χρώμα και η ενεργότητα του νερού δεν διαφοροποιήθηκαν σημαντικά ενώ αύξηση παρατηρήθηκε στην υφή (κατά 47% και 29% αντίστοιχα), στην απώλεια νερού και στην πρόσληψη ολικών στερεών. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι τα μη προεπεξεργασμένα δείγματα που ωσμήθηκαν σε ωσμωτικά διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη περιείχαν ποσότητα σε γλυκερόλη: 0.27 mg/g ωσμομένης πατάτας και 2.17 mg/g ωσμομένης πατάτας, σε χλωριούχο νάτριο: 0.09 mg/g ωσμομένης πατάτας και 0.08 mg/g ωσμομένης πατάτας και σε ασκορβικό οξύ: 0.12

και 0.11 mg/g ωσσωμένης πατάτας. Ομοίως, τα προεπεξεργασμένα δείγματα περιείχαν 2.05 mg/g και 2.07 mg/g γλυκερόλη, 0.07 mg/g και 0.07 mg/g χλωριούχο νάτριο και 0.09 mg/g και 0.11 mg/g ασκορβικό οξύ.

Το δεύτερο μέρος της μελέτης αφορά τη θερμική επεξεργασία του τηγανίσματος και την οργανοληπτική αξιολόγηση των επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων. Αρχικά, μελετήθηκε η πρόσληψη ελαίου σε επεξεργασμένα και μη επεξεργασμένα τηγανισμένα δείγματα και παρατηρήθηκε ότι τα επεξεργασμένα περιέχουν 35% λιγότερα λιπαρά στα 10 min τηγανίσματος στους 180 °C. Μεταξύ των επεξεργασμένων-ωσσωμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων πατάτας δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην απορρόφηση ελαίου ($p < 0.05$). Σχετικά με την ποιότητα του απορροφημένου ελαίου και του ελαίου της φριτέζας δεν διαπιστώθηκε επίσης, στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) στα πρωτογενή και δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης μεταξύ των μη επεξεργασμένων και επεξεργασμένων δειγμάτων. Στη συνέχεια, μετρήθηκε η υφή και η υγρασία των δειγμάτων από όπου προκύπτει πως τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα είναι πιο σκληρά και έχουν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας (34.89% και 29.89% για δείγματα ωσσωμένα σε διάλυμα με 10% γλυκερόλη και 20% αντίστοιχα). Τέλος, πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική αξιολόγηση των τηγανισμένων δειγμάτων από όπου καλύτερο επεξεργασμένο δείγμα προέκυψε η επεξεργασμένη-ωσσωμένη με 20% γλυκερόλη στο ωσσωτικό διάλυμα πατάτα με βαθμολογία συνολικής αρέσκειας 7.1/9. Τα επεξεργασμένα δείγματα θεωρήθηκαν όλα οργανοληπτικά αποδεκτά.

Το τρίτο μέρος της μελέτης εστιάζει στην αποθήκευση των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, αποθηκεύτηκαν όλα τα είδη δειγμάτων (μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα με ωσσωτικό διάλυμα αναλογίας 20% γλυκερόλη και ΠΗΠ-επεξεργασμένα ωσσωμένα ομοίως) στους 4,8 και 12 °C σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Για τα μη επεξεργασμένα δείγματα παρατηρήθηκε ποιοτική αλλοίωση με αύξηση του δείκτη αμαύρωσης (BI) 21%, 22% και 27% για κάθε θερμοκρασία αντίστοιχα και μείωση της σκληρότητας για τους 12 °C (από 5.762 N σε 5.011 N). Παράλληλα, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα στη συσκευασία μειώθηκαν και στις τρεις θερμοκρασίες. Σχετικά με τη μικροβιακή ανάπτυξη παρατηρήθηκε κυρίως στο ολικό μικροβιακό φορτίο με ρυθμό 0.483, 0.718 και 2.0626 d⁻¹ για κάθε θερμοκρασία αντίστοιχα, στα εντεροβακτήρια με ρυθμό 0.734, 0.834 και 1.106 d⁻¹ ομοίως και στο ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο με ρυθμό 0.523, 0.975 και 1.876 d⁻¹ ομοίως ενώ το pH κυμάνθηκε από 5.85-6.2. Με εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius οι ενέργειες ενεργοποίησης για κάθε μικροοργανισμό αντίστοιχα προέκυψαν 118.96, 33.61 και 104.89 kJ. Σε οργανοληπτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε τα δείγματα απορρίφθηκαν την 3^η ημέρα λόγω χρώματος και υφής ενώ η ενέργεια ενεργοποίησης για το ρυθμό υποβάθμισης των τηγανισμένων δειγμάτων υπολογίστηκε 69.44 kJ. Τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα παρουσίασαν μικρή μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης σε χαμηλές τιμές (από 6.81 σε 8.97, 8.46 και 10.66 για κάθε θερμοκρασία αντίστοιχα) ενώ η υφή παρουσίασε αύξηση στη σκληρότητα (10-30%). Η σύσταση της συσκευασίας διατηρήθηκε σταθερή με μικρή μείωση στην ποσότητα των αερίων και η μικροβιολογική αύξηση δεν ήταν επιβαρυνόμενη καθώς παρουσιάστηκε μικρή ανάπτυξη μόνο στο ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο (μεγαλύτερη αύξηση στους 12 °C από 4.09 σε 5.45 logCFU/g) και στο ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο (μεγαλύτερη αύξηση στους 4 °C από 2.15 σε 4.38 logCFU/g) ενώ το pH κυμάνθηκε από 4.778-4.868. Τα συγκεκριμένα δείγματα απορρίφθηκαν οργανοληπτικά την 15^η ημέρα λόγω έντονης αλλοιωμένης οσμής και η ενέργεια ενεργοποίησης για το ρυθμό υποβάθμισης των τηγανισμένων δειγμάτων υπολογίστηκε 24.21 kJ. Τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά κατά την αποθήκευση με

μειωμένη τιμή δείκτη αμαύρωσης (από 5.76 σε 6.97, 7.98 και 8.45 για κάθε θερμοκρασία αντίστοιχα) αλλά μείωση της σκληρότητας στους 8 και 12 °C (5-12%). Η σύσταση των αερίων στη συσκευασία παρουσίασε μείωση και η μικροβιολογική ανάπτυξη αφορούσε ομοίως το ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο (μεγαλύτερη αύξηση στους 12 °C από 2.90 σε 4.36 logCFU/g) και στο ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο (μεγαλύτερη αύξηση στους 12 °C από 2.00 σε 4.28 logCFU/g) ενώ το pH κυμάνθηκε από 4.408-4.605. Τα δείγματα απορρίφθηκαν ομοίως την 15^η ημέρα λόγω έντονης αλλοιωμένης οσμής και η ενέργεια ενεργοποίησης του ρυθμού υποβάθμισης των τηγανισμένων δειγμάτων υπολογίστηκε 31.10 kJ. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ενδεικτική αποθήκευση όλων των εξεταζόμενων δειγμάτων σε συσκευασία υπό κενό στους 4 °C με το δείκτη αμαύρωσης (BI) να παρουσιάζει μικρή αύξηση κυρίως στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωστωμένα δείγματα (35% της αρχικής τιμής) και στα μη επεξεργασμένα (19% της αρχικής τιμής). Η σκληρότητα μειώθηκε σε όλα τα δείγματα και τα επεξεργασμένα δείγματα παρουσίασαν μικροβιακή ανάπτυξη στο ολικό αερόβιο φορτίο της τάξεως του 8-12% (2.00 και 2.70 logCFU) της αρχικής τιμής και στο ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο 36-48% της αρχικής τιμής (2.15 και 2.00 logCFU/g) και τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωστωμένα στις ζύμες και μύκητες (από 0 σε 2.93 logCFU/g). Τα μη επεξεργασμένα δείγματα παρουσίασαν αύξηση σε όλους τους εξεταζόμενους μικροοργανισμούς (ολικό αερόβιο και αναερόβιο φορτίο, εντεροβακτήρια, ψευδομονάδες και ζύμες και μύκητες). Το pH μειώθηκε για τα μη επεξεργασμένα δείγματα, ενώ παρουσίασε μικρή αύξηση για τα επεξεργασμένα. Τα μη επεξεργασμένα δείγματα απορρίφθηκαν την 13^η ημέρα λόγω εμφάνισης και τα επεξεργασμένα την 18^η ημέρα λόγω έντονης αλλοιωμένης οσμής και ύπαρξης υγρής γλυκερόλης.

Συμπερασματικά, βάσει των αποτελεσμάτων της παρούσης εργασίας προέκυψε πως η ωστωτική αφυδάτωση και ο συνδυασμός της με προεπεξεργασία ΠΗΠ σε φρεσκοκομμένη πατάτα δύνανται να δώσουν ένα τελικό ποιοτικό αποτέλεσμα με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που να διατηρείται με την πάροδο του χρόνου.

Study of shelf life of innovative potato products with superior organoleptic characteristics: The effect of non-thermal treatments

Abstract

Potatoes are considered a food with high nutritional value and are widely consumed around the world. However, while the trend toward consuming fresh products is increasing, freshly harvested potatoes have a limited shelf life. Factors such as post-harvest diseases, enzymatic and non-enzymatic browning, and others contribute to their quality degradation and poor shelf life. Furthermore, as is well known, thermal processing through frying is the most common method, as it provides an easy, economical, and quick solution with a flavorful result. However, the high fat content in fried products is detrimental to human health. Therefore, research aims to explore processing techniques to produce and maintain high-quality, healthy, and tasty potato products.

The purpose of this thesis is to produce a final potato product with superior sensory characteristics and extended shelf life using non-thermal processing. The study investigates osmotic dehydration, pre-treatment with Pulsed Electric Fields (PEF), and their effects on frying, shelf life, and the sensory characteristics of the produced products.

In detail, the first part of the study investigates the effect of osmotic dehydration on both untreated and pre-treated with Pulsed Electric Fields (PEF) potato samples. Specifically, the study examines quality characteristics related to color and texture of the products, water activity, total solid uptake, and water loss during the osmotic dehydration process carried out at 35°C with gentle agitation for 180 minutes. The osmotic solutions used contain: a) 10% glycerol, 5% sodium chloride, 1% ascorbic acid, 84% water; b) 20% glycerol, 5% sodium chloride, 1% ascorbic acid, 74% water; and c) 30% glycerol, 5% sodium chloride, 1% ascorbic acid, 64% water. Regarding color change, the measurement of the browning index (BI) in the osmotic dehydrated untreated potato samples showed a significant reduction with values of 10.78, 10.12, and 10.39 for each case, respectively. Concerning texture, it was observed that increasing the glycerol concentration in the osmotic solution led to increased hardness of the corresponding samples. The water activity measured in these potato samples decreased during osmotic dehydration by 4%, 5%, and 7% for the glycerol concentrations of 10%, 20%, and 30%, respectively. Regarding the total solid uptake, the values obtained at the end of osmotic dehydration were 0.75, 1.23, and 1.46 g solid/g dried mass for the above-mentioned osmotic solutions. Similarly, for water loss, the values obtained were 2.29, 2.33 and 2.94 g H₂O/g dried non-osmotic mass. Subsequently, PEF pre-treatment was conducted under conditions of 0.5 kV/cm at 200 pulses, and the osmotic dehydration of the treated samples was examined for osmotic solutions with glycerol concentrations of 10% and 20% under the same conditions and time. Color and water activity did not significantly differ, while an increase was observed in texture (by 47% and 29%, respectively), water loss and total solid uptake. Finally, it was observed that the non-pretreated samples that were osmotically treated in osmotic solutions with 10% and 20% glycerol contained the following amounts of glycerol: 0.27 mg/g of osmotically treated potato and 2.17 mg/g of osmotically treated potato; sodium chloride: 0.09 mg/g of osmotically treated potato and 0.08 mg/g of osmotically treated potato; and ascorbic acid: 0.12 and 0.11 mg/g of osmotically treated potato. Similarly, the pretreated samples contained 2.05 mg/g and 2.07 mg/g glycerol, 0.07 mg/g and 0.07 mg/g sodium chloride, and 0.09 mg/g and 0.11 mg/g ascorbic acid.

The second part of the study deals with the thermal processing of frying and the sensory evaluation of the processed-osmosed samples. Initially, the oil uptake in processed and unprocessed fried samples was examined, and it was observed that the processed samples contained 35% less fat after 10 minutes of frying at 180°C. No statistically significant difference was observed in oil absorption ($p < 0.05$) between the osmosed and PEF-processed-osmosed potato samples. Regarding the quality of the absorbed oil and the fryer oil, no statistically significant difference ($p < 0.05$) was found in the primary and secondary oxidation products between the unprocessed and processed samples. Subsequently, the texture and moisture content of the samples were measured, revealing that the PEF-processed-osmosed samples were harder and had higher moisture content (34.89% and 29.89% for samples osmosed in 10% and 20% glycerol solutions, respectively). Finally, a sensory evaluation of the fried samples was conducted, where the best-processed sample was the processed-osmosed potato in 20% glycerol solution with an overall liking score of 7.1/9. All processed samples were considered organoleptically acceptable.

The third part of the study focuses on the storage of the samples. Specifically, all types of samples (untreated, treated with an osmotic solution with 20% glycerol, and PEF-treated osmosed samples) were stored at 4, 8, and 12°C in modified atmosphere packaging. For the untreated samples, quality deterioration was observed with an increase in the browning index (BI) of 21%, 22%, and 27% for each temperature, respectively, and a decrease in hardness at 12°C (from 5.762 N to 5.011 N). Concurrently, oxygen and carbon dioxide levels in the packaging decreased at all three temperatures. Regarding microbial growth, the total microbial load increased with rates of 0.483, 0.718, and 2.0626 d⁻¹ for each temperature, respectively, enterobacteria with rates of 0.734, 0.834, and 1.106 d⁻¹, and total anaerobic microbial load with rates of 0.523, 0.975, and 1.876 d⁻¹, while pH ranged from 5.85 to 6.2. Using the Arrhenius equation, the activation energies for each microorganism were 118.96, 33.61, and 104.89 kJ, respectively. In sensory evaluation, the samples were rejected on the third day due to color and texture issues, with the activation energy for the degradation rate of the fried samples calculated at 69.44 kJ. The processed-osmosed samples showed little change in the browning index with low values (from 6.81 to 8.97, 8.46, and 10.66 for each temperature, respectively), while texture showed an increase in hardness (10-30%). The packaging composition remained stable with a slight reduction in gas quantities, and microbial growth was not significantly increased, with only a minor increase observed in the total aerobic microbial load (greater increase at 12°C from 4.09 to 5.45 log CFU/g) and total anaerobic microbial load (greater increase at 4°C from 2.15 to 4.38 log CFU/g), while pH ranged from 4.778 to 4.868. These samples were rejected sensorially on the fifteenth day due to a strong off-odor, with the activation energy for the degradation rate of the fried samples calculated at 24.21 kJ. The PEF-treated-osmosed samples exhibited similar storage behavior with reduced browning index values (from 5.76 to 6.97, 7.98, and 8.45 for each temperature, respectively) but a decrease in hardness at 8 and 12°C (5-12%). The gas composition in the packaging showed a reduction, and microbial growth similarly affected the total aerobic microbial load (greater increase at 12°C from 2.90 to 4.36 log CFU/g) and total anaerobic microbial load (greater increase at 12°C from 2.00 to 4.28 log CFU/g), while pH ranged from 4.408 to 4.605. The samples were also rejected on the fifteenth day due to a strong off-odor, with the activation energy for the degradation rate of the fried samples calculated at 31.10 kJ. Finally, indicative storage of all tested samples was conducted in vacuum packaging at 4°C, with the browning index showing a slight increase, mainly in PEF-treated-osmosed samples (35% of the initial value) and in untreated samples (19% of the initial value). Hardness

decreased in all samples, with processed samples showing microbial growth in the total aerobic load of about 8-12% (2.50 and 2.70 log CFU) of the initial value and in the total anaerobic microbial load of 36-48% of the initial value (2.15 and 2.00 log CFU/g), and PEF-treated-osmosed samples showing yeast and mold growth (from 0 to 2.93 log CFU/g). Untreated samples showed an increase in all tested microorganisms (total aerobic and anaerobic load, enterobacteria, *Pseudomonas*, yeast, and mold). pH decreased for untreated samples, while it showed a slight increase for processed samples. Untreated samples were rejected on the thirteenth day due to appearance, while processed samples were rejected on the eighteenth day due to strong off-odor and the presence of liquid glycerol.

In conclusion, based on the results of this study, osmotic dehydration combined with PEF pretreatment in freshly harvested potatoes can yield a final product with superior organoleptic characteristics that maintains quality over time.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΠΑΤΑΤΑ	12
1.1 Ορισμός – Ιστορική Αναδρομή – Διατροφική Αξία	12
1.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά – Δομή	13
1.3 Παράγοντες αλλοίωσης & Μετασυλλεκτικές ασθένειες	15
1.4 Ενζυμικό & Μη Ενζυμικό μαύρισμα	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ-ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΑΤΑΤΑΣ	25
2.1 Αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (CAS)	25
2.2 Συσκευασία υπό κενό (Vacuum)	28
2.3 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP)	29
2.4 Προϊόντα πατάτας στο εμπόριο	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ: ΤΗΓΑΝΙΣΜΑ	35
3.1 Το τηγάνισμα ως θερμική επεξεργασία	35
3.2 Φαινόμενα μεταφοράς κατά το τηγάνισμα	37
3.3 Προϊόντα οξείδωσης ελαίου	39
3.4 Απορρόφηση ελαίου – Διατροφική Αξία	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΠΙΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ	45
4.1 Ωσμωτική Αφυδάτωση	45
4.1.1 Μηχανισμός	45
4.1.2 Βασικές παράμετροι της διεργασίας	47
4.1.3 Χαρακτηριστικά ωσμωτικού διαλύματος – Επίδραση γλυκερόλης	48
4.2 Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία	49
4.2.1 Αρχή λειτουργίας & Εξοπλισμός διεργασίας ΠΗΠ	49
4.2.2 Παράμετροι διεργασίας ΠΗΠ	50
4.2.3 Ηλεκτροδιάτρηση & Φαινόμενα μεταφοράς	52
4.2.4 Επίδραση ΠΗΠ σε προϊόντα πατάτας	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	56

5.1 Σκοπός της μελέτης	56
5.2 Πειραματικός Σχεδιασμός	56
5.2.1 Μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης	56
5.2.2. Χρήση Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων ως προ επεξεργασία	58
5.2.3 Μελέτη συμπεριφοράς ωσμωνμένων και ωσμο-αφυδατωμένων δειγμάτων πατάτας στο τηγάνισμα	58
5.2.4 Μελέτη διατηρησιμότητας των ωσμο-αφυδατωμένων προϊόντων	59
5.3 Αναλυτικές μέθοδοι	59
5.3.1 Μέτρηση στερεού υπολείμματος και περιεχόμενου νερού	59
5.3.2 Μέτρηση ενεργότητας νερού	59
5.3.3 Μέτρηση χρώματος	60
5.3.4 Προσδιορισμός υφής	61
5.3.5 Μέτρηση γλυκερόλης	61
5.3.6 Μέτρηση χλωριούχου νατρίου	63
5.3.7 Μέτρηση βιταμίνης C	63
5.3.8 Μέτρηση περιεκτικότητας σε λιπαρά	64
5.3.9 Μέτρηση αριθμού υπεροξειδίων	64
5.3.10 Μέτρηση αριθμού ανισιδίνης, δείκτη K_{232} και K_{270}	65
5.3.11 Διαδικασία οργανοληπτικής αξιολόγησης	66
5.3.12 Μέτρηση pH	68
5.3.13 Συσκευασία - Μέτρηση αερίων συσκευασίας MAP	68
5.3.14 Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου	69
5.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων	70
5.4.1 Απώλεια νερού και πρόσληψης στερεών	70
5.4.2 Υπολογισμός αλατότητας δειγμάτων	70
5.4.3 Υπολογισμός περιεκτικότητας σε λιπαρά	71
5.4.4 Υπολογισμός αριθμού υπεροξειδίων (PV)	71
5.4.5 Υπολογισμός αριθμού ανισιδίνης (p-AV)	71
5.4.6 Υπολογισμός δεικτών K_{232} και K_{270}	71
5.4.7 Κινητικό μοντέλο υποβάθμισης της πατάτας – Μικροβιακή ανάπτυξη	71
5.4.8 Εξάρτηση μικροβιακής ανάπτυξης και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών από τη θερμοκρασία	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	73
6.1 Εισαγωγή	73
6.2 Μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης	73
6.2.1 Ωσμωτική αφυδάτωση σε δείγματα πατάτας	73
6.2.1 Ωσμωτική αφυδάτωση σε προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας με ΠΗΠ	81
6.3 Μέτρηση συστατικών ωσμωτικού διαλύματος στα επεξεργασμένα δείγματα πατάτας	88
6.3.1 Μέτρηση γλυκερόλης σε επεξεργασμένα δείγματα πατάτας	88
6.3.2 Μέτρηση χλωριούχου νατρίου σε επεξεργασμένα δείγματα πατάτας	91

6.3.3 Μέτρηση ασκορβικού οξέος (Βιταμίνη C) σε επεξεργασμένα δείγματα πατάτας	91
6.3.4 Συνολική σύσταση συστατικών ωσμωτικού διαλύματος στα προϊόντα πατάτας	92
6.4 Μελέτη θερμικής επεξεργασίας τηγανίσματος στα δείγματα πατάτας	93
6.4.1 Πρόσληψη ελαίου και περιεκτικότητα λιπαρών	93
6.4.2 Μελέτη υποβάθμισης & οξείδωσης ελαίου	96
6.4.3 Μελέτη υφής και υγρασίας των τηγανισμένων προϊόντων πατάτας	98
6.4.4 Οργανοληπτική αξιολόγηση τηγανισμένων δειγμάτων πατάτας	99
6.5 Επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης και των ΠΗΠ στην ποιότητα και στην διατηρησιμότητα των δειγμάτων πατάτας σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP)	102
6.5.1 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και διατηρησιμότητα των μη επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας	102
6.5.1.1 Μεταβολή χρώματος	102
6.5.1.2 Μεταβολή υφής	104
6.5.1.3 Σύσταση τροποποιημένης ατμόσφαιρας της συσκευασίας	105
6.5.1.4 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH	107
6.5.1.5 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση	114
6.5.2 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και διατηρησιμότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας (μόνο με ωσμωτική αφυδάτωση)	118
6.5.2.1 Μεταβολή χρώματος	119
6.5.2.2 Μεταβολή υφής	121
6.5.2.3 Σύσταση τροποποιημένης ατμόσφαιρας της συσκευασίας	121
6.5.2.4 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH	122
6.5.2.5 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση	125
6.5.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και διατηρησιμότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας (προ-επεξεργασία με ΠΗΠ και ωσμωτική αφυδάτωση)	129
6.5.3.1 Μεταβολή χρώματος	129
6.5.3.2 Μεταβολή υφής	131
6.5.3.3 Σύσταση τροποποιημένης ατμόσφαιρας της συσκευασίας	132
6.5.3.4 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH	134
6.5.3.5 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση	136
6.6 Επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης και των ΠΗΠ στην ποιότητα και διατηρησιμότητα των δειγμάτων πατάτας σε συσκευασία υπό κενό (Vacuum)	140
6.6.1 Μεταβολή χρώματος	140
6.6.2 Μεταβολή υφής	142
6.6.3 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH	143
6.6.4 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση	149
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	155
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	166
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	178

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΠΑΤΑΤΑ

1.1 Ορισμός – Ιστορική Αναδρομή – Διατροφική Αξία

Η πατάτα αποτελεί ένα τρόφιμο ευρέως γνωστό στον κόσμο, καθώς καταναλώνεται σε καθημερινή βάση. Αποτελείται κυρίως από άμυλο και ταξινομείται ως *Solanum tuberosum* L. Προέρχεται από την οικογένεια φυτών Solanaceae, ένα από τα 95 μέλη της οποίας είναι η κατηγορία *Solanum*. Στην ίδια κατηγορία περιέχονται περίπου 200 διαφορετικά είδη τα οποία χρησιμοποιούνται από τους εκτροφείς σε όλο τον κόσμο, με σκοπό να βοηθήσουν την ανάπτυξη του προϊόντος. Στα προϊόντα πατάτας υπάγονται όλες οι κατηγορίες προϊόντων που έχουν σαν πρώτη ύλη την πατάτα αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας και παραγωγής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι προτηγανισμένες πατάτες (French fries) και τα πατατάκια (chips) (Bradeen, 2016).

Η ιστορία της πατάτας ξεκινάει ήδη πριν από χιλιάδες χρόνια, καθώς εναπομείνασες σοδειές έχουν εντοπιστεί στη Νότια Αμερική και χρονολογούνται 12.000 έτη πριν. Στο πέρασμα των ετών μάλιστα, η πατάτα έγινε κομμάτι της διατροφής των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής των Άνδεων. Στα μέσα του 16^{ου} αιώνα, Ισπανοί εξερευνητές (εποχή Κολόμβου) κατάφεραν να εισαγάγουν δείγμα της και στην Ευρώπη. Αμέσως γίνεται γνωστή σε όλη την ήπειρο και αποκτά θεραπευτική χρήση. Παράλληλα, με την πάροδο του χρόνου το κλίμα και το έδαφος της Ευρώπης βοήθησαν στην παραγωγή της πατάτας και με αυτό τον τρόπο το προϊόν απέκτησε ακόμα μεγαλύτερη φήμη. Το 1820, η παραγωγή της πατάτας ξεκίνησε και στη Βόρεια Αμερική, ενώ την ίδια περίοδο στην ήπειρο της Ευρώπης η παραγωγή έχει επεκταθεί σε τόσο μεγάλο βαθμό, ώστε η πατάτα πια παρομοιάζεται με «ψωμί για φτωχούς». Ωστόσο, η κοινωνία παρέμενε προβληματισμένη, καθώς το προϊόν παρουσίαζε αρνητικές παρενέργειες στους καταναλωτές (Lisinska and Leszczynski, 1989).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα ήταν οι λοιμώξεις που προκαλούσε η πατάτα. Για αυτό το λόγο, πραγματοποιήθηκαν έρευνες σε Αγγλία, Γαλλία, Γερμανία και Η.Π.Α σχετικά με την αναπαραγωγή της πατάτας όπου και κατάφεραν στα μέσα του 19^{ου} αιώνα να αναπαραγάγουν ποικιλίες του είδους οι οποίες ήταν ανθεκτικές σε λοιμώξεις. Με αυτό τον τρόπο, οι αρνητικές συνέπειες της κατανάλωσης του προϊόντος περιορίστηκαν σημαντικά. Ταυτόχρονα, η επιρροή της βιομηχανικής επανάστασης στην εποχή εκείνη έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της επεξεργασίας της πρώτης ύλης. Έτσι λοιπόν και για την πατάτα άρχισαν να κατασκευάζονται βιομηχανίες επεξεργασίας με στόχο τα τελικά προς κατανάλωση «προϊόντα πατάτας». Με αυτό τον τρόπο γίνεται κατανοητό πως το προϊόν της πατάτας πλέον είναι άμεσα διαθέσιμο σε κάθε νοικοκυριό. Σήμερα, σύμφωνα με τα τελευταία στατιστικά δεδομένα του FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) για το έτος 2022, η συνολική παραγωγή της πατάτας παγκοσμίως ανέρχεται σε 375 εκατομμύρια τόνους/χρόνο. Η Κίνα και η Ινδία είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί (με 95.5 εκατ. τόνους/χρόνο και 56 εκατ. τόνους/χρόνο αντίστοιχα) και όσον αφορά την Ευρώπη η Ουκρανία, η Ρωσία, η Γερμανία, η Γαλλία και η Ολλανδία βρίσκονται ανάμεσα στις κορυφαίες θέσεις.

Η μεγάλη αυτή επέκταση της καλλιέργειας της πατάτας οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως μπορεί να αναπτυχθεί σε μεγάλα υψόμετρα και σε ξηρό κλίμα όπου το σιτάρι για παράδειγμα δεν ευδοκιμεί. Απαιτείται μικρή διάρκεια ανάπτυξης (περίπου 75 μέρες) και η συγκομιδή της είναι σχετικά απλή. Επιπλέον, η διατροφική της αξία έπαιξε σημαντικό ρόλο για την διεύρυνση της φήμης της, καθώς είναι ένα τρόφιμο το οποίο προσδίδει μόλις εκατό θερμίδες, είναι πηγή βιταμίνης C και B6 καθώς και διαφόρων μεταλλικών στοιχείων όπως καλίου και

ψευδαργύρου. Επίσης, περιέχει βιταμίνη Β, ριβοφλαβίνη και είναι πολύ καλή πηγή μαγνησίου. Πιο συγκεκριμένα, μία μέτρια πατάτα περίπου 150 g περιέχει στη φλούδα της 48 mg μαγνησίου (Beals, 2018). Σύμφωνα με έρευνα οι πατάτες αποτελούν το 5% της πηγής μαγνησίου για τους Αμερικάνους (Freedman and Keast, 2011).

Επομένως, η πατάτα θεωρείται τρόφιμο υψηλής διατροφικής αξίας και καταναλώνεται καθημερινά σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα σημαντικά όμως διατροφικά στοιχεία της βρίσκονται στη φλούδα της (ποσοστό >50%) γεγονός που σημαίνει ότι κατά την επεξεργασία μαγειρέματος η αξία της υποβαθμίζεται. Φαίνεται πως η παρουσία νερού κατά το βράσιμο αλλά και η έκθεση της σε υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν τη συγκέντρωση της βιταμίνης C η οποία είναι διαλυτή στο νερό και ασταθής σε ακραίες τιμές θερμοκρασίας (Beals, 2018).

Potato variety	Serving size	Vit. C (mg)	B1 (mg)	B2 (mg)	B3 (mg)	B6 (mg)	Folate (mcg)	K ⁺ (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)	Fe (mg)	Zn (mg)
Raw Potato ⁺	5.2 oz	27	.12	.03	1.6	.2	24	620	20	33	1.1	0.4
Russet (baked w/skin)*	1 small (138 g)	11.5	.10	.07	1.9	.50	36	759	25	41	1.5	.48
Russet (baked w/o skin)*	1 small (138 g)	18	.14	.03	1.9	.41	12	540	7	34	.5	.40
Russet (microwaved w/skin)*	1 small (138 g)	21	.18	.04	2.4	.48	17	617	15	55	1.7	.76
Russet (microwaved w/o skin)*	1 small (138 g)	21	.18	.03	2.2	.44	17	567	7	34	.57	.46
Potatoes (boiled in skin)*	136 g	18	.15	.03	2.0	.41	14	515	7	30	.43	.41
Potatoes (boiled w/o skin)*	125	9	.12	.02	1.6	.34	11	410	10	25	.39	.34
Red Potatoes (baked w/skin)*	1 small (138 g)	17	.10	.07	2.2	.30	37	752	12	39	1.0	.55
White Potatoes (baked w/skin)*	1 small (138 g)	17	.07	.06	2.1	.30	52	751	14	37	.90	.48
Potato skin (raw)*	1 skin (38 g)	4	.01	.01	0.4	.09	6	157	11	9	1.2	.13

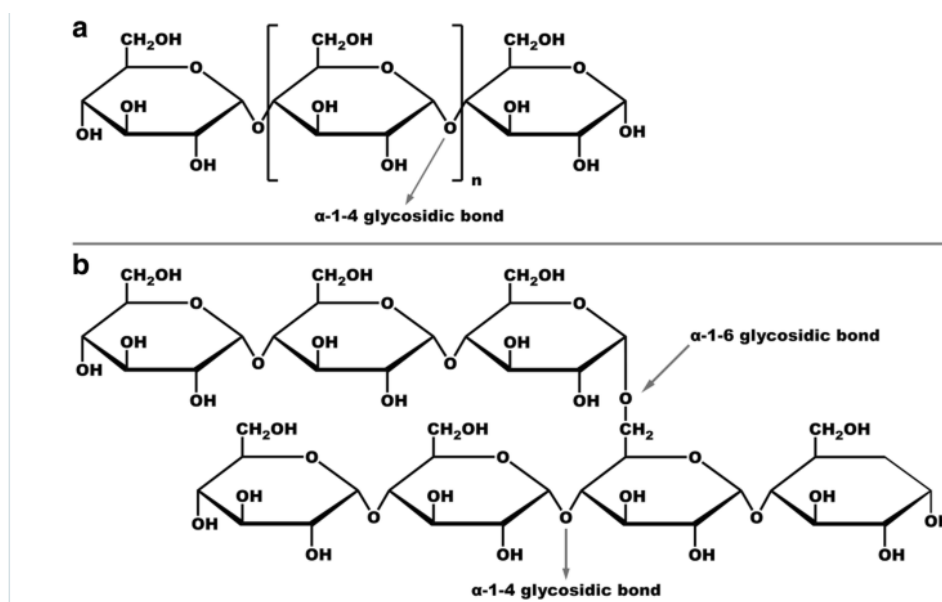
Εικόνα 1.1: Πίνακας με μικροθρεπτικά συστατικά της ωμής πατάτας (Beals, 2018)

1.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά – Δομή

Η πατάτα αποτελείται κυρίως από άμυλο. Το άμυλο είναι πολύ γνωστό στη βιομηχανία των τροφίμων και χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή επεξεργασμένων προϊόντων όπως αλοιφές, σούπες και ψωμί. Είναι ένας υδατάνθρακας όπου αποτελείται από δύο κύριους πολυσακχαρίτες: την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του είναι ότι λειτουργεί ως σταθεροποιητής, δημιουργεί πηκτή και δίνει «σώμα» στο προϊόν. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να δρα ως τροποποιητής υφής καθώς και ως διογκωτικός παράγοντας. Γενικότερα, υπάρχει μεγάλη ποικιλία ειδών αμύλου λόγω των διαφορετικών φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών (Martínez et al., 2019). Το άμυλο πατάτας, συγκεκριμένα, προτιμάται καθώς η γέλη του χαρακτηρίζεται από μεγάλη διαύγεια και ουδετερότητα (Alvani et al., 2011). Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη φωσφορικών εστέρων στην αμυλοπηκτίνη. Παράλληλα, οι κόκκοι αμύλου χαρακτηρίζονται από μεγάλα μεγέθη, καθαρότητα και οι αλυσίδες αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης δύνανται να ανταλλάσσουν κατιόντα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ιδιαίτερα θετικά χαρακτηριστικά στη ρεολογική συμπεριφορά του υλικού και να σχηματίζονται ιξωδοελαστικά πηκτώματα (Vasanthan et al., 1999). Γίνεται κατανοητό λοιπόν πως η μελέτη για το άμυλο πατάτας είναι πολύ σημαντική. Βέβαια, εκτός από το άμυλο που αποτελεί το κύριο συστατικό της, η πατάτα είναι πλούσια πηγή και άλλων υδατανθράκων, πρωτεϊνών, ασκορβικού οξέος, βιταμινών, φαινολικών ουσιών και μεταλλικών στοιχείων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα συνολικά φυσικά χαρακτηριστικά του προϊόντος καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τη δομή του αμύλου. Η αμυλόζη είναι ένας πολυσακχαρίτης ευθείας αλυσίδας που περιέχει κατά 99% 1,4-α γλυκοζιτικούς δεσμούς και κατά 1% 1,6-α γλυκοζιτικούς δεσμούς. Αντίθετα, η αμυλοπηκτίνη είναι διακλαδισμένης αλυσίδας με κατά

95% 1,4-α γλυκοζιτικούς δεσμούς και κατά 5% 1,6-α γλυκοζιτικούς δεσμούς (Εικόνα 1.2) (Duru et al., 2019). Το άμυλο περιέχεται στην πατάτα σε ποσοστό 13.5-15% σε υγρή βάση και σε 75-80% σε ξηρή βάση. Τα χαρακτηριστικά του αμύλου όπως η θερμοκρασία ζελατινοποίησης, η ευπεπτότητα και το ιξώδες επηρεάζονται από την αναλογία των δύο αυτών συστατικών στο άμυλο (περίπου 20-33% αμυλόζη). Επιπλέον, το μήκος της αλυσίδας της αμυλόζης και οι διακλαδώσεις της αλυσίδας της αμυλοπηκτίνης επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο τις ιδιότητες αυτές.



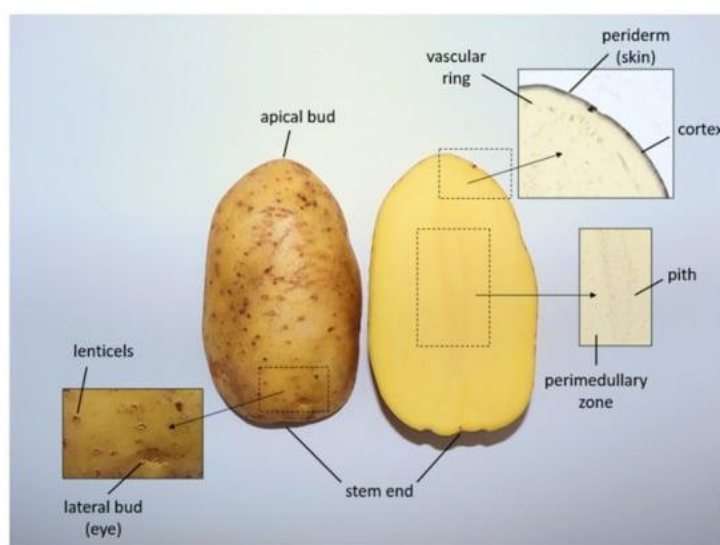
Εικόνα 1.2: Δομή αμυλόζης (a) και αμυλοπηκτίνης (b) (Duru and Liu, 2019)

Τα προϊόντα πατάτας εκτός από άμυλο περιέχουν και ορισμένα είδη πρωτεϊνών. Συγκεκριμένα, το ποσοστό ύπαρξης πρωτεΐνης στην πατάτα ανέρχεται σε 2.1% (6-8% σε ξηρή βάση). Διατροφικά, έχει βρεθεί πως η πρωτεΐνη της πατάτας υπερέχει αυτής των περισσότερων λαχανικών και ποικιλιών του είδους και προσεγγίζει την πρωτεΐνη του αυγού. Το κύριο συστατικό του είδους της συγκεκριμένης πρωτεΐνης είναι η λυσίνη η οποία δε συναντάται σε υψηλά ποσοστά σε άλλου είδους λαχανικά. Πιο συγκεκριμένα, η πρωτεΐνη της πατάτας αποτελείται από 71% πατατίνη, 7.6% γλουτελίνη, 6.6% αλβουμίνη, 3% γλοβουλίνη, 1.7% προλαμίνη και 8.8% άλλες πρωτεΐνες (Shewry, 2003). Η πατατίνη (patatin) είναι μια γλυκοπρωτεΐνη με Mr = 45000, που παλιότερα είχε την ονομασία τουμπερίνη (tuberin). Παρά το μεγάλο διατροφικό πλεονέκτημα της πρωτεΐνης αυτής, φαίνεται πως παγκοσμίως η πρωτεΐνη της πατάτας δεν επιλέγεται από το κοινό καθώς προτιμά να την αντικαθιστά με άλλες πηγές απομονωμένης πρωτεΐνης όπως γλουτένης σίτου και σόγιας (Shewry, 2003).

Η πατάτα περιέχει σε μικρό ποσοστό ασκορβικό οξύ το οποίο όμως ο περισσότερος κόσμος αγνοεί ή δε γνωρίζει. Το ασκορβικό οξύ ή Βιταμίνη C συναντάται στα περισσότερα είδη φρούτων και λαχανικών (Kowalczyk et al., 2018). Πρόκειται για μία βιταμίνη η οποία παράγεται από τη γλυκόζη και έχει πολλές βιολογικές ιδιότητες που οφείλονται στην ανταλλαγή υδρογόνων μεταξύ των μορίων. Ο μεταβολικός ρόλος του ασκορβικού οξέος είναι σημαντικός καθώς σχετίζεται με μία αμφίδρομη αντίδραση οξείδωσης – αναγωγής προς την παραγωγή άνυδρου ασκορβικού οξέος (Hironaka et al., 2011). Η αντίδραση υδροξυλίωσης που πραγματοποιείται σταθεροποιεί την τριπλή έλικα του κολλαγόνου, το οποίο αποτελεί ένα είδος πρωτεΐνης και υποβοηθάει στην επούλωση των τραυμάτων. Με αυτό τον τρόπο, προστατεύεται ο φυτικός ιστός από τραύματα που θα προκαλούσαν σοβαρή βλάβη

Επιπλέον, καθαρίζει τον ιστό από τις ελεύθερες ρίζες αντιδραστικών ειδών του οξυγόνου οι οποίες έχουν την δυνατότητα να επιφέρουν βλάβες στο κύτταρο καταστρέφοντας την δομή του DNA ή να προκαλέσουν υπεροξειδωση και να συμβάλουν σε εκφυλιστικές ασθένειες όπως η καρδιακή νόσος. Το ασκορβικό οξύ είναι επίσης κύρια πηγή σιδήρου με την ημερήσια συνιστάμενη κατανάλωση για τους ενήλικες να ανέρχεται σε 100 mg/ημέρα σύμφωνα με τον FAO.

Οι κόνδυλοι πατάτας που καλλιεργούνται (potato tubers) έχουν ένα ωοειδές, σφαιρικό σχήμα και εξωτερικά αποτελούνται από μια φλούδα ανοιχτού καφέ χρώματος. Η φλούδα αυτή διαθέτει ειδικά σημεία τα οποία αποκαλούνται οφθαλμοί της πατάτας (potato eyes) και υποβοηθούν στην αναπαραγωγή της. Το εσωτερικό της πατάτας (η λεγόμενη σάρκα) αποτελείται από το μυελό του φυτού (pith), τη περιμυελική ζώνη, τον αγγειακό δακτύλιο και το φλοιό. Το εσωτερικό μέρος είναι και αυτό το οποίο καταναλώνεται από τον άνθρωπο καθώς συνήθως η εξωτερική φλούδα αφαιρείται κατά την επεξεργασία. Εξωτερικά, η φλούδα αποτελείται από τον «απρικανοειδή οφθαλμό» (apical bud), το άκρο του καρπού (stem end), τους «πόρους» (lenticels) και τους πλευρικούς οφθαλμούς (lateral buds) (Εικόνα 1.3). Ωστόσο, η μορφολογία του κάθε καρπού διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία και λόγω εξωγενών παραγόντων όπως η θερμοκρασία, το έδαφος, η τοποθεσία και οι συνθήκες αποθήκευσης μετά τη συγκομιδή. Το 80% των συστατικών είναι νερό και το υπόλοιπο 20% είναι η ξηρή ουσία (άμυλο, πρωτεΐνες κλπ) (Miller et al., 2022).



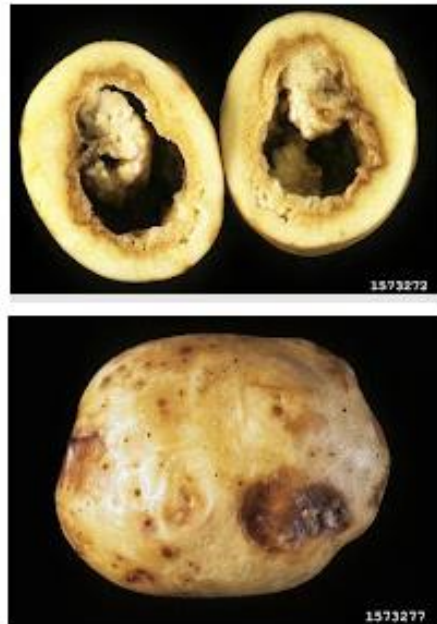
Εικόνα 1.3: Δομή της πατάτας (Miller et al., 2022)

1.3 Παράγοντες αλλοίωσης & Μετασυλλεκτικές ασθένειες

Ήδη από το 1930 οι βιομηχανίες προσπάθησαν να εισαγάγουν στην αγορά συσκευασίες με αποφλοιωμένες πατάτες με στόχο την διευκόλυνση κατά την διαδικασία του μαγειρέματος. Η φλούδα της πατάτας, όμως, λειτουργεί ως ασπίδα προστασίας για το τρόφιμο αποτρέποντας την διείσδυση παθογόνων μικροοργανισμών στο εσωτερικό. Επιπλέον, οι θερμικές επεξεργασίες που δύνανται να εφαρμοσθούν κατά την διάρκεια παραγωγής των προϊόντων καταστρέφουν τα πρωτεϊνικά σύμπλοκα και αποικοδομούν τους σύνθετους υδατάνθρακες μετουσιώνοντας τα σε μορφές πιο εύκολα διαχειρίσιμες από τους μικροοργανισμούς. Η εκτεταμένη θέρμανση καταστρέφει τη φυσική μικροχλωρίδα στις πατάτες, η οποία ανταγωνίζεται τα παθογόνα μικρόβια για θρεπτικά συστατικά (Doan and Davidson, 2000).

Κατά την αποθήκευση και καλλιέργεια της πατάτας δημιουργείται η πιθανότητα εμφάνισης των λεγόμενων μετασυλλεκτικών ασθενειών. Για αυτό το λόγο η αποθήκευση γίνεται με αυστηρές προδιαγραφές ώστε να αποφευχθούν τέτοιου είδους αλλοιώσεις. Συγκεκριμένα, οι πατάτες διατηρούνται σε ψυχρό περιβάλλον με ψύξη και με χρήση κατασταλτικών φύτρων. Τα προϊόντα πατάτας χρειάζονται ειδική διαχείριση λόγω της υψηλής τους περιεχόμενης υγρασίας και της μεταβολικής τους δραστηριότητας (Benkeblia, 2012).

Η διαδικασία παραγωγής και επεξεργασίας του προϊόντος που ακολουθείται κάθε φορά ενέχει τον κίνδυνο ανάπτυξης διαφορετικών ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Κατά την καλλιέργεια της πατάτας οι κύριοι μικροοργανισμοί είναι ο *Pseudomonas solanacearum* που προκαλεί σήψη στην πατάτα με διάρκεια και κατά την αποθήκευση, ο *Streptomyces scabies* που είναι ένα εδαφογενές βακτήριο υπεύθυνο για την εμφάνιση ψώρας (Hooker, 1981) και ο *Phytophthora infestans*, ένας νηματώδης μύκητας, που προκαλεί στην πατάτα την ασθένεια της λεγόμενης «όψιμης λοίμωξης» (late blight disease). Τα σπόρια του συγκεκριμένου μικροοργανισμού διαδίδονται μέσω της βροχής, του νερού άρδευσης και του ανέμου (Doan and Davidson, 2000). Ένας άλλος μικροοργανισμός που μπορεί να προκαλέσει την πρώιμη λοίμωξη (early blight) είναι ο νηματώδης μύκητας *Alternaria solani*. Εμφανίζεται κυρίως σε καλλιέργειες που χρησιμοποιείται ο ψεκασμός και η υγρασία που δημιουργείται στο έδαφος είναι η κατάλληλη για την ανάπτυξή του προκαλώντας φθορές στον κυτταρικό ιστό της φλούδας (Nolte and Ojala, 1992). Παράλληλα, η σήψη είναι μία συνηθισμένη ασθένεια στο φυτό της πατάτας και κατηγοριοποιείται σε τρία είδη: τη ξηρή σήψη, το μαρασμό και την ενδιάμεση ασθένεια. Η ξηρή σήψη προκαλείται από τους μύκητες *Fusarium sambucinum* ή *Fusarium coeruleum* και αναπτύσσεται εάν ο καρπός περιέχει κοψίματα και φθορές εξωτερικά. Ο μαρασμός εκδηλώνεται με την ένδειξη του αποχρωματισμού και η ενδιάμεση ασθένεια είναι ένας συνδυασμός και των δύο. Ένα είδος μύκητα που σχετίζεται με το μαρασμό είναι ο *Verticillium albo-atrum* ή ο *Verticillium dahliae*. Οι νηματώδεις αυτοί μύκητες προσβάλλουν την πατάτα από το χώμα, εισχωρούν στις ρίζες και τελικώς μπορεί να αποικίσουν σε ολόκληρο τον καρπό (Davis, 1993). Άλλη ασθένεια είναι το ασημένιο scurf (silver scurf) που προκαλείται από τον μύκητα *Helminthosporium solani* κατά την καλλιέργεια αλλά και τις πρώτες εβδομάδες αποθήκευσης. Η πατάτα αποκτά ένα γκρίζο χρώμα και ασημί γυαλάδα στην επιφάνεια κατά την καλλιέργεια ενώ κατά την αποθήκευση εμφανίζονται και μαύρα στίγματα (Shetty et al., 1997). Ο μύκητας *Spongospora subterranea* αναπτύσσεται στις ρίζες και στους κονδύλους της πατάτας προκαλώντας ακόμα και σήψη κατά την αποθήκευση (Doan and Davidson, 2000). Τέλος, ο πιο σοβαρός παράγοντας μικροβιολογικής αλλοίωσης αφορά τους μικροοργανισμούς *Erwinia* (τώρα *Pectobacterium*) *carotovora* ssp. *carotovora*, *Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica*, *Pseudomonas marginalis* και *Clostridium* sp. Τα συγκεκριμένα βακτήρια διασπούν τις πηκτίνες της πατάτας δημιουργώντας μια πιο μαλακή υφή στον καρπό. Άλλες ασθένειες είναι η βακτηριακή μαύρη σήψη και η αλλοίωση της βακτηριακής σήψης (*Corynebacterium sepedonicum*). Γενικότερα, τα βακτήρια που προσβάλλουν την πατάτα διατηρούνται και κατά την αποθήκευση καθώς μεταφέρονται στους υπόλοιπους κονδύλους μέσω μολώπων και φθορών της επιφάνειας (Jansky and Thompson, 1990).

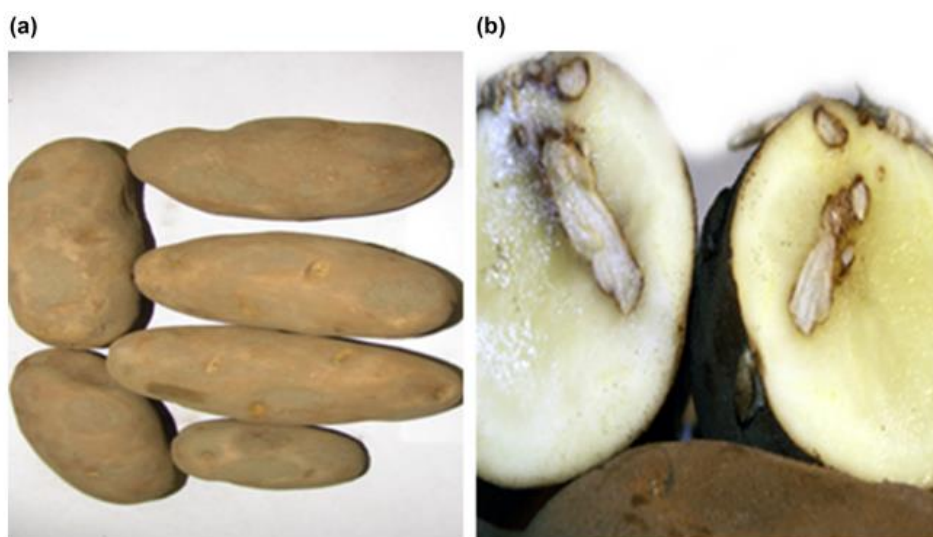


Εικόνα 1.4: Σήψη σε δείγματα πατάτας (Potatoes: Post-harvest Disorders and Handling, 2023)

Οι συνθήκες αποθήκευσης των κονδύλων πατάτας παίζουν σημαντικό ρόλο για την ομαλή διατήρηση του υγιούς καρπού. Παρόλα αυτά, ορισμένες αλλοιώσεις είναι δυνατόν να συμβούν εξαιτίας της μη ομαλής διαδικασίας αποθήκευσης. Επιπλέον, η περιοχή και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που αναπτύχθηκε η καλλιέργεια δύνανται να επηρεάσουν την μετέπειτα ανάπτυξη της πατάτας. Με αυτόν τον τρόπο, ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όπως η υφή, η γεύση, η οσμή κ.ά. αλλοιώνονται και το τελικό προϊόν δεν καθίσταται διαθέσιμο για το καταναλωτικό κοινό (Benkeblia, 2012).

Η βλάστηση της πατάτας είναι ένα συχνό φαινόμενο που συμβαίνει κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η πατάτα γενικότερα, μετά τη συγκομιδή της ξεκινάει μια διαδικασία αδράνειας η οποία όταν ολοκληρωθεί επιφέρει αύξηση στον κυτταρικό μεταβολισμό του κονδύλου. Στην ανάπτυξη αυτή συμβάλλουν οι θερμοκρασίες που επικρατούν στους χώρους συντήρησης του προϊόντος. Οι συνήθεις θερμοκρασίες που αποτρέπουν τη βλάστηση του σπόρου είναι χαμηλές της τάξης των 3-4 °C. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος το περιεχόμενο ποσοστό αμύλου υδρολύεται προς αναγωγικά σάκχαρα καταστρέφοντας με αυτό τον τρόπο τις βασικές ιδιότητες της πατάτας (Haase, 2007). Γενικότερα, κατά την αποθήκευση της πατάτας η βλάστηση μπορεί να ξεκινήσει 2 – 3 μήνες μετά την κατάσταση της αδράνειας που βρίσκεται ο καρπός αφού συλλεχθεί. Σε υψηλές θερμοκρασίες η διαδικασία αυτή ευνοείται και για την αποφυγή της, εκτός των απαραίτητων θερμοκρασιακών ορίων που τηρούνται, χρησιμοποιούνται και αναστολείς των φύτρων όπως CIP (χλωροϊσοπροπυλ-N φαινυλοκαρβαμικός εστέρας) ή CIPC (χλωριούχο χλωροϊσοπροπυλ-N φαινυλοκαρβαμικό εστέρας) οι οποίοι ψεκάζονται πριν την αποθήκευση και στο τέλος (Benkeblia, 2012). Άλλη αλλοίωση που οφείλεται στην έκθεση του καρπού σε φως είναι το πρασίνισμα. Η υπερβολική έκθεση σε φως μπορεί να προκαλέσει ανάπτυξη της χλωροφύλλης και πικρών, τοξικών γλυκοαλκαλοειδών όπως η σολανίνη. Ανάπτυξη σολανίνης συμβαίνει πιο εύκολα σε πατάτες που έχουν φθορές στο εξωτερικό τους ή συλλέχθηκαν πιο πρόσφατα. Αυτό συμβαίνει γιατί η εξωτερική τους φλούδα δεν έχει τόσο παχύ στρώμα. Επιπλέον, οι πατάτες μπορούν να πρασινίσουν πιο εύκολα σε υψηλές θερμοκρασίες και σε συσκευασίες που απορροφούν το φως. Οι διαφανείς συσκευασίες που χρησιμοποιούνται

παρόλα αυτά συμβάλλουν στην ανάπτυξη της σολανίνης στο εσωτερικό της πατάτας, ακριβώς κάτω από τη φλούδα. Για αυτό το λόγο, κατά το μαγείρεμα συνίσταται η αφαίρεση της φλούδας καθώς η σολανίνη μειώνεται κατά 60-70% (Sengül et al., 2004). Η λεγόμενη διαταραχή της «μαύρης καρδιάς» (black heart disorder) είναι μία φυσική διαδικασία που συμβαίνει όταν η ποσότητα οξυγόνου είναι χαμηλή. Συνήθως, όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασιακές τιμές ο ρυθμός αναπνοής ευνοείται και αυτό δημιουργεί ένα ασφυκτικό κλίμα στο εσωτερικό του κονδύλου με αποτέλεσμα να μαυρίζει. Είναι μια διαταραχή η οποία μπορεί να ευδοκιμήσει ακόμα και κατά την καλλιέργεια καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο χωράφι και το υδάτινο περιβάλλον συμβάλλουν στην ανάπτυξη της (Adams and Stevenson, 1990). Επιπλέον, κατά την διαδικασία της αποθήκευσης σε ψυχρό περιβάλλον (κάτω από 10-12 °C) υπάρχει η δυνατότητα να αναπτυχθεί έγκαισμα (ή βλάβη) ψύξης (chilling injury). Η συγκεκριμένη διαταραχή απασχολεί σε μεγάλο βαθμό τη βιομηχανία καθώς είναι γνωστό πως η διατήρηση σε χαμηλές θερμοκρασίες επεκτείνει την διάρκεια ζωής των λαχανικών. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση διάφορες θεωρίες έχουν αναπτυχθεί σχετικά με το λόγο ύπαρξης ενός τέτοιου τραυματισμού καταλήγοντας στο γεγονός πως πιθανότατα οφείλεται στη βιοχημική δομή των κυτταρικών ιστών και την ευαισθησία ορισμένων συστατικών στο ψύχος (όπως για παράδειγμα τα φωσφολιπίδια) (Rhodes and Woollorton, 1978). Τέλος, μία σημαντική οπτική παρατήρηση αφορά την ύπαρξη μαύρων στιγμάτων και κηλίδων. Οι συγκεκριμένες χρωματικές ανομοιομορφίες στην πατάτα μπορούν να δημιουργηθούν εξαιτίας πιέσεων και συγκρούσεων. Χημικές αναλύσεις δείχνουν πως ο σχηματισμός κηλίδων λαμβάνει χώρα σε αποσαθρωμένα κύτταρα και είναι αποτέλεσμα που οφείλεται στα προϊόντα ορισμένων μη ρυθμιζόμενων αντιδράσεων μεταξύ πυρηνόφιλων υπολειμμάτων οξέων με πρωτεΐνες και κινόνες (Stevens and Davelaar, 1996). Ωστόσο, σημαντικό ρόλο παίζει και η σωστή διαχείριση της καλλιέργειας για να διατηρείται η σχετική υγρασία σε φυσιολογικά ποσοστά.



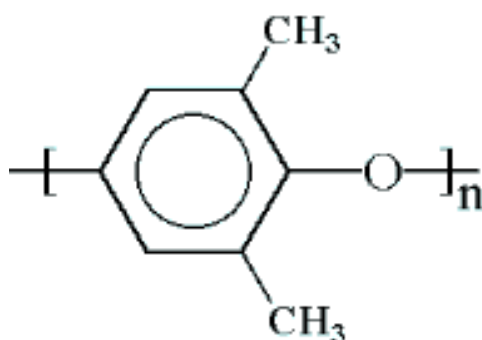
Εικόνα 1.5: α) Αποτέλεσμα προϊόντος από άσκηση πίεσης και β) εμφάνιση βλάστησης_εσωτερικά σε δείγματα αφυδατωμένης πατάτας (Pinhero and Yada, 2016)

1.4 Ενζυμικό & Μη Ενζυμικό μαύρισμα

Ενζυμικό Μαύρισμα

Το ενζυμικό μαύρισμα αποτελεί ένα συνηθισμένο φαινόμενο σε φρούτα και λαχανικά που έχουν υποστεί μερική μηχανική καταπόνηση όπως για παράδειγμα αν έχουν κοπεί, αν εκτίθενται σε αέρα ακόμα και κατά την απόψυξη κατεψυγμένων προϊόντων. Κύριες πηγές της συγκεκριμένης αλλοίωσης αποτελούν τα ένζυμα πολυφαινολοξειδάση (PPO) και η υπεροξειδάση πολυφαινόλης (POD). Η πολυφαινολοξειδάση (PPO) καταλύει την οξείδωση της ομάδας υδροξυλίου η οποία είναι προσδεμένη στο βενζολικό δακτύλιο μονοϋδροξυφαινολών (π.χ. φαινόλη) και ο-διϋδροξυφαινολών (π.χ. κατεχόλη) αλλά και την αφυδρογόνωση ο-διοϋδροξυφαινολών σε ο-κινόνες. Η οξείδωση των φαινολικών αυτών ενώσεων προσδίδει στο τρόφιμο το καφέ χρώμα καθώς παράγεται η μελανίνη (Singh et al., 2018).

Γενικότερα το μαύρισμα των λαχανικών και των φρούτων μαζί με την μικροβιολογική ανάπτυξη αποτελούν τα κύρια προβλήματα της βιομηχανίας τροφίμων καθώς το καταναλωτικό κοινό αποφεύγει την αγορά προϊόντων με αλλοιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Το υπεύθυνο ένζυμο για την δημιουργία αυτού του φαινομένου είναι η πολυφαινολοξειδάση. Η πολυφαινολοξειδάση (ή αλλιώς 1,2 βενζοδιόλη: οξειδοαναγωγή του οξυγόνου) είναι μια ουσία που περιέχει άνθρακα στην δομή της ο οποίος παίζει ενεργό ρόλο κατά την οξείδωση (Εικόνα 1.6) (Hunt et al., 1993). Εξαρτάται πάντα από εξωτερικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH και η ποσότητα οξυγόνου στη συσκευασία και στην ατμόσφαιρα. Η οξείδωση πραγματοποιείται σε φαινολικές ενώσεις οι οποίες είναι χημικές ουσίες στα λαχανικά και στα φρούτα. Εκτός από τη συμμετοχή τους στο ενζυμικό μαύρισμα, λειτουργούν δευτερευόντως ως μεταβολίτες φυτών διαμέσου του μηχανισμού των υδατανθράκων. Παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των φρούτων και των λαχανικών αφού προσδίδουν γεύση και χρώμα και επιπλέον θεωρούνται πλούσια πηγή αντιοξειδωτικών. Με την διαταραχή του κυτταρικού ιστού από ενδεχόμενη καταπόνηση κατά τη μετασυλλεκτική περίοδο, οι οργανικές αυτές ενώσεις προκαλούν τις αντιδράσεις μαυρίσματος. Στο ενζυμικό μαύρισμα η PPO έχει καταλυτικό ρόλο στις αντιδράσεις οξείδωσης με αποτέλεσμα την δημιουργία της κινόνης η οποία σε δευτερογενές στάδιο παράγει τα προϊόντα με έντονο καφέ χρώμα (Singh et al., 2018).

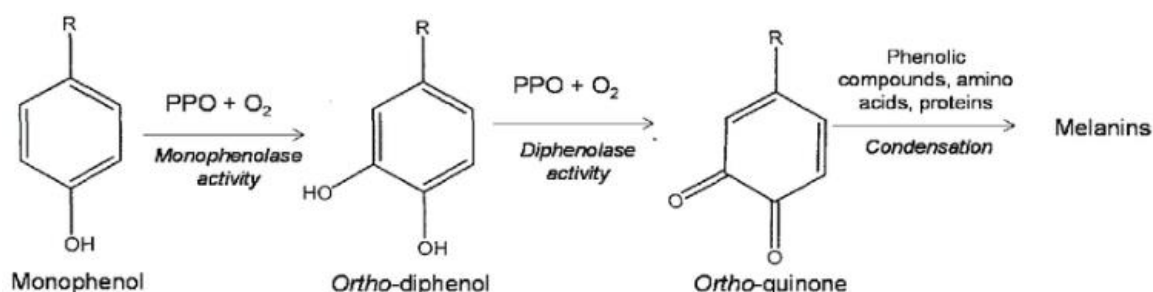


Εικόνα 1.6: Δομή της οξειδάσης πολυφαινόλης (PPO) (Poly(Phenylene Oxide))

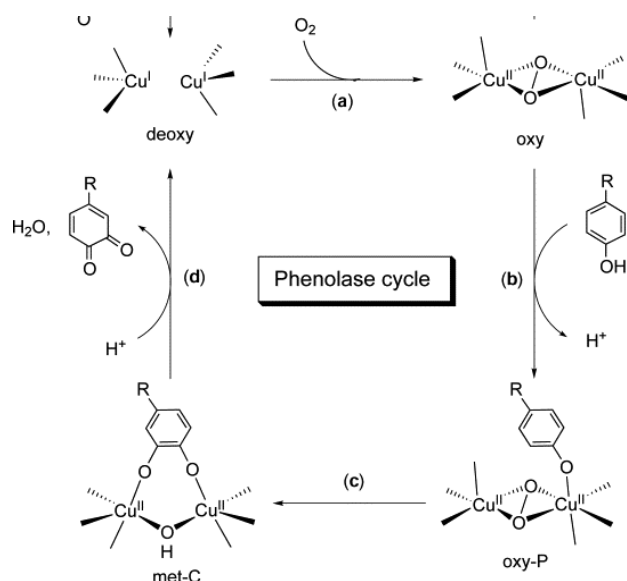
Οι υπεροξειδάσες (POD) αποτελούν μια κατηγορία ενζύμων τα οποία έχουν παρόμοια δράση με τις PPO. Η συγκεκριμένη κατηγορία ενζύμων επιτυγχάνει οξείδωση μονο-ηλεκτρονίου παρουσία υπεροξειδίου του υδρογόνου (Dunford, 1976). Οι POD είναι ευρέως διαδεδομένες

στα φυτά αλλά παρόλα αυτά δεν έχει γίνει ξεκάθαρη η συνεισφορά τους κατά την διαδικασία του ενζυμικού μαυρίσματος. Αυτό συμβαίνει διότι στο εσωτερικό επίπεδο του υπεροξειδίου του υδρογόνου καταστέλλεται η δράση των υπεροξειδασών. Παρόλο που δυνητικά η POD μπορεί να οδηγήσει σε ενζυμικό μαύρισμα παρουσία υδρογόνου, ο ρόλος της ακόμα δεν έχει προσδιοριστεί ακριβώς (Amiot et al., 1992).

Το ενζυμικό μαύρισμα εφόσον αφορά αντιδράσεις οξείδωσης σχετίζεται άμεσα με την παρουσία και την διαθεσιμότητα του ενεργού μοριακού οξυγόνου. Όσον αφορά τα αντιδρώντα, οι πολυφαινόλες βρίσκονται στα πλαστίδια ενώ τα ένζυμα της οξειδάσης στο κυτταρόπλασμα. Κατά την διαδικασία της επεξεργασίας με την καταπόνηση της πρώτης ύλης, τα πλαστίδια διαρρηγνύονται από το κυτταρόπλασμα και οι πολυφαινόλες έρχονται σε επαφή με τα ένζυμα. Στη συνέχεια, η PPO καταλύει την υδροξυλίωση των φαινολών και την οξείδωση των ο-διφαινολών σε ο-κινόνες παρουσία οξυγόνου. Η PPO λειτουργεί καταλυτικά διότι στο μόριό της βρίσκονται δύο άνθρακες σε ενεργές θέσεις ενώ στη συνέχεια τα προϊόντα της οξείδωσης πολυμερίζονται μη ενζυμικά προς σύνθετες χρωστικές ουσίες που προσδίδουν το καφέ χρώμα (μελανίνες). Χρωματικά παρατηρείται διαφορά στα τρόφιμα, γεγονός που οφείλεται σε περιβαλλοντικά αίτια κατά την παραγωγή των πολυφαινολών (Nicolas et al., 1994). Από τη φυσική τους προέλευση, τα ένζυμα της οξειδάσης έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν σε διάφορες αντιδράσεις οξείδωσης παρέχοντας ένα υπόστρωμα ικανό να οξειδώσει φαινολικά συστατικά. Έπειτα από την υδροξυλίωση της φαινολικής ένωσης και την δημιουργία των βενζοκινονών λαμβάνει χώρα το μη ενζυμικό μαύρισμα για την δημιουργία μελανινών. Ο μηχανισμός δράσης της υπεροξειδάσης κατά την υδροξυλίωση συνδέεται με ένα ενδιάμεσο προϊόν, την δεοξυ-υπεροξειδάση (deoxy-PPO) (Whitaker and Lee, 1995). Το μοριακό οξυγόνο συνδέεται με την δεοξυ-υπεροξειδάση στις δύο ενεργές θέσεις του άνθρακα με αποτέλεσμα να δώσει την οξυ-οξειδάση (oxy-PPO). Στη συνέχεια, οι ενεργοί άνθρακες της oxy-PPO συνδέονται με δύο άτομα οξυγόνου που προέρχονται από την κατεχόλη καταλήγοντας στο σχηματισμό ενός ενδιάμεσου προϊόντος (Solomon et al., 1992). Η κατεχόλη μετασχηματίζεται σε ο-βενζοκινόνη και το ένζυμο ανάγεται σε met-PPO, το οποίο θα συνδεθεί με ένα άλλο μόριο κατεχόλης προς το σχηματισμό της κινόνης. Μετά από τη συγκεκριμένη αντίδραση, το ένζυμο έχει αναχθεί ξανά σε deoxy-PPO που λαμβάνοντας ένα μοριακό οξυγόνο μετατρέπεται σε oxy-PPO. Η οξυ-υπεροξειδάση είναι ικανή να προκαλέσει υδροξυλίωση στη φαινολική ένωση, εφόσον η ενεργή θέση άνθρακα της μονοφαινόλης συνδέεται με ένα άτομο οξυγόνο του ενζύμου. Το αποτέλεσμα μετά τη συνεισφορά του οξυγόνου από το σύμπλεγμα που έχει δημιουργηθεί είναι η παραγωγή της κατεχόλης και το ένζυμο αποσυνδέεται δίνοντας τελικά το προϊόν deoxy-PPO συνεχίζοντας τον κύκλο της διαδικασίας (Εικόνα 1.7-1.8).



Εικόνα 1.7: Γενικός μηχανισμός ενζυμικού μαυρίσματος (Taranto et al., 2017)



Εικόνα 1.8: Μηχανισμός οξειδάσης PPO (Mayer, 2006)

Μη Ενζυμικό μαύρισμα

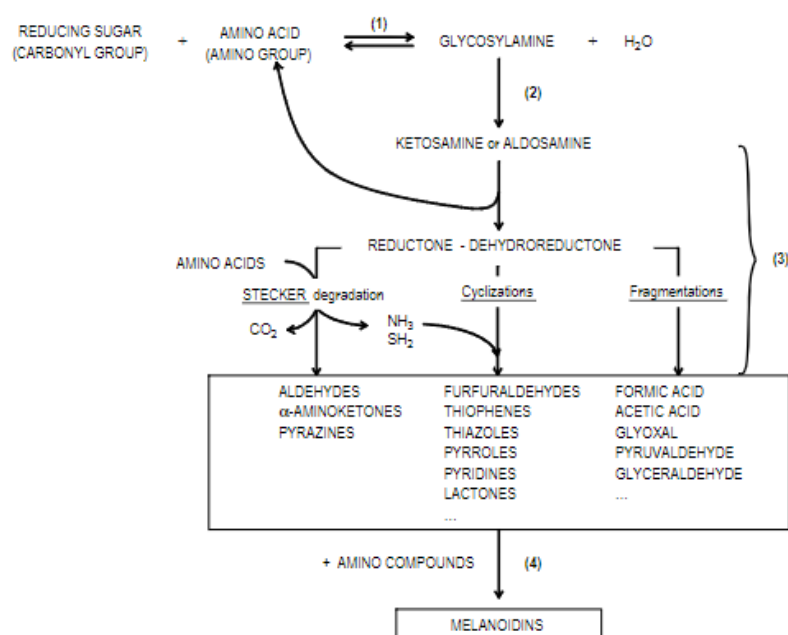
Το μη ενζυμικό μαύρισμα προκαλείται από μια ποικιλία χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν μέρος κατά την διάρκεια της προ-επεξεργασίας ή της αποθήκευσης των προϊόντων. Πρόκειται για μια σειρά αντιδράσεων που προσδίδουν στο τρόφιμο το καφέ χρώμα το οποίο υποβαθμίζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Το μη ενζυμικό μαύρισμα σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επιθυμητό όπως για παράδειγμα στο καβούρδισμα του καφέ, στους κόκκους κακάο, σε ψήσιμο κρέατος και σε μερικά τυριά, αλλά στην πλειοψηφία των προϊόντων είναι μια χημική διαδικασία που γίνεται προσπάθεια να αποφευχθεί διότι αλλοιώνει τα αισθητήρια χαρακτηριστικά (οσμή, γεύση) του τροφίμου. Ταυτόχρονα, εκτός των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών υποβαθμίζεται και η διατροφική αξία του τροφίμου. Αρκετά αμινοξέα αποικοδομούνται (π.χ. λυσίνη) και δημιουργούνται πολλές δυνητικά τοξικές ενώσεις (Croguennec, 2016)..

Το μη ενζυμικό μαύρισμα σχετίζεται πρωτίστως με την αντίδραση Maillard παρόλο που μια ποικιλία αντιδράσεων παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο για τις χημικές μεταβολές. Παραδείγματα αποτελούν η θερμική αποικοδόμηση των σακχάρων (καραμελοποίηση), η οξείδωση των φαινολών και αντιδράσεις που σχετίζονται με τη μαδροποίηση. Η αντίδραση Maillard ανακαλύφθηκε το 1912 από τον Louis Camille Maillard και αποτελείται από ένα περίπλοκο σύμπλεγμα αντιδράσεων. Πιο συγκεκριμένα, εμπεριέχονται αντιδράσεις μεταξύ αμινομάδων και ομάδων καρβονυλίου. Υπάρχει πληθώρα αντιδράσεων αυτού του είδους όπως η αφυδάτωση, η κυκλοποίηση, η ρετροαλδοποίηση, η αναδιάταξη, ο ισομερισμός και η συμπύκνωση. Παράγωγα των συγκεκριμένων αντιδράσεων είναι πτητικά, αρωματικά μόρια και καφέ αζωτούχα πολυμερή υψηλού μοριακού βάρους (μελανοϊδίνες). Οι παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της αντίδρασης, αφορούν τη φύση του υποστρώματος, τη θερμοκρασία, το pH, την ενεργότητα του νερού και την ύπαρξη ενεργοποιητών ή αναστολέων. Τα υποστρώματα που συμμετέχουν στην αντίδραση Maillard πρέπει να έχουν μια ελεύθερη καρβονυλομάδα ή μια μη-πρωτονιωμένη αμινοομάδα. Τα υποστρώματα αυτά ή υπάρχουν φυσικά μέσα στο τρόφιμο ή αναπτύσσονται κατά την αποθήκευση. Η καρβονυλομάδα βρίσκεται κυρίως στα σάκχαρα και είναι διαθέσιμη για αντίδραση όταν η υδατανθρική αλυσίδα του σακχάρου ευθυγραμμίζεται. Κυρίως στις αντιδράσεις συμμετέχουν μονοσακχαρίτες (π.χ. γλυκόζη, φρουκτόζη) και ορισμένοι

αναγωγικοί δισακχαρίτες (π.χ λακτόζη, μαλτόζη) ή ολιγοσακχαρίτες αλλά ακόμα και μη αναγωγικοί δισακχαρίτες (π.χ. σακχαρόζη) εάν υδρολυθούν. Ωστόσο, γενικότερα τα σάκχαρα (ακόμα και αν δεν είναι αναγωγικά) σε υψηλές θερμοκρασίες αποικοδομούνται και απουσία της αμινομάδας συμμετέχουν στο μη ενζυμικό μαύρισμα. Επιπλέον, διάφορες ενώσεις που μπορεί να δημιουργηθούν κατά την διαδικασία των οξειδωτικών διεργασιών (π.χ. οξείδωση λιπιδίων) διαθέτουν καρβονυλομάδα και συμμετέχουν εξίσου στην αντίδραση Maillard. Παραδείγματα τέτοιων ενώσεων αποτελούν ορισμένες πολυφαινόλες, το ασκορβικό οξύ, ουρονικά οξέα και διάφορες αλδεΐδες και κετόνες. Όσον αφορά την αμινομάδα, εκείνη συνήθως προέρχεται από ελεύθερα αμινοξέα ή την ε-αμινομάδα της λυσίνης σε πρωτοταγή δομή πρωτεΐνης. Επιπλέον, η πλευρική αλυσίδα της αργινίνης υπό ορισμένες συνθήκες δύναται να συμμετέχει στην αντίδραση Maillard όπως και η τερματική αμινομάδα των πρωτεϊνών της οποίας η συνεισφορά θεωρείται αμελητέα. Τέλος, δυνατότητα έναρξης της αντίδρασης Maillard έχουν το αμμώνιο και ορισμένες πρωτοταγείς και δευτεροταγείς αμίνες εφόσον μπορούν να προκαλέσουν αντίδραση με το καρβονύλιο (Croguennec, 2016).

Ο μηχανισμός του μη ενζυμικού μαυρίσματος περιλαμβάνει ένα ιδιαίτερα περίπλοκο σύμπλεγμα αντιδράσεων το οποίο μπορεί να καταταχθεί σε τέσσερις φάσεις ως εξής:

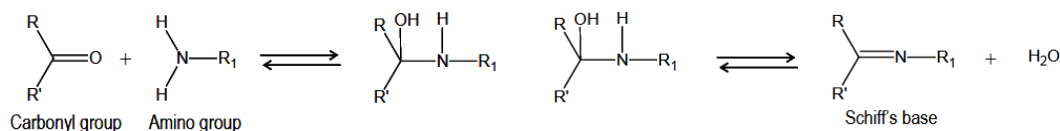
- Αντίδραση συμπύκνωσης της αμινομάδας με την καρβονυλομάδα
- Αναδιάταξη Amadori και Heyns
- Αποσύνθεση των κετοζαμινών
- Αντιδράσεις πολυμερισμού



Εικόνα 1.9: Αντιδράσεις μη ενζυμικού μαυρίσματος (Croguennec, 2016)

Η αντίδραση της συμπύκνωσης πραγματοποιείται μεταξύ μιας αμινομάδας και μια καρβονυλομάδας. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μια αντίδραση πυρηνόφιλης προσθήκης μιας πρωτογενούς ή δευτερογενούς αμινομάδας ενός αμινοξέος ή μιας πρωτεΐνης στην α-υδροξυκαρβονυλική ομάδα ενός αναγωγικού σακχάρου. Η συγκεκριμένη αντίδραση προσθήκης είναι δυνατή μόνο όταν η αμινομάδα έχει ένα μοναδικό ζεύγος ηλεκτρονίων και ευνοείται σε βασικό pH. Το προϊόν της αντίδρασης είναι εξαιρετικά ασταθές σε υδατικό διάλυμα και μετατρέπεται σε γλυκοζυλαμίνη (γνωστή ως «βάση του Schiff») και νερό όπως

φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1.10). Γενικότερα, οι αντιδράσεις με προϊόν τις γλυκοζυλαμίνες είναι αντιστρεπτές και φυσικά οι αντιδράσεις συμπύκνωσης ευνοούνται σε μερικώς υδατικό περιβάλλον. Το προϊόν γλυκοζυλαμίνης που παράγεται από τις αμίνες και τις πρωτεΐνες είναι σχετικά σταθερό ενώ αντίθετα εκείνο που παράγεται από τα αμινοξέα υποβάλλεται γρήγορα σε αναδιάταξη Amadori-Heyns λόγω της ύπαρξης καρβοξυλομάδας (Croguennec, 2016).

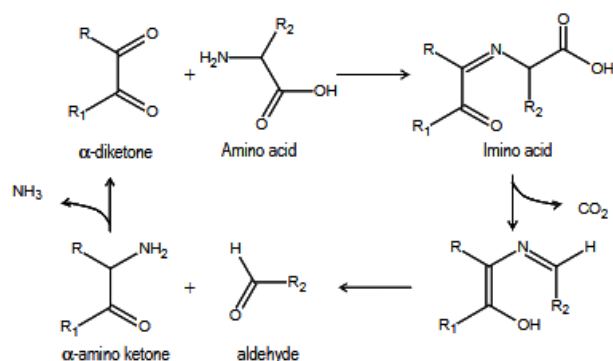


Εικόνα 1.10: Αντίδραση συμπύκνωσης & αντίδραση παραγωγής γλυκοζυλαμίνης (Croguennec, 2016)

Η αναδιάταξη Amadori – Heyns πρόκειται για ισομερίωση των γλυκοζυλαμινών. Με τον ισομερισμό αυτό προκύπτουν οι κετοζαμίνες εάν υπάρχει υπόστρωμα υδατάνθρακα αλδόζη (προϊόντα Amadori) ή οι αλδοζαμίνες εάν το αρχικό υπόστρωμα είναι κετόζη (προϊόντα Heyns). Σε κάθε περίπτωση, πρόκειται για προϊόντα πιο σταθερά ευαίσθητα όμως στην υψηλή θερμοκρασία. Σε αυτό το στάδιο η διαθέσιμη λυσίνη μειώνεται και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά αλλοιώνονται ελαφρώς. Το επόμενο στάδιο αφορά τη σταθερότητα των προϊόντων αυτών, τα οποία ενώ είναι σχετικά σταθερά μπορούν να υποστούν διάφορους μετασχηματισμούς όπως ενολίωση, αφυδάτωση, οξειδωση, κυκλοποίηση, αποκαρβοξυλοποίηση, ρετροαλδολιοποίηση κ.ά. Ωστόσο, οι τρεις κύριες αντιδράσεις που συνήθως συμβαίνουν είναι ο σχηματισμός ενώσεων καρβονυλίου, η υποβάθμιση Strecker και η ρετροαλδολιοποίηση.

Σχετικά με το σχηματισμό ενώσεων καρβονυλίου, πρόκειται για αντιδράσεις ενολοποίησης. Ουσιαστικά, τα παράγωγα της αναδιάταξης Amadori, δηλαδή οι κετοζαμίνες, μετατρέπονται αρχικά σε ενολικά προϊόντα και στη συνέχεια σε τελικό προϊόν, τις δεοξυγλυκοσόνες ενώσεις (δικαρβονυλιωμένες ενώσεις). Οι ενώσεις αυτές είναι εξαιρετικά δραστικές στην αντίδραση Maillard και απαιτούν όξινο pH για την δημιουργία τους. Εξαιτίας του pH αυτού και της ήπιας θέρμανσης η δικαρβονυλιωμένη ένωση (με προσθήκη 1,2) μπορεί να χάσει ένα μόριο νερού και μέσω κυκλοποίησης να δώσει μόρια φουρφουραλδεϋδης. Εάν στο μόριο γίνει προσθήκη 2,3 τότε τα τελικά προϊόντα της ενολοποίησης είναι αναγωγικά (1 μεθυλ-2,3-δικαρβονύλιο). Σε αυτή την περίπτωση, το pH πρέπει να είναι κοντά στην ουδέτερη τιμή και οι ενώσεις αυτές στη συνέχεια αποσυντίθενται αυτή τη φορά σε μια μεγάλη ποικιλία μονο- και δικαρβονυλικών ενώσεων όπως φουρανόνη, μαλτόλη και ισομαλτόλη.

Τα αναγωγικά προϊόντα που σχηματίζονται από την αποσύνθεση των κετοζαμινών αντιδρούν με την αμινομάδα των ελευθέρων αμινοξέων μέσω πυρηνόφιλης προσθήκης. Τα προϊόντα της αντίδρασης λέγονται ιμινοξέα και αφού αποκαρβοξυλιωθούν και υδρολυθούν δίνουν αλδεϋδες. Ταυτόχρονα, η δικαρβονυλική ένωση μετατρέπεται σε α-αμινοκετόνη που αποβάλλοντας ένα μόριο αμμωνίας η ένωση επαναφέρεται σε αναγωγική μορφή (Εικόνα 1.11). Η αποικοδόμηση Strecker είναι σημαντική γιατί παίζει ρόλο στην δημιουργία σημαντικών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών στο τρόφιμο όπως είναι το άρωμα και η γεύση. Ανάλογα με την προέλευση του αμινοξέος σχηματίζονται και διαφορετικά είδη αλδεϋδών με ανόμοιες αρωματικές ιδιότητες. Παραδείγματα αποτελούν οι θειαζόλες με χαρακτηριστικό τους την έντονη μυρωδιά λόγω της ύπαρξης θείου και οι πυρανίζες που συναντώνται κυρίως στα ψητά προϊόντα (κρέας, ψάρια) (Croguennec, 2016).



Εικόνα 1.11: Αποικοδόμηση Strecker (Croguennec, 2016)

Επιπλέον, παράλληλα με τις αντιδράσεις ενολοποίησης οι κετοζαμίνες ή τα δικαρβονυλικά τους παράγωγα μπορεί να υποστούν ρετροαλδολιοποίηση. Αφορά μόρια με 5 ή λιγότερα άτομα άνθρακα τα οποία μετατρέπονται σε διάφορα παράγωγα όπως φορμαλδεΐδη, μυρμηκικό οξύ, οξικό οξύ, γλυοξάλη, γλυκεραλδεΐδη, πυρουβαλδεΐδη και διάφορα είδη αλδεϋδών και κετονών. Ευνοούνται σε αλκαλικές ή ουδέτερες συνθήκες και είναι πάρα πολύ δραστικά με αποτέλεσμα να έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν σε αντιδράσεις αφυδάτωσης, οξείδωσης ακόμα και στην αποικοδόμηση του Strecker. Τέλος, συμβάλλουν στην ανάπτυξη του καφέ χρώματος στο τρόφιμο και σχηματίζουν αρωματικά μόρια.

Το τελευταίο στάδιο αφορά στις διαδοχικές αντιδράσεις πολυμερισμού όπου συμμετέχουν ενδιάμεσα προϊόντα που έχουν δημιουργηθεί κατά τα προγενέστερα στάδια της αντίδρασης Maillard. Με την διαδικασία του πολυμερισμού δημιουργούνται χρωστικές ουσίες υψηλού μοριακού βάρους που ονομάζονται μελανοΐδινες. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός πολυμερισμού τόσο μεγαλύτερη είναι και η ένταση του καφέ χρώματος. Οι μελανοΐδινες είναι αζωτούχες ενώσεις με επαναλαμβανόμενη αλυσίδα η οποία περιέχει φουράνιο, πυρρόλιο, ινδόλη, καρβονύλιο, αμίνη, αλκόολη, εστέρα, αιθέρα κ.ά. Η αλλαγή χρώματος φαίνεται να οφείλεται σε αντιδράσεις υποκατάστασης και προσθήκης που συμβαίνουν στο μόριο. Η παρουσία αμινοξέων επιταχύνει τις αντιδράσεις πολυμερισμού και φαίνεται να λειτουργεί σαν καταλύτης παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις παρεμποδίζεται εξαιτίας της ύπαρξης θειούχων ενώσεων. Για τη τελική μέτρηση της έντασης του χρώματος χρησιμοποιείται φωτόμετρο σε συνήθη μήκη κύματος 420-540 nm.

Φαίνεται λοιπόν πως το ενζυμικό και το μη ενζυμικό μαύρισμα αποτελούν σημαντικό ζήτημα για τις βιομηχανίες τροφίμων. Βασική προτεραιότητά τους είναι το τελικό προϊόν που θα διατεθεί για το καταναλωτικό κοινό να μην εμπεριέχει ίχνος καφέ χρώματος και στιγμάτων. Για την πατάτα συγκεκριμένα, εφόσον πρόκειται για μια πρώτη ύλη επιρρεπή σε παραγωγή μελανοΐδινών και γενικότερα προϊόντων μελανινών τίθεται θέμα όσον αφορά την διαδικασία αποθήκευσής της. Είναι απαραίτητο το υλικό της συσκευασίας, οι επικρατούσες συνθήκες εντός της συσκευασίας αλλά και οι εξωτερικές συνθήκες αποθήκευσης να επιβραδύνουν το φαινόμενο της αμαύρωσης (Croguennec, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ-ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΠΑΤΑΤΑΣ

Τα φρούτα και τα λαχανικά γενικότερα αποτελούν τρόφιμα ευαίσθητα σε ασθένειες. Για αυτό το λόγο, οι συνθήκες και τα υλικά συσκευασίας αποτελούν θέματα ύψιστης σημασίας για την διατηρησιμότητα του προϊόντος καθώς και την τελική ποιότητα. Σε αυτή την κατηγορία τροφίμων που ανήκουν και τα προϊόντα πατάτας, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα είδη βιοαποικοδομήσιμης συσκευασίας αποτελούμενα από φυσικά πολυμερή όπως το άμυλο, η πηκτίνη, η χιτοζάνη, οι γαλακτομαννάνες κ.ά. Επιπλέον, η τεχνολογία των μεμβρανών έχει θεωρηθεί πως παρατείνει κατά πολύ την διάρκεια ζωής των λαχανικών. Στα προϊόντα πατάτας μάλιστα, έχει μελετηθεί η περίπτωση χρήσης εδώδιμων μεμβρανών από τη φλούδα της πατάτας. Όλες αυτές οι κατηγορίες υποβοηθούν ώστε να αντικατασταθεί το πλαστικό και να μειωθεί η περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ωστόσο, οι επικρατούσες συνθήκες εντός της συσκευασίας αποτελούν έναν ακόμα κύριο παράγοντα διατήρησης των προϊόντων. Κύριες συσκευασίες που διατίθενται στο εμπόριο είναι η συσκευασία με ελεγχόμενο αέρα, η συσκευασία υπό κενό και η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Η κάθε μία από τις τρεις αυτές κατηγορίες διαφοροποιείται ανάλογα με τη σύσταση των αερίων και των συνθηκών εντός της συσκευασίας.

2.1 Αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (CAS)

Είναι γνωστό πως η παρουσία οξυγόνου σε μία συσκευασία επιταχύνει την διαδικασία της οξείδωσης του τροφίμου. Με άλλα λόγια, η βιομηχανική παραγωγή ήδη από τον 20^ο αιώνα προσπαθεί να δημιουργήσει της κατάλληλες συνθήκες με μειωμένη ποσότητα οξυγόνου και αυξημένη διοξειδίου του άνθρακα ώστε να βελτιώνεται η διατηρησιμότητα του προϊόντος. Η αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (Controlled atmosphere – CA) μελετήθηκε για πρώτη φορά της αρχές του 19^{ου} αιώνα στη Γαλλία από τον Jacques Etienne Berard ο οποίος παρατήρησε πως τα φρούτα διατηρούνταν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε συσκευασία με μειωμένη ποσότητα οξυγόνου (Dalrymple, 1969). Στα μέσα του 1990 ο συγκεκριμένος τρόπος αποθήκευσης είχε γίνει ευρέως γνωστός με της εφαρμογές παγκοσμίως. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως για φρούτα αρχικά, ωστόσο στη συνέχεια φαίνεται να επιβράδυνε την ωρίμανση ακόμα και ορισμένων λαχανικών (Prange et al., 2005).

Η αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα ουσιαστικά αποτελεί ένα είδος συσκευασίας που περικλείει το τρόφιμο και καθιστά συγκεκριμένες συνθήκες και αναλογίες των αερίων O₂, N₂ και CO₂ εντός της. Ταυτόχρονα, εμποδίζει τον εξωτερικό αέρα, υδρατμούς και άλλα αέρια να διαπεράσουν στο εσωτερικό και να διαταράξουν την ελεγχόμενη σύσταση. Με αυτό τον τρόπο, επιβραδύνονται αντιδράσεις οξείδωσης και παρατείνεται η διάρκεια ζωής του προϊόντος. Παρόλα αυτά, αποτελεί ένα είδος αποθήκευσης συνδεδεμένο με παροχή αερίου ώστε να μην αλλάζει η επιθυμητή αναλογία συστατικών στην ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει πως πρόκειται μια μέθοδο αποθήκευσης με δύσκολη εφαρμογή και φυσικά αν υπάρξει η παραμικρή φθορά στο υλικό της συσκευασίας οδηγεί σε απώλειες προϊόντος. Η αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα είναι μία αρκετά ακριβή διαδικασία και οι συνθήκες που χρειάζονται διαφέρουν ανάλογα το είδος του τροφίμου (Bodbodak and Moshfeghifar, 2016).

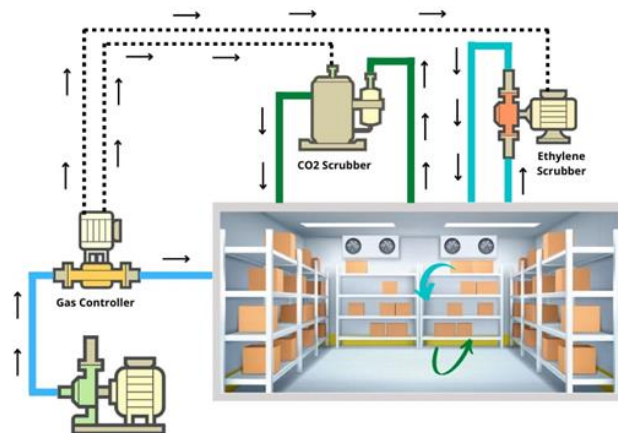
Τα κύρια αέρια που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο είδος αποθήκευσης, όπως αναφέρθηκαν, είναι το O₂, το N₂ και το CO₂. Το τελευταίο χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε επεξεργασμένη ατμόσφαιρα καθώς έχει αντιμικροβιακές ιδιότητες και επιδρά στην παραγωγή αιθυλενίου από της φυτικούς ιστούς. Είναι πολύ διαλυτό στο νερό και στα λιπίδια

και η διαλυτότητα του αυξάνεται καθώς η θερμοκρασία μειώνεται. Με την παρουσία διοξειδίου του άνθρακα στη συσκευασία μεταβάλλονται οι ιδιότητες στον κυτταρικό ιστό του τροφίμου ενώ ταυτόχρονα επιβραδύνεται ο μικροβιακός ρυθμός ανάπτυξης. Το οξυγόνο (O_2) από την άλλη βοηθάει στην αναστολή της ανάπτυξης αναερόβιων μικροοργανισμών αλλά ταυτόχρονα ευθύνεται για την ανάπτυξη αερόβιων προκαλώντας οξειδώσεις και μαύρισμα. Το οξυγόνο είναι απαραίτητο στα φρέσκα προϊόντα για να υπάρχει η δυνατότητα της κυτταρικής αναπνοής, ωστόσο η σύστασή του διαφοροποιείται από τρόφιμο σε τρόφιμο. Το άζωτο (N_2) είναι ένα αδρανές αέριο το οποίο χρησιμοποιείται για την πλήρωση της συσκευασίας χωρίς να έχει κάποιο ουσιαστικό ρόλο στην ωρίμανση του προϊόντος (Yang and Wang, 2014).

Η αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται κυρίως για μακροχρόνια και μαζική αποθήκευση πολλών προϊόντων. Συγκεκριμένα για τα φρούτα και τα λαχανικά οι παράγοντες που επηρεάζονται κατά την αποθήκευση είναι το χρώμα, η υφή, το άρωμα, η γέυση και οι μικροβιολογικοί παράγοντες. Σχετικά με το χρώμα, στην πατάτα ευθύνεται κυρίως το ενζυμικό μαύρισμα ενώ στα φυλλώδη λαχανικά παίζει ρόλο η μείωση της χλωροφύλλης και άλλων χρωματικών ενώσεων. Το διοξείδιο του άνθρακα, εάν βρίσκεται στην κατάλληλη αναλογία στη συσκευασία, μπορεί να βοηθήσει στην αναστολή της οξείδωσης και κατά συνέπεια του ενζυμικού μαυρίσματος. Η υφή σχετίζεται κυρίως με το «μαλάκωμα» του προϊόντος εξαιτίας της διαλυτοποίησης ορισμένων συστατικών. Το άρωμα διαφοροποιείται κατά την αποθήκευση λόγω της διαφοροποίησης στη σύσταση των αρωματικών ενώσεων κατά τα στάδια της ωρίμανσης και η γεύση εξαρτάται από διάφορες χημικές διαδικασίες που συμβαίνουν όπως η αποικοδόμηση του αμύλου και η αποκαρβοξυλίωση οργανικών οξέων (Yang and Wang, 2014).

Ανάλογα το προϊόν που συσκευάζεται και τα φυσικά του χαρακτηριστικά επιλέγονται τα κατάλληλα αέρια και η σύστασή της. Πιο συγκεκριμένα, το οξυγόνο σε ποσοστά $< 10\%$ μειώνει το ρυθμό αναπνοής των φυτών για αυτό προτιμάται μία αναλογία 1-3%. Κάθε προϊόν ωστόσο, έχει ένα συγκεκριμένο όριο επιθυμητού οξυγόνου κάτω από το οποίο δεν αναπτύσσονται οι αερόβιοι μικροοργανισμοί. Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται σε ποσότητες μεγαλύτερες από της υπάρχουσες του αέρα καθώς βοηθάει στη μείωση του ρυθμού αναπνοής, στην ανάπτυξη μικροοργανισμών και στην παραγωγή αιθυλενίου. Ωστόσο, αν χρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό μπορεί να γίνει τοξικό και ομοίως έχει ορισμένα ανώτατα όρια χρήσης για κάθε τρόφιμο. Το άζωτο είναι ένα αδρανές αέριο που δεν επηρεάζει σε κανένα βαθμό την ωρίμανση του προϊόντος και η σύσταση που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τα άλλα δύο αέρια. Στο εμπόριο, οι τρεις κύριες κατηγορίες συστημάτων ελεγχόμενης ατμόσφαιρας που χρησιμοποιούνται είναι τα συστήματα ελέγχου οξυγόνου, τα συστήματα ελέγχου διοξειδίου του άνθρακα και τα συστήματα ελέγχου αιθυλενίου. Τα ποσοστά των αερίων ελέγχονται περιοδικά και γίνεται εισαγωγή καθαρού αέρα ή αδρανούς αζώτου ή κάποιας χημικής ουσίας που απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Κατά την αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα στο τρόφιμο δεν αναπτύσσονται μικροοργανισμοί που προκαλούν αλλοίωση, μειώνεται η κυτταρική αναπνοή και ελέγχεται η παραγωγή αιθυλενίου. Πιο αναλυτικά, οι επιπτώσεις που προκαλούνται συμπεριλαμβάνουν τη μείωση της απώλειας χλωροφύλλης, τη μείωση της συσσώρευσης χρωστικών της οι ανθοκυανίνες και το λυκοπένιο, αποφυγή μαυρίσματος και μαλακώματος του τροφίμου καθώς και μειωμένες απώλειες ζάχαρης και οξέος (Yang and Wang, 2014).

Controlled-Atmosphere Storage (CAS)



Εικόνα 2.1: Αποθήκευση με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Για την πατάτα συγκεκριμένα, η συνήθης θερμοκρασία αποθήκευσης είναι 4 °C έτσι ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία των μετασυλλεκτικών ασθενειών και να μην αλλοιώνονται. Ωστόσο, ανάλογα την μετέπειτα επεξεργασία των κονδύλων της πατάτας η θερμοκρασία αυτή δεν είναι πάντοτε η κατάλληλη καθώς μπορεί να δημιουργηθούν βλάβες ψύχους. Σημαντικό, της είναι και το θέμα της αναλογίας οξυγόνου (O_2) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Χρησιμοποιείται μειωμένη ποσότητα οξυγόνου 3-5% και πιο αυξημένη ποσότητα διοξειδίου 3-9%. Ωστόσο, έχει βρεθεί πως η αναλογία 3% O_2 και 12% CO_2 σε κατάλληλη θερμοκρασία αποθήκευσης επιβραδύνει την διαδικασία της βλάστησης, μειώνει την κυτταρική αναπνοή των κονδύλων και ελαχιστοποιεί την απώλεια βάρους. Το σημαντικό αρνητικό στοιχείο της αποθήκευσης σε συνθήκες ελεγχόμενης ατμόσφαιρας είναι ότι απαιτούνται μεγάλοι αεροστεγείς χώροι και δε συμφέρει οικονομικά.

Φαίνεται επομένως, πως η αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα στα προϊόντα της πατάτας είναι μια διαδικασία η οποία συνήθως δεν υφίσταται σε πρακτικό επίπεδο στο εμπόριο. Αποθηκεύονται σε ορισμένες περιπτώσεις μόνο οι κόνδυλοι πατάτας αφού συλλεχθούν και όχι τα τελικά προϊόντα. Δηλαδή, η ελεγχόμενη ατμόσφαιρα είναι μια διαδικασία που συμπεριλαμβάνεται κυρίως στην αποθήκευση της πρώτης ύλης με σκοπό την αποφυγή αλλοιώσεων και ασθενειών. Σχετικά με το θέμα της συσκευασίας και την διάθεση των προϊόντων στο εμπόριο, η επιστήμη έχει αξιοποιήσει εναλλακτικές περιπτώσεις αποθήκευσης οι οποίες είναι οικονομικά πιο συμφέρουσες και αυξάνουν την διατηρησιμότητα του τροφίμου. Χρησιμοποιούνται διαφορετικές συσκευασίες με τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) οι οποίες ουσιαστικά αντικαθιστούν τις συσκευασίες ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (CAP), ενώ πολλές φορές οι δύο αυτοί όροι συγχέονται.

2.2 Συσκευασία υπό κενό (Vacuum)

Η συσκευασία υπό κενό είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια με εφαρμογή σε αρκετά είδη φρούτων και λαχανικών. Ήδη από τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η πλαστική συσκευασία είχε γίνει ευρέως γνωστή και χρησιμοποιούνταν για διάφορα γαλακτοκομικά προϊόντα (Holderbaum et al., 2010). Ωστόσο, το μείζον ζήτημα ήταν η ύπαρξη του αέρα η οποία προκαλούσε οξειδώσεις στα τρόφιμα με αποτέλεσμα το μειούμενο χρόνο ζωής τους. Σήμερα, η χρήση της συσκευασίας υπό κενό συνεισφέρει στην διατήρηση των προϊόντων χωρίς να επιφέρει προβλήματα στην υγεία του καταναλωτή. Πρόκειται για μια συσκευασία η οποία ως απώτερο σκοπό έχει την διατήρηση των προϊόντων και τη μη αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους. Επιβραδύνονται οι αντιδράσεις οξείδωσης και επιπλέον δεν αναπτύσσονται αερόβιοι μικροοργανισμοί όπως π.χ. μούχλα. Αυτό συμβαίνει διότι η συσκευασία υπό κενό δεν περιέχει καθόλου αέρα και επομένως οξυγόνο (Perdue, 2009). Ταυτόχρονα, προσφέρει μείωση του όγκου και βέλτιστη μεταφορά θερμότητας. Η διαδικασία συσκευασίας υπό κενό περιλαμβάνει την τοποθέτηση του τροφίμου σε πλαστική μεμβράνη και στη συνέχεια αφαίρεση του αέρα από το εσωτερικό ώστε το υλικό να έρχεται σε επαφή με το προϊόν. Με τη στεγανοποίηση της τελικής συσκευασίας το τρόφιμο διατηρείται σε ένα περιβάλλον παρουσία ενός χαμηλού ποσοστού οξυγόνου για αυτό και η συσκευασία υπό κενό αλλιώς ονομάζεται συσκευασία μειωμένου οξυγόνου (Reduced Oxygen Packaging-ROP).

Η συσκευασία υπό κενό σκοπεύει στην επιβράδυνση ανεπιθύμητων χημικών αντιδράσεων διαφόρων οργανικών ενώσεων που προκαλούν αλλοιώσεις στο τελικό προϊόν. Το οξυγόνο εντός της συσκευασίας δεν είναι σε μηδενικά επίπεδα καθώς παρότι ο αέρας αφαιρείται δεν γίνεται να επιτευχθεί απόλυτο κενό. Σκοπός του κενού που δημιουργείται είναι να διασφαλιστεί ότι το άρωμα, η γεύση και η θρεπτική αξία δε θα χαθούν κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι μηχανών και διαφορετικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία υπό κενό. Στα εξωτερικά σφραγιστικά κενού που χρησιμοποιούνται η σακούλα είναι προσδεμένη στο μηχάνημα χειροκίνητα και ο αέρας αφαιρείται. Άλλη κατηγορία είναι ο ενιαίος και ο διπλός θάλαμος κενού όπου ολόκληρη η συσκευασία τοποθετείται μέσα στο θάλαμο, κλείνει το καπάκι και μέσω της θερμοκόλλησης σφραγίζεται. Η μόνη διαφορά τους είναι ότι στον διπλό θάλαμο κενού υπάρχουν περισσότεροι θάλαμοι στεγανοποίησης υπό κενό. Επίσης, υπάρχουν ο αυτόματος θάλαμος κενού ζώνης που το προϊόν προχωράει από τη ζώνη και στο τέλος σφραγίζεται αφού ελευθερωθεί ο αέρας, η μηχανή συσκευασίας κενού θερμοδιαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες με μαζική παραγωγή και έχει προσχεδιασμένη τη συσκευασία από ρολά μεμβράνης και τη μηχανή θαλάμου έκπλυσης αερίου που είναι απαραίτητη για προϊόντα που δεν πρέπει να υπάρχει οξυγόνο στη συσκευασία αλλά και να μην είναι συμπιεσμένα σφιχτά (Singh et al., 2019).

Γενικά, η συσκευασία υπό κενό βασίζεται σε δύο πολύ σημαντικούς παράγοντες: τα χαρακτηριστικά των προϊόντων που συσκευάζονται και την αξιοπιστία της μηχανής και του υλικού που χρησιμοποιούνται. Ο τρόπος που θα συσκευαστεί ένα τρόφιμο υπό κενό εξαρτάται από τη φύση του και την δομή του. Τα κοκκώδη προϊόντα που έχουν εγκλεισμένο αέρα χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να συσκευαστούν ή αντίστοιχα προϊόντα σε μορφή σκόνης είναι πολύ δύσκολο να συσκευαστούν υπό κενό καθώς ποσότητα μπορεί να χαθεί από τη ροή του αέρα. Το υλικό επίσης πρέπει να είναι αρκετά στεγανό ώστε να μην εξέρχεται και να εισέρχεται αέρας. Κυρίως χρησιμοποιούνται πλαστικά πολυμερή και παράγωγά τους όπως PET, PE (πολυαιθυλένιο), PVDC (πολυβινυλοχλωρίδιο) κ.ά. Άρα, τα συνολικά πλεονεκτήματα της συσκευασίας υπό κενό είναι ότι διατηρεί το προϊόν με διάρκεια ζωής 3-

5 φορές μεγαλύτερη, δεν αλλοιώνονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και η διατροφική αξία, επιβραδύνεται η ανάπτυξη αερόβιων μικροοργανισμών, είναι οικονομικά συμφέρουσα λύση και επιπλέον εξοικονομεί χώρο για αποθήκευση. Από την άλλη δε, δεν αφαιρείται ολόκληρη η ποσότητα του οξυγόνου, δεν επηρεάζει την ανάπτυξη αναερόβιων μικροοργανισμών και τα συσκευασμένα προϊόντα μπορούν να δημιουργήσουν φθορές στη συσκευασία όταν αποθηκεύονται σε μεγάλες ποσότητες (Singh et al., 2019).

Τα προϊόντα πατάτας έχει αποδειχθεί πως διατηρούνται περισσότερο σε συσκευασία υπό κενό με έλλειψη οξυγόνου. Η ωμή πατάτα αφού κόβεται και τοποθετείται στο νερό δύναται να συσκευαστεί υπό κενό. Συγκεκριμένα, θεωρείται πως η συσκευασία υπό κενό είναι μια διαφορετική μέθοδος αύξησης της διάρκειας ζωής της πατάτας χωρίς να χρειάζεται κάποια χημική μέθοδο προ-επεξεργασίας. Παρόλα αυτά συνήθως η συσκευασία και η χημική προ-επεξεργασία λειτουργούν συνεργιστικά (Rocha et al. 2003). Ανάλογα και την περίπτωση χρησιμοποιείται και διαφορετικό υλικό με το PE (πολυαιθυλένιο) να είναι το επικρατέστερο. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί πως σε συσκευασία υπό κενό τα τελικά αποτελέσματα σχετικά με την ποιότητα των προϊόντων είναι ελαφρώς καλύτερα από τη συσκευασία σε αδρανή ατμόσφαιρα με 100% άζωτο (N_2). Τέλος, φαίνεται πως το καταναλωτικό κοινό επιθυμεί να αγοράσει προϊόντα πατάτας που συσκευάζονται υπό κενό λόγω λιγότερης εσωτερικής υγρασίας (Levaj et al., 2023).



Εικόνα 2.2: Φρέσκες αποφλοιωμένες πατάτες διαθέσιμες στο εμπόριο σε συσκευασία υπό κενό (Scotch chip)

2.3 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP)

Η ανάγκη των καταναλωτών για την υιοθέτηση μιας πιο υγιεινής καθημερινής διατροφής με αυξημένο βαθμό ευκολίας στην προετοιμασία των γευμάτων οδήγησε στην ανάπτυξη των φρεσκοκομμένων προϊόντων (Pollack, 2001). Το θέμα της βιομηχανίας επομένως ήταν να βρεθεί μια λύση ώστε το τελικό προϊόν να διατηρείται φρέσκο χωρίς αλλοιώσεις στα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά. Τη λύση φαίνεται να έδωσε η τροποποίηση της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό της συσκευασίας λαμβάνοντας υπόψιν τη επιβράδυνση της

ωρίμανσης των προϊόντων. Η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Modified Atmosphere Packaging – MAP) θεωρείται μία από τις πιο επιτυχημένες εφευρέσεις στον κλάδο της συσκευασίας σχετικά με την διατηρησιμότητα των φρέσκων προϊόντων (Zhuang et al., 2014). Ήδη από το 1821 έχουν βρεθεί έρευνες που σχετίζονται με την διατηρησιμότητα των τροφίμων σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Robertson, 2005; Zhuang, 2011). Ωστόσο, η καταγεγραμμένη ιστορία της συσκευασίας ξεκίνησε από το 1920 που μελετήθηκε η αύξηση της διατηρησιμότητας σε μήλα χρησιμοποιώντας μειωμένη ποσότητα οξυγόνου και αυξημένη διοξειδίου του άνθρακα σε συσκευασία (Phillips, 1996). Το 1940 πρωτοεμφανίζονται στην αγορά οι πρώτες συσκευασίες MAP (Mir and Beaudry, 2003; Zhuang, 2011) και από το 1980 και έπειτα η MAP συσκευασία ερευνάται σε βάθος και εισέρχεται πολύ πιο δυναμικά στο εμπόριο με σκοπό την διατήρηση προϊόντων φρούτων και λαχανικών στην αγορά. Στην αρχή το συγκεκριμένο είδος συσκευασίας χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση και διατήρηση κρέατος (Inns, 1987), όμως οι έρευνες επικεντρώθηκαν κυρίως σε λαχανικά και φρούτα και κυρίως σε φρεσκοκομμένα προϊόντα. Εξαιτίας της κυτταρικής αναπνοής των φυτικών ιστών, η χρήση των MAP είναι εξαιρετικά ευαίσθητη σε τέτοιου είδους προϊόντα. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση δε λαμβάνεται υπόψιν μόνο η αναλογία οξυγόνου και διοξειδίου στο εσωτερικό της συσκευασίας αλλά και η αναπνευστική δραστηριότητα των συσκευασμένων τροφίμων (Jayanty et al., 2005).

Η συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα γενικά ορίζεται ως μια μέθοδος συσκευασίας προϊόντος κατά την οποία δημιουργείται ατμόσφαιρα που επιβραδύνει χημικές διαδικασίες και την ανάπτυξη οργανισμών αλλοίωσης. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο και σε ορισμένες περιπτώσεις διοξείδιο του θείου. Η έλλειψη οξυγόνου αποσκοπεί, όπως και στις υπόλοιπες συσκευασίες, στην επιβράδυνση φυσικοχημικών φαινομένων και ιδιαιτέρως στα φρούτα και λαχανικά στην καθυστέρηση του ενζυμικού μαυρίσματος (Blakistone, 1998). Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται στη MAP συσκευασία επειδή έχει την ιδιότητα να αναστέλλει την δράση ορισμένων αερόβιων μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοιώσεις στη γεύση και στην οσμή σε ψάρια, πουλερικά και κρέας (π.χ. *Pseudomonas spp.*). Στα φρούτα και στα λαχανικά ύπαρξή του υποβοηθάει στην αναστολή της κυτταρικής αναπνοής και σε ποσοστά άνω του 1% ο φυτικός ιστός δεν επηρεάζεται από το αιθυλένιο που προκαλεί ωρίμανση. Παρόλα αυτά σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην οσμή των προϊόντων, να αναπτυχθεί υδατική φάση και να απορροφάται από αυτή το αέριο δημιουργώντας αποχρωματισμό. Το άζωτο είναι το αδρανές αέριο που αντικαθιστά το οξυγόνο και δεν προκαλεί πρόβλημα στη συσκευασία. Επιβραδύνει την αλλοίωση εξαιτίας της ανάπτυξης αερόβιων μικροοργανισμών και δεν καταστρέφει την δράση της συσκευασίας λόγω της χαμηλής διαλυτότητάς του στο νερό και στις λιπαρές φάσεις του τροφίμου. Τέλος, σπάνια χρησιμοποιείται και διοξείδιο του θείου σε ορισμένα προϊόντα όπως σε χυμούς, κρασί, γαρίδες, πίκλες και σε μερικά λουκάνικα. Επιβραδύνει την ανάπτυξη της μούχλας και βακτηρίων σε αρκετά μαλακά φρούτα όπως σταφύλια αλλά και σε αποξηραμένα (Blakistone, 1998).

Η συσκευασία MAP είναι μια εύκολη, φθηνή λύση που στοχεύει στην παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων. Για αυτό τον λόγο, σημαντική εκτός από την αναλογία των κατάλληλων αερίων, είναι και η επιλογή του σωστού υλικού που θα χρησιμοποιηθεί στη συσκευασία. Συνήθως χρησιμοποιούνται εύκαμπτα και ημιάκαμπτα πλαστικά καθώς και πλαστικά ελάσματα. Τα πλαστικά υλικά έχουν σημαντικές ιδιότητες όπως η καλή διαύγεια, η θερμοσυγκόλληση και η αντοχή γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για υλικά συσκευασίας MAP. Ωστόσο, κάθε τρόφιμο δεν πρέπει να συσκευάζεται με την ίδια συσκευασία χρησιμοποιώντας το ίδιο υλικό. Συνήθως χρησιμοποιούνται πολυστρωματικές συσκευασίες

από διαφορετικά πλαστικά υλικά. Τα πιο συνήθη για τη συσκευασία MAP είναι η αιθυλενοβινυλική αλκοόλη (EVOH), το πολυαιθυλένιο (PE), τα πολυαμίδια ή νάιλον (PA), το τереφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυστυρένιο (PS), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και το πολυβινυλιδενοχλωρίδιο (PVdC). Η παραγωγή της συσκευασίας MAP πραγματοποιείται από ειδικές μηχανές ανάλογα τις συνθήκες και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Μερικά παραδείγματα είναι: οι μηχανές θαλάμου, οι μηχανές αναπνευστήρα και οι μηχανές φόρμας-πλήρωσης-σφράγισης. Οι δύο πρώτες λειτουργούν με την ίδια αρχή (δημιουργία κενού, φύσημα αερίου και θερμοσυγκόλληση) ενώ η τρίτη συναντάται συχνά στη βιομηχανία τροφίμων και έχει πιο περίπλοκο σχεδιασμό. Γενικότερα, η συσκευασία MAP εκτός από την διατηρησιμότητα σα στόχο έχει και την διατήρηση της ποιότητας του τροφίμου. Αυτό επιτυγχάνεται πρωτίστως με τις σωστές συνθήκες υγιεινής και συντήρησης αλλά και με την τήρηση των απαραίτητων ορίων σχετικά με τα αέρια της συσκευασίας. Συγκεκριμένα, για τα φρούτα και τα λαχανικά το οξυγόνο οφείλει να είναι σε πολύ χαμηλά ποσοστά. Ωστόσο, πολύ χαμηλά ποσοστά οξυγόνου προκαλούν την αναερόβια αναπνοή με αποτέλεσμα την ανάπτυξη δυσάρεστων οσμών και γεύσης στα προϊόντα. Η πατάτα θεωρείται πως αυξάνει την αναερόβια αναπνοή της σε ποσοστά οξυγόνου μικρότερα από 5%. Μειώνοντας το ποσοστό οξυγόνου κάτω από 5% φαίνεται πως οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με ταχύ ρυθμό. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στην αναερόβια ανάπτυξη μικροοργανισμών παίζουν και τα ποσοστά του διοξειδίου του άνθρακα. Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου μειώνουν την αναερόβια αναπνοή, ωστόσο αν υπερβούν συγκεκριμένα όρια έχουν τα αντίθετα αποτελέσματα προκαλώντας ποιοτικά προβλήματα. Η ανεκτικότητα κάθε τροφίμου εξαρτάται πάντα από το είδος και την ποικιλία. Πάντα όμως η συσκευασία MAP πρέπει να συνοδεύεται από την αποθήκευση σε σωστή θερμοκρασία για να επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα (Mullan and McDowell, 2011). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως εφόσον οι κόνδυλοι πατάτας έχουν την προοπτική διατήρησης για μεγάλο χρονικό διάστημα, η πιθανότητα να διατηρούνται οι φρέσκιες κομμένες πατάτες σε συσκευασία επεξεργασμένης ατμόσφαιρας είναι πολύ μεγάλη (Abdalgawad et al., 2023).



Εικόνα 2.3: Πατάτες σε συσκευασία MAP (Tesco Welsh Miniature Potatoes 750G)

2.4 Προϊόντα πατάτας στο εμπόριο

Η πατάτα λόγω των χαρακτηριστικών της και της διατροφικής της αξίας, θεωρείται ένα πολύ σημαντικό είδος λαχανικού παγκοσμίως. Η καλλιέργεια της είναι μία από τις πιο οικονομικές λύσεις στον αγροτικό τομέα και η παραγωγή της είναι πολύ μεγάλη. Για αυτό το λόγο το συγκεκριμένο προϊόν απευθύνεται σε όλο τον κόσμο, δηλαδή σε όλα τα κοινωνικά στρώματα και η βιομηχανία τροφίμων στοχεύει στην ανάπτυξη και προώθηση προϊόντων πατάτας. Σήμερα, εκατό πενήντα χώρες παγκοσμίως καλλιεργούν πατάτες κατέχοντας την τέταρτη μεγαλύτερη ετήσια παραγωγή πρώτης ύλης μετά το καλαμπόκι, το σιτάρι και το ρύζι. Αυτή η μεγάλη ζήτηση και αγορά του προϊόντος τα τελευταία χρόνια έχει ενισχυθεί εξαιτίας της ύπαρξης αρκετών ειδών πατάτας, της βελτίωσης της συσκευασίας και φυσικά λόγω της ευκολίας που παρέχεται στον καταναλωτή (Caliskan et al., 2022). Διάφορα είδη πατάτας, κατεψυγμένες πατάτες ακόμα και φρέσκιες πατάτες υπό κενό. Οι κατεψυγμένες πατάτες, τα πατατάκια και οι αφυδατωμένες πατάτες φαίνεται να είναι τα πιο δημοφιλή προϊόντα πατάτας που κυκλοφορούν στην αγορά. Επιπλέον, ενδιαφέρον φαίνεται να παρουσιάζει και η ζήτηση για κομμένες φρέσκιες πατάτες για σαλάτες. Κάθε εταιρεία παραγωγής, ωστόσο, οφείλει να τηρεί τα υγειονομικά πρωτόκολλα και τους κανόνες ασφαλείας (HACCP) για να μην υπάρξει πρόβλημα στην αλλοίωση των συγκεκριμένων μικροβιολογικά ευαίσθητων προϊόντων (Navarre and Pavek, 2014).

Το 1950 η εταιρεία J.R Simpson στην Αμερική ανέπτυξε τις κατεψυγμένες-προτηγανισμένες πατάτες που προορίζονταν για τα εστιατόρια γρήγορου φαγητού. Από τις κατεψυγμένες πατάτες το 80% των καταναλωτών προτιμάει την κατηγορία των προτηγανισμένων πατατών (French Fries). Φαίνεται πως τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προϊόντος είναι ύψιστης σημασίας, καθώς το κοινό επιλέγει βάσει χρώματος και γεύσης. Η διαδικασία παραγωγής συμπεριλαμβάνει στάδια όπως το κόψιμο, το ζεμάτισμα αλλά και το πιο σημαντικό που είναι το τηγάνισμα. Οι πατάτες αφήνονται να ζεματιστούν σε νερό ή σε ατμό στους 95 °C για περίπου 5 λεπτά. Στη συνέχεια, τηγανίζονται για 90 δευτερόλεπτα περίπου σε καυτό λάδι στους 177-190 °C. Το στάδιο αυτό ονομάζεται μερικό τηγάνισμα και η θερμοκρασία και ο χρόνος που ορίζονται ποικίλουν ανάλογα το επιθυμητό προϊόν. Για παράδειγμα, οι προτηγανισμένες πατάτες που προορίζονται για ψήσιμο στο φούρνο τηγανίζονται πλήρως (5 min, 180 °C) ενώ οι μερικώς τηγανισμένες πατάτες απαιτούν λιγότερο χρόνο (3 min). Βάσει του χρόνου τηγανίσματος ορίζονται και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προτηγανισμένου προϊόντος εφόσον το πιο σκούρο χρώμα υποδηλώνει μεγαλύτερο χρόνο κατά τη θερμική επεξεργασία. Το προϊόν αξιολογείται ανάλογα με το χρώμα του από 0 (πολύ φωτεινό) έως 4 (σκοτεινό). Επιπλέον, η συσκευασία και η τελική χρήση ορίζει και τον τύπο κοψίματος της πατάτας που μπορεί να είναι λωρίδες, κύβοι ή ροδέλες. Γενικότερα, η προτηγανισμένη πατάτα παραμένει πρώτη στην προτίμηση των εστιατορίων λόγω της χαμηλής τιμής της αλλά και του χρόνου επεξεργασίας της κατά τη μαγειρική διαδικασία. Παγκοσμίως, η κατανάλωση προτηγανισμένων προϊόντων πατάτας ανέρχεται σε 40 - 45 MT (U.S Department of Agriculture, 1998) και τα έσοδα από την αγορά σε 16,38 δισεκατομμύρια δολάρια. Μάλιστα, το 2024 αναμένεται τα έσοδα να αυξηθούν σε 17,45 δισεκατομμύρια δολάρια λόγω της επέκτασης των εστιατορίων γρήγορου φαγητού και την προτίμηση τους από τον κόσμο (French Fries Global Market, 2024). Στην Ελλάδα, το προϊόν αυτό υπάρχει στην αγορά αλλά δεν προτιμάται σε μεγάλο βαθμό από τους καταναλωτές, παρόλο που η χώρα έχει ετήσιο ποσοστό κατανάλωσης πατάτας 45,9 κιλά κατά κεφαλήν σύμφωνα με έρευνα του 2021 (FAOSTAT, 2022).

Τα πατατάκια (chips ή crisps) είναι ένα ακόμα πολύ γνωστό προϊόν πατάτας παγκοσμίως. Ανακαλύφθηκαν το 1850 από έναν Αμερικανό σεφ στη Νέα Υόρκη. Πρόκειται για

τηγανισμένες φέτες πατάτας (συγκεκριμένα *deep-fried*) με περίπου 2% υγρασία και διατίθενται σε διάφορες γεύσεις όπως ρίγανη, αλάτι, *barbeque* κ.ά. Κατά την διαδικασία επεξεργασίας της πατάτας απαιτείται μεγάλη προσοχή στο ξεφλούδισμα καθώς δεν πρέπει να αφαιρείται ο φλοιώδης ιστός που περιέχει το μεγαλύτερο μέρος των στερεών. Οι φέτες ξεπλένονται για να αφαιρεθεί το άμυλο και να μην κολλάνε μεταξύ τους και στη συνέχεια πραγματοποιείται ψεκασμός με διαφορετικά αρωματικά συστατικά. Ανάλογα το ποσοστό στερεού του προϊόντος προσαρμόζονται κατάλληλα οι συνθήκες τηγανίσματος και η διαχείριση του ελαίου που απαιτείται. Μεγαλύτερη ποσότητα στερεών στη φέτα πατάτας επιφέρει υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερη απορρόφηση ελαίου. Το τελικό προϊόν αποκτά μια τραγανή υφή και συσκευάζεται σε ειδικά διαμορφωμένα σακουλάκια.

Μία άλλη κατηγορία προϊόντων αποτελούν οι αφυδατωμένες πατάτες. Υπάρχουν πολλά είδη της συγκεκριμένης κατηγορίας όπως λιαστές πατάτες, αποξηραμένες πατάτες με ζεστό αέρα και αποξηραμένες πατάτες με έγχυμα. Η ανάγκη ανάπτυξης των αφυδατωμένων προϊόντων έγκειται στο θέμα της διατηρησιμότητας και του ενζυμικού μαυρίσματος. Χρησιμοποιώντας διάφορα οξέα όπως νατρίου, ασκορβικό, κιτρικό αλλά και διάφορες άλλες ουσίες (όξινο θειώδες νάτριο, πυροφοσφωρικό οξύ νατρίου) διατηρούνται χαρακτηριστικά όπως το χρώμα και η γεύση. Οι πατάτες καθαρίζονται και κόβονται και στη συνέχεια εμβαπτίζονται σε νερό για την αποφυγή μαυρίσματος. Περνάνε από μια διαδικασία επεξεργασίας με ξηρό αέρα, τηγανίζονται, προστίθεται αλάτι και συσκευάζονται. Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται σε κονσερβοποιημένες σούπες, πατατοσαλάτες, μίγματα για ζυμαρικά ακόμα και ως υποκατάστατο καλαμποκιού. Επιπλέον, ένα ακόμη προϊόν της ίδιας κατηγορίας που πωλείται παγκοσμίως είναι οι νιφάδες πατάτας. Πρόκειται για αφυδατωμένες πατάτες με ποσοστό υγρασίας 10% οι οποίες αν εμβαπτιστούν σε ζεστό νερό επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση. Κατά την επεξεργασία τους, προηγείται το προψήσιμο στους 71 °C για 20 min που δημιουργεί τη ζελατινοποίηση του αμύλου και κατά συνέπεια την αποικοδόμηση του κυτταρικού ιστού. Τέλος, πολύ γνωστό προϊόν αποτελεί ο έτοιμος παρασκευασμένος πουρές πατάτας όπου πρόκειται για μια σκόνη αποτελούμενη από πατάτα και συντηρητικά.

Η θερμοκρασία δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλή για να μην μαλακώσει η πατάτα και στη συνέχεια το προϊόν πρέπει να ψυχθεί για να απομακρυνθεί το επιφανειακό άμυλο. Έπειτα, οι πατάτες ψήνονται στους 90-95 °C για 30-35 min για να μην υπάρχει ρήξη κυττάρων και οι πατάτες κατευθείαν πολτοποιούνται για να μην κρυσώσουν και ευνοηθεί το φαινόμενο αυτό. Τέλος, χρησιμοποιούνται πρόσθετα που περιλαμβάνουν χηλικούς παράγοντες, στερεά γάλακτος, αντιοξειδωτικά και διοξείδιο του θείου. Η ξήρανση του προϊόντος πραγματοποιείται σε ξηραντήρα τυμπάνου με το τελικό προϊόν να περιλαμβάνει ποσοστά υγρασίας 5-8% (Willard et al. 1987).



Εικόνα 2.4: Επεξεργασμένα προϊόντα πατάτας (Washturn, 2023)

Γενικότερα, το μείζον ζήτημα των βιομηχανικών τροφίμων στη σημερινή εποχή είναι η διατηρησιμότητα των προϊόντων και η διατήρηση των θετικών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, η διατροφική αξία των προϊόντων καθώς και η προώθηση προϊόντων με θετικές επιπτώσεις στην υγεία των καταναλωτών είναι ένας ακόμα στόχος της παραγωγής. Δεδομένου ότι τα ποσοστά παχυσαρκίας έχουν φτάσει σε ανησυχητικό επίπεδο, οι ερευνητές προσπαθούν να εστιάσουν στην διαδικασία του τηγανίσματος, παρόλο που έχουν ανακαλυφθεί και άλλες πιο υγιεινές θερμικές επεξεργασίες μαγειρέματος. Η θερμική επεξεργασία μέσω τηγανίσματος όσον αφορά στο προϊόν της πατάτας έχει σημαντική αξία για την διατροφή του ανθρώπου παγκοσμίως (Drewnowski and Popkin, 2009). Είναι η πιο εύκολη, οικονομική και γρήγορη λύση παρέχοντας ένα γευστικό και επιθυμητό αποτέλεσμα. Εφόσον ορισμένα προϊόντα πατάτας όπως οι κατεψυγμένες προ-τηγανισμένες πατάτες που έχουν υποστεί ήδη μερικό τηγάνισμα κυκλοφορούν στην αγορά και επιλέγονται από το κοινό, γίνεται κατανοητό πως η ανάλυση της διαδικασίας είναι πολύ σημαντική. Η απορρόφηση ελαίου από το προϊόν προκαλεί ανεπιθύμητες επιπτώσεις όπως την δημιουργία των trans λιπαρών οξέων, ετεροκυκλικών αμινών ακόμα και καρκινογένεσης σύμφωνα με ορισμένες έρευνες (Saguy and Dana 2003). Για αυτό το λόγο, η μελέτη και προσπάθεια μείωσης φαινομένων μεταφοράς ελαίου αποτελεί ένα θέμα που δημιουργεί προβληματισμούς και σκέψεις. Για την προσπάθεια επίλυσης όμως, χρειάζεται διαρκής μελέτη και κατανόηση του φαινομένου από κάθε οπτική γωνία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ: ΤΗΓΑΝΙΣΜΑ

Το θέμα της διατηρησιμότητας και της διατήρησης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων φαίνεται πως είναι το μείζον ζήτημα της βιομηχανίας τροφίμων. Η θερμική κατεργασία των τροφίμων είναι μία μέθοδος χρησιμοποιούμενη από τη βιομηχανία μέχρι το νοικοκυριό και αφορά την ασφαλή διατήρηση και κατανάλωση προϊόντων. Είναι ένα είδος επεξεργασίας που σχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας η οποία συνοδεύεται από την θανάτωση των ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Η υψηλή θερμότητα σκοτώνει τα βακτήρια και τις φυσικές τοξίνες που αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες θερμικής επεξεργασίας που κατατάσσονται βάσει της θερμοκρασίας. Δηλαδή, θέρμανση κάτω από τους 100 °C (με χαρακτηριστικό παράδειγμα την παστερίωση), θέρμανση στους 100 °C περίπου που εδώ ανήκουν οι κατεργασίες βρασίματος, μαγειρέματος, ψησίματος και τηγανίσματος και τις διεργασίες που πραγματοποιούνται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 100 °C με παραδείγματα όπως την αποστείρωση και τις επεξεργασίες υψηλής θερμοκρασίας (UHT treatment) (Sruthy et al., 2022). Η βιομηχανία επικεντρώνεται κυρίως στην επεξεργασία που είναι πιο δύσκολο να πραγματοποιηθεί σε μία οικιακή κουζίνα, όπως για παράδειγμα την αποστείρωση με ασηπτικές συνθήκες. Σκοπός είναι η παραγωγή ενός ασφαλούς προϊόντος στο καταναλωτικό κοινό. Παρόλα αυτά, ο περισσότερος πληθυσμός γνωρίζει τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν προτού καταναλωθεί ένα προϊόν ανεξαρτήτως της διαδικασίας που έχει προηγηθεί κατά την παραγωγή του. Η θερμική επεξεργασία του τηγανίσματος αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές μαγειρέματος και θερμικής κατεργασίας. Χρησιμοποιείται ευρέως καθώς δίνει ένα αποτέλεσμα εύγευστο για τον καταναλωτή. Η μελέτη της κατεργασίας αυτής είναι ένα θέμα που απασχολεί την έρευνα καθώς ο μηχανισμός της είναι πολύπλοκος, και όχι πλήρως κατανοητός.

3.1 Το τηγάνισμα ως θερμική επεξεργασία

Η διαδικασία τηγανίσματος φαίνεται να είναι γνωστή ήδη από το 1600 π.Χ. Πολλά προϊόντα καταναλώνονται τηγανισμένα με το πιο γνωστό να είναι οι τηγανητές πατάτες (Sahin and Sumnu, 2008). Παραδείγματα γνωστών τηγανητών προϊόντων αποτελούν επίσης το κοτόπουλο, το ψάρι, τα ντόνατ και το κρέας. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε καυτό λάδι. Πιο συγκεκριμένα, το τρόφιμο εμβαπτίζεται σε λάδι σε θερμοκρασίες 160-190 °C είτε σε φριτέζα, είτε σε τηγάνι. Η θερμότητα από το λάδι μεταφέρεται μέσω συναγωγής και μέσα στο τρόφιμο μέσω αγωγής εξατμίζοντας το περιεχόμενο νερό. Το λάδι εισέρχεται στο τρόφιμο καλύπτοντας το εξατμιζόμενο νερό δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο τη λεγόμενη «κρούστα». Η κρούστα αυτή προχωράει προς το εσωτερικό του τροφίμου ξεπερνώντας το σημείο βρασμού που είναι ελαφρώς ανυψωμένο καθώς υπάρχουν και άλλες ουσίες εκτός από το νερό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των φυσαλίδων με την απώλεια νερού και φυσικά τη μείωση της υγρασίας του προϊόντος. Η κατεργασία πειραματικά χωρίζεται σε τέσσερα στάδια: α) την αρχική θέρμανση που ξεκινά από την εμβάπτιση της τροφής στο λάδι και ολοκληρώνεται όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια του τροφίμου έρχεται σε ισορροπία με το αυξημένο σημείο βρασμού το υγρού, β) το επιφανειακό βράσιμο, που ξεκινά με την εμφάνιση των φυσαλίδων νερού που προκαλούν την αύξηση της μεταφοράς θερμότητας και την δημιουργία της κρούστας, γ) την πτώση του ποσοστού, που κατά την διάρκεια αυτού του σταδίου εξατμίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό της εσωτερικής υγρασίας και η κρούστα καλύπτει όλη την επιφάνεια και δ) το τελικό σημείο φυσαλίδας, που είναι το τελικό στάδιο του εκτεταμένου τηγανίσματος κατά το οποίο η υγρασία έχει διαφύγει σε μεγάλο ποσοστό από το τρόφιμο με τη μορφή φυσαλίδων και το φαινόμενο σταματάει. Η απορρόφηση ελαίου

από το τρόφιμο πραγματοποιείται στους πόρους και εξαρτάται από την δομή του εκάστοτε προϊόντος. Συγκεκριμένα, όσο περισσότερο νερό διαφεύγει από το τηγανισμένο προϊόν τόσο περισσότερο αυξάνεται το πάχος της κρούστας και επομένως μεγαλύτερο ποσοστό ελαίου εισέρχεται (Marinos-Kouris et al., 2006).

Υπάρχουν δύο είδη τηγανίσματος: το λεγόμενο τηγάνισμα με εμβάπτιση (deep-fat frying) και το τηγάνισμα «επαφής» (swallow frying). Στο τηγάνισμα με εμβάπτιση το τρόφιμο καλύπτεται σε ολόκληρη την επιφάνεια του από το καυτό λάδι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να τηγανίζεται ομοιόμορφα από όλες τις πλευρές αποκτώντας ένα ενιαίο χρώμα και εμφάνιση. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω συναγωγής και έπειτα αγωγής και το τηγάνισμα ακολουθεί όλα τα πειραματικά στάδια μέχρι τον τερματισμό εμφάνισης φυσαλίδων. Είναι η κατάλληλη μέθοδος τηγανίσματος για όλα τα προϊόντα ανεξαρτήτως μεγέθους και σχήματος, με τα τρόφιμα με ακανόνιστο σχήμα όμως να απορροφούν περισσότερο λάδι. Αποτελεί μια διαδικασία χρησιμοποιούμενη σε μεγάλο βαθμό στη βιομηχανία για την παραγωγή σνακ, τσιπς και άλλων παρόμοιων προϊόντων. Αντίθετα το τηγάνισμα «επαφής» εφαρμόζεται κυρίως σε τρόφιμα μεγάλης επιφάνειας. Το τρόφιμο τοποθετείται σε τηγάνι με μικρή ποσότητα λαδιού και η θερμότητα μεταφέρεται μέσω συναγωγής από το λάδι στο κάτω μέρος της επιφάνειας του. Ανάλογα με τις ανομοιομορφίες στην επιφάνεια του τροφίμου το στρώμα λαδιού (κρούστα) που δημιουργείται διαφέρει από δείγμα σε δείγμα. Έτσι, μαζί με την διαφυγή των φυσαλίδων προκαλούνται θερμοκρασιακές διακυμάνσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία του καφέ χρώματος στα τηγανισμένα προϊόντα. Ο συγκεκριμένος τρόπος τηγανίσματος έχει γενικότερα υψηλούς συντελεστές συναγωγής αλλά δε διατηρούνται σταθεροί εξαιτίας της ανώμαλης επιφάνειας των δειγμάτων και την διαφορά θερμοκρασίας που προκαλεί αυτό (Marinos-Kouris et al., 2006).

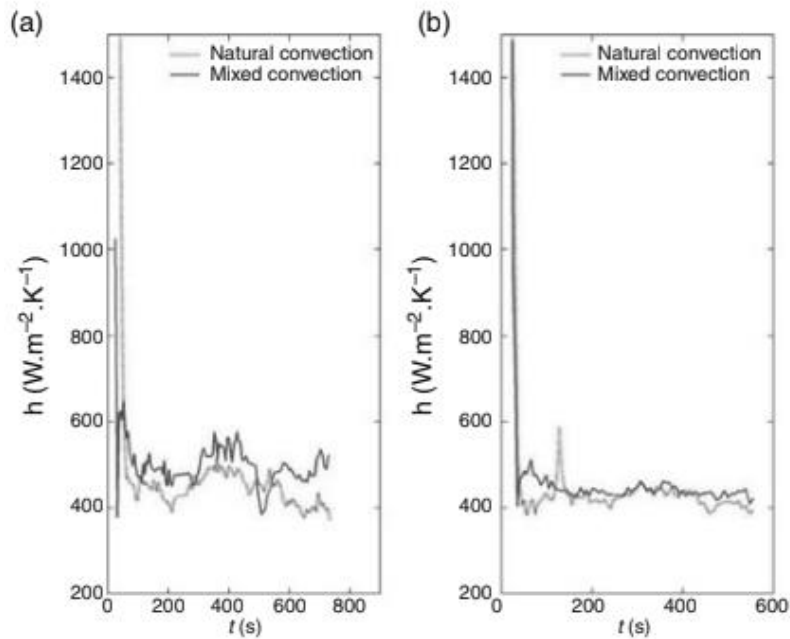
Γενικότερα το τηγάνισμα είναι μία σύνθετη διεργασία. Δεν γίνεται απολύτως κατανοητή η σύνδεση των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται κατά την διαδικασία με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας. Πιο αναλυτικά, με την επεξεργασία του τηγανίσματος το λάδι έρχεται σε επαφή σε υψηλές θερμοκρασίες με τον αέρα και την υγρασία με αποτέλεσμα την δημιουργία διαφόρων χημικών αντιδράσεων όπως υδρόλυση, οξείδωση και θερμική υποβάθμιση. Με αυτό τον τρόπο, η ποιότητα του λαδιού της φριτέζας αλλά και του τηγανισμένου προϊόντος υποβαθμίζεται. Ωστόσο, μερικά προϊόντα αντιδράσεων είναι επιθυμητά για το τρόφιμο και εδώ φαίνεται πόσο σημαντική είναι η μελέτη της ποιότητας του ελαίου καθώς απορροφάται από το τρόφιμο σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον, η φυσικοχημική ανάλυση του τηγανίσματος εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε προϊόντος όπως η επιφάνεια, το πορώδες, η πυκνότητα αλλά και την επεξεργασία που μπορεί να έχει υποστεί όπως για παράδειγμα ξήρανση ή η εμβάπτιση των προϊόντων σε διαλύματα σακχάρων που επηρεάζουν την τελική τους ποιότητα (Marinos-Kouris et al., 2006). Φαίνεται λοιπόν, πως το ενδιαφέρον εστιάζεται στην κινητική αυτή μελέτη καθώς και στην απορρόφηση ελαίου προσπαθώντας να δώσει εναλλακτικές λύσεις στη θερμική κατεργασία του τηγανίσματος. Στόχος είναι η μείωση των λιπαρών στα τηγανητά προϊόντα με σκοπό την παροχή ασφαλών για την υγεία προϊόντων.

3.2 Φαινόμενα μεταφοράς κατά το τηγάνισμα

Όπως είναι γνωστό το τηγάνισμα αποτελεί μια θερμική επεξεργασία ευρέως γνωστή εδώ και αρκετά χρόνια. Η επιτυχία του προέρχεται από την ευελιξία που παρέχει σε θερμική επεξεργασία σε βιομηχανική και οικιακή κλίμακα καθώς και από το γεγονός πως αποτελεί μια πολύ καλή μέθοδο μεταφοράς θερμότητας με υψηλές αποδόσεις. Επιπλέον, μπορεί να προσδώσει στο προϊόν μια τραγανή υφή που επιτυγχάνεται με τη μεταφορά ελαίου στο προϊόν. Αυτό πραγματοποιείται με τη μεταφορά μάζας κατά την επεξεργασία του τηγανίσματος. Τα δύο αυτά φαινόμενα μεταφοράς αποτελούν και το βασικό μηχανισμό μελέτης του τηγανίσματος.

Κατά την διαδικασία του τηγανίσματος, η επιφάνεια του τροφίμου έρχεται σε επαφή με το καυτό λάδι. Το λάδι θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και λόγω του ότι βρίσκεται σε πολύ μεγάλη ποσότητα επικαλύπτει το προϊόν προσδίδοντας του θερμότητα. Εξαιτίας των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του ελαίου, οι ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας είναι πολύ υψηλότεροι από αντίστοιχους σε άλλους τρόπους θέρμανσης (π.χ. με θερμό αέρα). Εξάλλου, όταν το προϊόν είναι εμβυτισμένο μέσα στο λάδι η θερμότητα μεταφέρεται σχεδόν ομοιόμορφα, χαρακτηριστικό που είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί σε άλλες διαδικασίες θέρμανσης. Η θερμοκρασία ρυθμίζεται πάνω από το σημείο βρασμού του νερού καθώς τα το έλαιο και τα συστατικά του έχουν υψηλό σημείο βρασμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το νερό που υπάρχει στο εσωτερικό του προϊόντος να εξατμίζεται απευθείας. Οπτικά αυτό παρατηρείται εύκολα εφόσον σχηματίζονται φυσαλίδες και αφρός κατευθείαν με την εμβάπτιση του τροφίμου. Τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή η μοναδική αέρια φάση που υπάρχει είναι το εξατμιζόμενο νερό, για αυτό το λόγο και η εξάτμιση πραγματοποιείται στη θερμοκρασία κορεσμού του νερού. Ο ρυθμός εξάτμισης είναι ανάλογος με την διαφορά θερμοκρασίας κορεσμού και θερμοκρασίας του υπάρχοντος λαδιού. Εάν η θερμοκρασία του λαδιού μειωθεί δε θα εμφανιστούν φυσαλίδες. Οι δυνάμεις άνωσης που αναπτύσσονται βοηθούν στην ομοιόμορφη μεταφορά της θερμότητας κάθετα στην διεύθυνση. Η ξήρανση του προϊόντος πραγματοποιείται μόνο όταν η θερμοκρασία του λαδιού είναι μεγαλύτερη από εκείνη στην επιφάνεια του τροφίμου. Όταν το προϊόν είναι σε θερμική ισορροπία με το λάδι υπάρχει ακόμα νερό μέσα του. Με την αύξηση τη θερμοκρασίας αυξάνονται τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και επανεμφανίζονται φυσαλίδες μέχρι να επιτευχθεί ξανά μία νέα θερμική ισορροπία (Sahin and Sumnu, 2008).

Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για τη μεταφορά θερμότητας κατά την επεξεργασία του τηγανίσματος θεωρούν ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας με συναγωγή προς την επιφάνεια του προϊόντος και με αγωγή μέσα στο προϊόν. Το νερό φεύγει από το τηγανισμένο προϊόν μέσω ατμού και υπολογίζεται ο ρυθμός απώλειας του νερού. Οι ρυθμοί θερμότητας κατά την διάρκεια του τηγανίσματος έχουν βρεθεί σχετικά αυξημένοι, γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά (ελαίου-προϊόντος) και στις υψηλές θερμικές αγωγιμότητες μεταξύ ελαίου και προϊόντος. Οι φυσαλίδες που απελευθερώνονται με μεγάλη ταχύτητα είναι υπεύθυνες για την ανάδευση στην επιφάνεια συναγωγής. Βασική παράμετρος για τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή είναι ο συντελεστής συναγωγής (h). Έχει βρεθεί ότι οι συντελεστές αυτοί είναι σχετικά μεγάλοι στην διαδικασία τηγανίσματος, εξαρτώνται από το χρόνο και μειώνονται με την πάροδο του. Στο διάγραμμα της Εικόνας 3.1 φαίνονται οι τιμές του συντελεστή h με την πάροδο του χρόνου όπως μελετήθηκαν για μια φέτα αλγινικού gel πλούσιο σε νερό (13,2 kg νερού/kg ξηρής ουσίας) σε θερμοκρασίες 140 και 180 °C (Sahin and Sumnu, 2008).



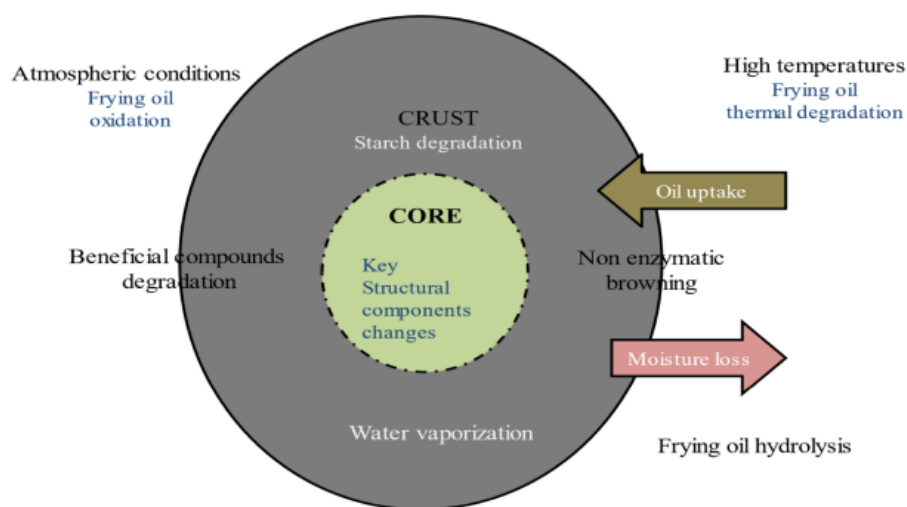
Εικόνα 3.1: Μελέτη εξάρτησης τιμής h από το χρόνο (t) (Sahin and Sumnu, 2008)

Εκτός από τη μεταφορά θερμότητας που λαμβάνει χώρα εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών, πραγματοποιείται και αφυδάτωση. Η απώλεια νερού μέσω φυσαλίδων πραγματοποιείται στο εύρος θερμοκρασιών τηγανίσματος 160-180 °C. Η γρήγορη αφυδάτωση που πραγματοποιείται είναι υπεύθυνη για την τελική υφή του προϊόντος. Εξαιτίας της απώλειας νερού, το προϊόν απορροφά λάδι και αναδιαμορφώνεται. Η εξάτμιση ξεκινάει από την επιφάνεια του τροφίμου όπου το επιφανειακό νερό χάνεται με τη βοήθεια των σταγονιδίων που φεύγουν από την επιφάνεια σε συνδυασμό με το βράσιμο του νερού που πραγματοποιείται. Η απώλεια του νερού δεν είναι ομοιόμορφη στο εσωτερικό του προϊόντος, εμφανίζεται πρώτα στα άκρα και προχωράει προς τη μέση. Χαρακτηριστικό των τηγανισμένων προϊόντων είναι η κρούστα η οποία σχηματίζεται εξαιτίας της απορρόφησης του ελαίου. Είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που εξαρτάται από τη θερμοκρασία τηγανίσματος, την αναλογία προϊόντος – ελαίου, τον τρόπο τηγανίσματος, τη χρονική διάρκεια της κατεργασίας κ.ά. Η απορρόφηση του ελαίου πραγματοποιείται σε μεγάλο βαθμό καθώς το προϊόν εξέρχεται από το λάδι και αποκτά μια χαμηλότερη θερμοκρασία. Αυτό συμβαίνει διότι όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από το σημείο βρασμού του νερού προκαλείται συμπύκνωση των υδρατμών στο προϊόν με αποτέλεσμα την διαφορά πίεσης μεταξύ της επιφάνειας και του εσωτερικού του τροφίμου (Marinos-Kouris et al., 2006). Επιπλέον, σημαντικό ρόλο ως προς την απορρόφηση παίζει και το πορώδες του εκάστοτε τροφίμου το οποίο αυξάνεται κατά την διάρκεια του τηγανίσματος. Γενικότερα, η απορρόφηση ελαίου είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός που πραγματοποιείται κατά τα τέσσερα στάδια της θερμικής επεξεργασίας με την αποβολή υγρασίας (Kawas and Moreira, 2001).

Για το μηχανισμό της μεταφοράς μάζας αρκετά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί που βασίζονται στην διάχυση και πιο συγκεκριμένα στο νόμο του Fick. Η κινητήριος δύναμη που παίζει ρόλο είναι η διαφορά της συγκέντρωσης και εξαρτάται από τη μείωση της υγρασίας στο τρόφιμο. Ωστόσο, πολλά μοντέλα έχουν βασιστεί και στην απορρόφηση του ελαίου από το τρόφιμο εκτός από την απώλεια του νερού. Το νερό μεταφέρεται από το εσωτερικό του τροφίμου προς την επιφάνεια μέσω διάχυσης και το λάδι εισέρχεται αντίστοιχα. Σημαντική

παράμετρος για τη μεταφορά μάζας είναι ο συντελεστής μεταφοράς μάζας (k_c) που ορίζεται ως ο ρυθμός μεταφοράς μάζας ανά μονάδα επιφάνειας όταν η διαφορά συγκέντρωσης είναι μονάδα. Ο συντελεστής αυτός μετρείται από μαθηματικές εξισώσεις και εξαρτάται από τη γεωμετρία του τροφίμου. Συγκεκριμένα, οι κομμένες πατάτες θεωρούνται κυλινδρικού σχήματος ή πλάκα και για ευκολία υπολογισμών χρησιμοποιείται πολλές φορές η παραδοχή κυλίνδρου απείρου μήκους (Safari et al., 2018).

Πιο συγκεκριμένα, για την πατάτα κυλινδρικού σχήματος απείρου μήκους ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (h) έχει βρεθεί πειραματικά ότι αυξάνεται από την αρχική του τιμή $300 \text{ W/m}^2\text{K}$ σε τελική τιμή $1100 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Hubbard and Farkas, 1999). Αντίστοιχα, θεωρώντας την πατάτα πλάκα δύο διαστάσεων έχει βρεθεί τιμή του συντελεστή συναγωγής (h) ίση με $181\text{-}256 \text{ W/m}^2\text{K}$ και τιμή συντελεστή μεταφοράς μάζας (k_c) ίσο με $11,2\text{-}20,7 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ (Yildiz et al., 2007). Οι μετρήσεις αυτές αφορούν ένα εύρος θερμοκρασιών $140\text{-}180^\circ\text{C}$ και αυτό άλλωστε υποδηλώνει το μεγάλο εύρος τιμών.

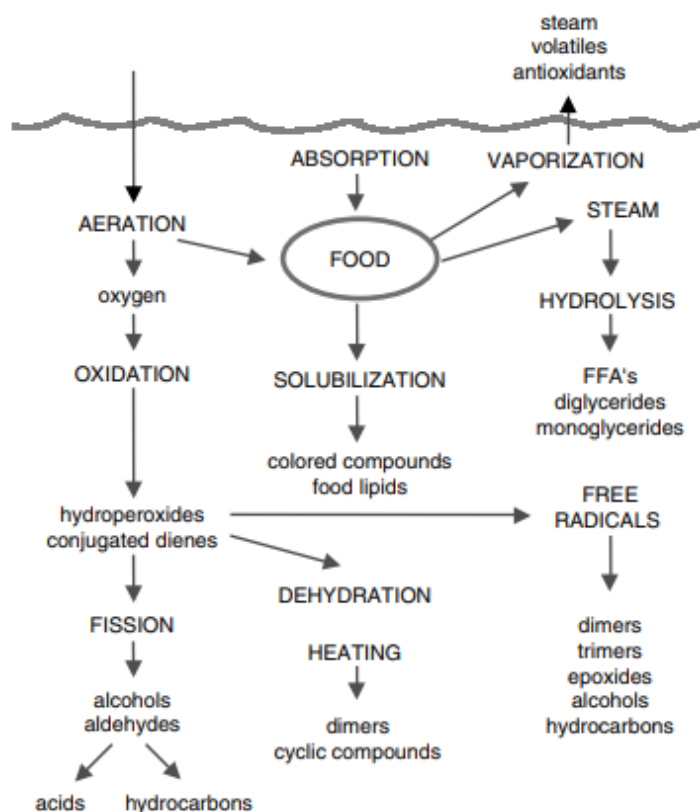


Εικόνα 3.2: Φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας κατά το τηγάνισμα (Rani et al., 2023)

3.3 Προϊόντα οξείδωσης ελαίου

Κατά την διαδικασία του τηγανίσματος το λάδι που χρησιμοποιείται υπόκειται σε χημική υποβάθμιση. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τη χρονική διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας οι θερμοκρασίες που ανέρχονται σε τιμές άνω των 160°C δημιουργούν διάφορες χημικές αντιδράσεις. Οι πιο σημαντικές είναι η υδρόλυση, η οξείδωση και ο πολυμερισμός. Η υδρόλυση πραγματοποιείται εξαιτίας της απώλειας νερού του προϊόντος που εξατμίζεται μέσω φυσαλίδων. Ο ατμός που δημιουργείται μαζί με την παρουσία οξυγόνου δημιουργούν ένα σύμπλοκο χημικών αντιδράσεων μεταξύ των εστέρων του ελαίου. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ελεύθερων λιπαρών οξέων, μονο- και δι- ακυλογλυκερόλης και γλυκερόλης. Με τη συνεχή χρήση του ίδιου ελαίου για τηγάνισμα ο αριθμός των λιπαρών οξέων αυξάνεται και χρησιμοποιείται ως δείκτης για την ποιότητα του ελαίου. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μπορούν να μετρηθούν μέσω αντίδρασης με χρωμογενείς ενώσεις στα 630 nm και αποτελούν μια πρώτη ένδειξη για την ποιότητα του ελαίου. Ταυτόχρονα, πραγματοποιείται η οξείδωση του ελαίου με τα προϊόντα της αντίδρασης αυτής να προσδίδουν γεύση στα τηγανισμένα τρόφιμα. Τα πιο γνωστά παράγωγα της οξείδωσης που έχουν την ικανότητα αυτή είναι οι λακτόνες και ορισμένες αλδεΐδες που προέρχονται κατά κύριο λόγο από το λινελαϊκό οξύ. Πολύ σημαντική υποκατηγορία της οξείδωσης αποτελεί η αυτοοξείδωση του ελαίου. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα συνδέονται με την ελεύθερη ρίζα που διαθέτουν και με

την παρουσία οξυγόνου μετατρέπονται σε κορεσμένα. Τέλος, ο πολυμερισμός είναι μία χημική αντίδραση που περιλαμβάνει δύο είδη πολυμερών τα οξειδωτικά πολυμερή και τα θερμικά πολυμερή. Τα οξειδωτικά πολυμερή δημιουργούνται μετά το τέλος της αυτοοξείδωσης όπου τα μόρια της τριακυλογλυκερόλης δεν απομακρύνονται αλλά συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μεγαλύτερες ενώσεις. Τα θερμικά πολυμερή από την άλλη δημιουργούνται εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας που πραγματοποιείται το τηγάνισμα. Η θερμότητα μπορεί να διασπάσει το έλαιο ή το ελαϊκό οξύ και οι διασπασμένες αυτές ενώσεις δύνανται να συνδεθούν μεταξύ τους σχηματίζοντας μεγάλες πολυμερικές αλυσίδες. Επομένως φαίνεται η διαδικασία της χημικής ανάλυσης του ελαίου κατά το τηγάνισμα είναι μια σύνθετη διαδικασία με πολλά παράγωγα που συντελούν στην υποβάθμιση του ελαίου και κατ' επέκταση στην υποβάθμιση του ίδιου του τελικού προϊόντος (Εικόνα 3.3) (Erickson et al., 2022).

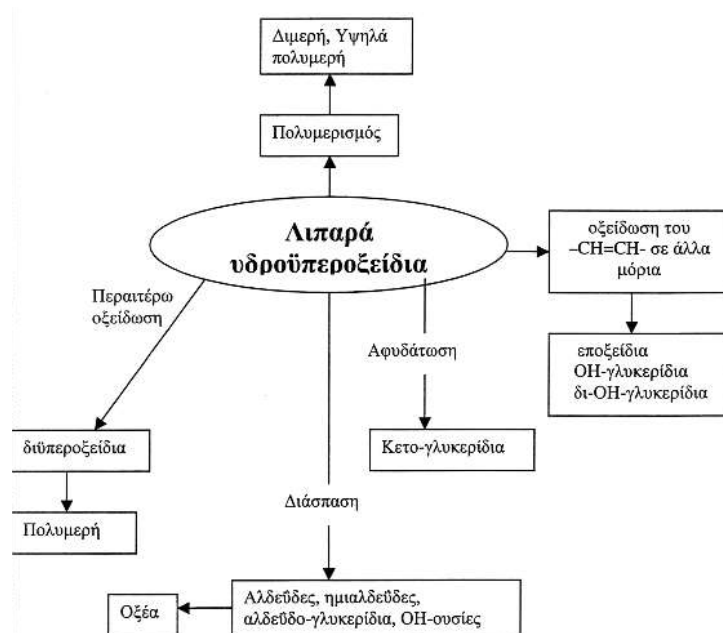


Εικόνα 3.3: Χημικές Αντιδράσεις κατά το τηγάνισμα (Gupta et al., 2006)

Η διαδικασία της οξείδωσης είναι και η πιο σημαντική για την ένδειξη της ποιότητας του ελαίου. Τα λιπαρά οξέα μετριούνται με πολλές μεθόδους και υποδεικνύουν το βαθμό οξείδωσης. Η διαδικασία της αυτοοξείδωσης (παρομοίως και της οξείδωσης) συντελείται σε τρία βήματα. Πρώτον, χρειάζεται ένα μεταλλικό στοιχείο (σίδηρο, νικέλιο, χαλκός) που θα είναι σε επαφή με τα ακόρεστα λιπαρά οξέα για να παραχθεί η ελεύθερη ρίζα με τη βοήθεια της θερμότητας. Δεύτερον, αφού σχηματιστεί η ελεύθερη ρίζα αντιδρά με ένα μόριο οξυγόνου σχηματίζοντας μια υπεροξύ (αλκοξύ) ρίζα (υπεροξειδία). Τρίτον, η ρίζα που έχει δημιουργηθεί μπορεί να αντιδράσει με ένα μόριο ακόρεστου λιπαρού οξέος και να δημιουργηθεί ένα μόριο υδροϋπεροξειδίου, ενώ το μόριο απελευθερώνοντας μια άλλη ελεύθερη ρίζα αλκυλίου μπορεί να αντιδράσει με το οξυγόνο και να δώσει α υπεροξύ ρίζα. Τα υδροϋπεροξειδία είναι πολύ ασταθή και μπορούν να αποσυντεθούν σε πολλά άλλα προϊόντα όπως αλδεΐδες, κετόνες, αλκοόλες κ.ά καθώς η οξείδωση προχωράει. Τέταρτο και

τελευταίο στάδιο είναι ο τερματισμός, όπου οι ελευθères ρίζες που έχουν απομείνει αντιδρούν μεταξύ τους καθώς δεν υπάρχουν άλλα ελεύθερα ακόρεστα λιπαρά οξέα ή δεν έχει απομείνει ποσότητα οξυγόνου στο σύστημα. Γενικότερα, οι ελευθères ρίζες σχηματίζονται κάθε φορά παρουσία ελευθέρων ακόρεστων λιπαρών οξέων και ενός εκκινητή μετάλλου όπου μπορεί να περιέχεται στο λάδι ή στο ίδιο το τρόφιμο που τηγανίζεται. Για την παρεμπόδιση της εξέλιξης της οξείδωσης στο προϊόν μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα αντιοξειδωτικά όπως για παράδειγμα οι τοκοφερόλες και οι τοκοτριενόλες (Gupta et al., 2006).

Τα πρωτογενή προϊόντα της οξείδωσης όπως αναφέρθηκαν είναι τα υδροϋπεροξειδία. Πρόκειται για ασταθείς ενώσεις οι οποίες με περαιτέρω οξείδωση μετατρέπονται σε δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης. Ουσιαστικά στα ακόρεστα λιπαρά οξέα του ελαίου κατά την οξείδωση δημιουργούνται ελευθères ρίζες που αντιδρούν με το οξυγόνο και παράγουν τα προϊόντα αυτά. Στη συνέχεια, μέσω θέρμανσης υδροϋπεροξειδία μετατρέπονται σε πτητικά προϊόντα. Οι πτητικές ενώσεις που δημιουργούνται προκαλούν δυσάρεστη οσμή στο τελικό προϊόν και αφορούν τα δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης. Οι ενώσεις αυτές διαφέρουν ανάλογα με τα λιπαρά οξέα του ελαίου που συμμετέχουν κάθε φορά στην οξείδωση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα του ελαϊκού οξέος είναι η οκτανάλη, η 2-δεκανάλη, η 2-ενδεκανάλη και η εννανάλη. Δεδομένου ότι η οξείδωση του ελαίου οδηγεί σε χημική υποβάθμιση, υπάρχουν αρκετές αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των προϊόντων της οξείδωσης. Οι πιο σημαντικοί δείκτες που μελετώνται συνήθως είναι ο αριθμός υπεροξειδίου (PV) που αναφέρεται στα πρωτογενή προϊόντα δηλαδή τα υδροϋπεροξειδία, ο αριθμός π-ανισιδίνης (p-AV) που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης κυρίως αλδεϋδών, οι δείκτες K_{232} και K_{270} που πρόκειται για φωτομέτρηση στα μήκη κύματος 232 και 270 nm για τη μέτρηση των συζυγών διενίων, ο αριθμός καρβονυλίου που μετράει τα καρβονύλια των δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης (αλδεΐδες, κετόνες) και το θειοβαρβιτουρικό οξύ που χρησιμοποιείται για την αντίδραση με τη μηλονική αλδεΐδη και φωτομετρείται στα 532 nm (Χούχουλα, 2003). Τέλος, ένα σημαντικό παράγωγο της οξείδωσης του ελαίου είναι το ακρυλαμίδιο. Πρόκειται για μια χημική ένωση η οποία θεωρείται τοξική για τον ανθρώπινο οργανισμό. Δημιουργείται μέσω της αντίδρασης Maillard (αντίδραση ασπαραγίνης με δικαρβονυλικά οξέα) και έχει θεωρηθεί πως τα δευτερογενή παράγωγα της οξείδωσης του ελαίου μαζί με τη θερμική υδρόλυση συμβάλλουν στην δημιουργία του. Παρόλο που το τηγάνισμα σε υψηλή θερμοκρασία δίνει ένα γευστικό αποτέλεσμα για τον καταναλωτή, η ύπαρξη του ακρυλαμιδίου το καθιστά πολλές φορές ακατάλληλο. Στόχος των βιομηχανιών πλέον, είναι η παραγωγή προϊόντων που κατά τη θερμική επεξεργασία του τηγανίσματος η ποσότητα του ακρυλαμιδίου να είναι μειωμένη (Matthäus and Haase, 2014).



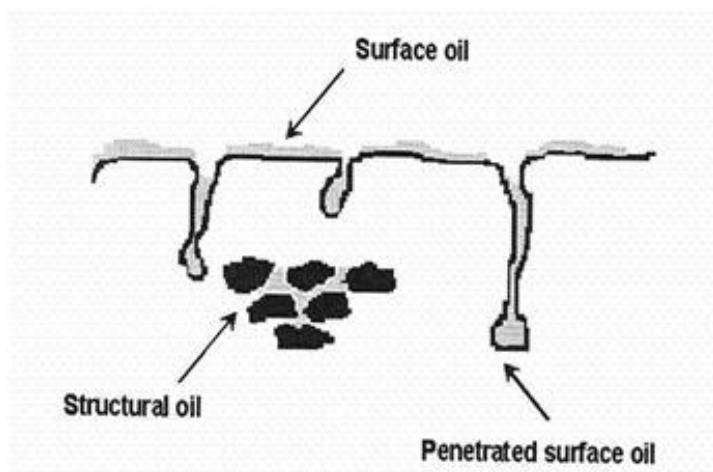
Εικόνα 3.4: Αντιδράσεις πρωτογενών προϊόντων οξείδωσης (Διδακτορική διατριβή Χούχουλα, 2003)

3.4 Απορρόφηση ελαίου – Διατροφική Αξία

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά το τηγάνισμα αφορούν και την απορρόφηση ελαίου από το προϊόν. Η απορρόφηση αυτή είναι ένα θέμα ύψιστης σημασίας καθώς η αυξημένη ποσότητα ελαίου σε ένα τρόφιμο συνεπάγεται αυξημένη ποσότητα λιπαρών και άρα αυξάνει τον κίνδυνο για παχυσαρκία, υπέρταση και άλλα καρδιαγγειακά νοσήματα (Saguy and Dana, 2003). Για αυτό το λόγο μελετάται η απορρόφηση ελαίου και οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν την διαδικασία αυτή. Η βασικότερη παράμετρος που επηρεάζει το φαινόμενο μεταφοράς ελαίου φαίνεται να είναι ο χρόνος τηγανίσματος. Έρευνες έχουν δείξει πως η περιεκτικότητα σε λιπαρά αυξάνεται γραμμικά με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου (Gamble et al., 1987). Εκτός του χρόνου, διάφοροι άλλοι παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο όπως τα χαρακτηριστικά του προϊόντος (σχήμα, πάχος, τραχύτητα επιφάνειας, πορώδες κ.ά.) καθώς και η θερμοκρασία τηγανίσματος (Zhang et al., 2018).

Παρόλο που η απορρόφηση ελαίου δε φαίνεται να είναι μια διαδικασία απολύτως κατανοητή, φαίνεται να έχει αποδειχθεί ότι το περισσότερο λάδι περιορίζεται στην επιφάνεια του προϊόντος και απορροφάται κυρίως μετά την εμβάπτιση (Bouchon et al., 2001). Για αυτό, θεωρείται ότι κατά την διαδικασία του τηγανίσματος το νερό που εξέρχεται από το τρόφιμο και εξατμίζεται δημιουργεί ένα φραγμό στην πορώδη επιφάνεια του προϊόντος με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται απορρόφηση ελαίου σε μεγάλο βαθμό. Βάσει αυτού, η πρόσληψη ελαίου φαίνεται να είναι ένα φαινόμενο «ανταγωνισμού» μεταξύ αποστράγγισης νερού και αναρρόφησης στην επιφάνεια του προϊόντος όταν εκείνο ψύχεται. Δεδομένου ότι οι περισσότερες έρευνες έδειξαν απορρόφηση στην επιφάνεια του προϊόντος και κατά την διάρκεια που εκείνο ψύχεται, κατηγοριοποίησαν το απορροφούμενο λάδι για την πατάτα σε τρεις συνθήκες: α) δομικό λάδι (structural oil), που αντιπροσωπεύει το λάδι που απορροφήθηκε κατά την διάρκεια τηγανίσματος, β) διεισδύμενο λάδι επιφάνειας (penetrated surface oil), που αφορά το λάδι που απορροφάται κατά την διάρκεια ψύξης του προϊόντος και γ) το λάδι επιφάνειας (surface oil), που είναι η ποσότητα ελαίου που παραμένει στην επιφάνεια (Εικόνα 3.5). Βάσει όλων αυτών εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα η

απώλεια νερού και η πρόσληψη ελαίου είναι δύο φαινόμενα μεταφοράς που πραγματοποιούνται σε διαφορετικό χρόνο (Bouchon, 2009). Ταυτόχρονα, σημαντική φαίνεται να είναι και η επίδραση των επιφανειακών ιδιοτήτων του προϊόντος και των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του μέσου τηγανίσματος. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με την επιφάνεια του προϊόντος δημιουργείται και διαφορετικό είδος «κρούστας» αλλά και παράγονται διάφορες επιφανειοδραστικές ουσίες. Αυτές οι ουσίες λειτουργούν σαν παράγοντες διαβροχής μειώνοντας την διεπιφανειακή τάση μεταξύ ελαίου και τροφίμου με αποτέλεσμα τη μέγιστη επαφή μεταξύ τους και την απορρόφηση λαδιού ενώ ταυτόχρονα το έλαιο υποβαθμίζεται χημικά (Blumenthal and Stier, 1991).



Εικόνα 3.5: Απορρόφηση ελαίου στην πατάτα

Δεδομένης της σημαντικότητας του θέματος της απορρόφησης ελαίου έχουν γίνει πολλές έρευνες για το μηχανισμό μεταφοράς ελαίου στα προϊόντα κατά το τηγάνισμα. Σύμφωνα με τα εμπειρικά μοντέλα που έχουν εξαχθεί, φαίνεται πως παρουσιάζονται διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη (Πίνακας 3.1). Η υγρασία είναι ο βασικότερος παράγοντας εφόσον η απώλεια του νερού συνοδεύεται από πρόσληψη ελαίου. Τον κενό χώρο που δημιουργείται στο προϊόν με την απώλεια το καταλαμβάνει το έλαιο μέσω μεταφοράς και διάχυσης. Επομένως, γίνεται προσπάθεια με την κατάλληλη προ επεξεργασία να μειωθεί η περιεκτικότητα σε υγρασία του αρχικού προϊόντος (π.χ. μέσω ξήρανσης) που με αυτό τον τρόπο μεταβάλλεται η επιφανειακή διαπερατότητα του τροφίμου και το έλαιο δεν προσλαμβάνεται σε μεγάλα ποσοστά. Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας είναι και η μικροδομή της κρούστας που δημιουργείται κατά το τηγάνισμα καθώς με την αποβολή υγρασίας το τρόφιμο δημιουργεί ένα στρώμα στην επιφάνεια το οποίο μπορεί να απορροφήσει έλαιο. Το πορώδες του εκάστοτε προϊόντος είναι η ιδιότητα που επιτρέπει στην επιφάνεια να απορροφήσει έλαιο, και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο μεγαλύτερη είναι και η πρόσληψη. Και εφόσον όπως φαίνεται η απορρόφηση ελαίου είναι ένα φαινόμενο που πραγματοποιείται στην επιφάνεια, ένας ακόμη βασικός παράγοντας είναι η γεωμετρία του προϊόντος. Γενικότερα, έχει βρεθεί πως όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία επιφάνειας προς όγκο τόσο πιο μεγάλη θα είναι και η πρόσληψη (Gillat, 2001). Επίσης, η τραχύτητα παίζει ρόλο στα φαινόμενα μεταφοράς καθώς έχει αποδειχθεί πως η αυξημένη τιμή της οδηγεί σε αυξημένη πρόσληψη αφού μεγαλώνει η συνολική επιφάνεια του προϊόντος. Τέλος, οι πιο σημαντικοί παράγοντες που έχουν αναφερθεί είναι η θερμοκρασία τηγανίσματος και ο χρόνος. Αν η θερμοκρασία τηγανίσματος είναι πιο χαμηλή τότε απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για να επιτευχθεί ένα γευστικό αποτέλεσμα. Σχετικά με αυτούς τους δύο παράγοντες δεν έχει βρεθεί κάποια σχέση εξάρτησης, μόνο πειραματικά

δεδομένα που φαίνεται να αποδεικνύουν πως η πρόσληψη σε έλαιο παρουσιάζει διαφορές σε θερμοκρασίες <160 °C. Με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας (160-190 °C) φαίνεται να μην υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην απορρόφηση (Moreira et al., 1997). Σαν τελικό συμπέρασμα για την πατάτα μπορεί να εξαχθεί πως σε χαμηλές θερμοκρασίες η πρόσληψη ελαίου μειώνεται (Bouchon, 2009).

Πίνακας 3.1: Παραδείγματα μαθηματικών μοντέλων για την κινητική μελέτη τηγανίσματος πατάτας

Μαθηματικό μοντέλο	Εξεταζόμενο χαρακτηριστικό	Βιβλιογραφική αναφορά
$O = \frac{O_{eq} K t}{1 + Kt}$	Πρόσληψη ελαίου	(Moyano and Pedreschi, 2006)
$Y = Y_e [1 - \exp(-kt)]$	Πρόσληψη ελαίου	(Krokida et al., 2001)
$(X - X_e)/(X_0 - X_e) = \exp(-K_x t)$	Απώλεια νερού	(Krokida et al., 2000)

Η πρόσληψη ελαίου εκτός από το γευστικό αποτέλεσμα, έχει σημαντική επιρροή σε θέματα διατροφικής αξίας. Συγκεκριμένα, γύρω από το τελικό τηγανητό προϊόν δημιουργείται μία κρούστα λίπους η οποία προσδίδει τραγανότητα και είναι επιθυμητή από τον καταναλωτή. Ωστόσο, η υπερκατανάλωση λιπαρών οξέων που εμπεριέχονται στο απορροφούμενο λάδι έχει συνέπειες στην υγεία του καταναλωτή. Το κυριότερο θέμα φαίνεται να δημιουργείται από τα trans λιπαρά οξέα (Bouchon, 2009). Πιο συγκεκριμένα, έχει βρεθεί πως τα οξέα αυτά αυξάνουν τη συγκέντρωση λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας στο πλάσμα ενώ ταυτόχρονα μειώνουν τη συγκέντρωση των αντίστοιχων υψηλής πυκνότητας (Ascherio and Willett, 1997). Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις πως η οξείδωση των λιπών σε μεγάλο βαθμό μπορεί να επιφέρει καρκινογόνα χαρακτηριστικά. Η ύπαρξη του ακρυλαμιδίου από την άλλη, είναι ένα φαινόμενο που ενισχύει την θεωρία ανάπτυξης καρκίνου στον οργανισμό. Βάσει όλων αυτών, το καταναλωτικό κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται σε πιο υγιεινές τροφές και η βιομηχανία προσπαθεί να διατηρήσει τη γεύση αλλά να μειώσει ταυτόχρονα τα αρνητικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων.

Για την πατάτα συγκεκριμένα, έχουν μελετηθεί πολλές τεχνικές προ επεξεργασίας που υποβοηθούν στη μειωμένη πρόσληψη λιπαρών. Εφόσον, όπως έχει αναφερθεί η κύρια απορρόφηση ελαίου πραγματοποιείται στην επιφάνεια καθώς το προϊόν ψύχεται, διάφορες μέθοδοι στεγνώματος χρησιμοποιήθηκαν αρχικά όπως το στέγνωμα με ζεστό αέρα και το στέγνωμα με υπέρθερμο ατμό. Ωστόσο, μετέπειτα αξιοποιήθηκαν μέθοδοι με επίστρωση βρώσιμου φιλμ με υδροκολλοειδή με σκοπό τη γενική μείωση της επιφανειακής διαπερατότητας. Δηλαδή, η έρευνα πια άρχισε να επικεντρώνεται και στο εσωτερικό του τροφίμου εκτός από την επιφάνειά του (Moreno and Bouchon, 2008). Τέλος, μια σημαντική προ κατεργασία που αποδίδει φαίνεται να είναι η ωσμωτική αφυδάτωση. Η μείωση της πρόσληψης λιπαρών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση οφείλεται στη μείωση του περιεχόμενου νερού στο τρόφιμο μέσω επιλογής του κατάλληλου ωσμωτικού υλικού. Για αυτό και είναι σημαντική η κατανόησή της και δύναται να έχει χρήση σε βιομηχανική κλίμακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΠΙΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ

Το θέμα της διατηρησιμότητας των τροφίμων και η ανάπτυξη μικροοργανισμών που προκαλούν ποιοτική υποβάθμιση είναι το κύριο ζήτημα της βιομηχανίας. Πλέον, γίνεται έρευνα για την ανάπτυξη τεχνολογιών που θα αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες τεχνικές συντήρησης (χημική επεξεργασία, αλάτισμα, οξίνιση κλπ) για ένα τελικό αποτέλεσμα πιο υγιεινό και γευστικό. Οι τεχνικές αυτές αφορούν μη θερμικές επεξεργασίες που στοχεύουν στην αύξηση της διατηρησιμότητας και στη μη υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Οι πιο διαδεδομένες είναι η χρήση Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (PEF), η Υπερυψηλή Πίεση (HP), η χρήση υπερήχων (ultrasound) κ.ά. Τα θετικά χαρακτηριστικά τους είναι ο μικρός χρόνος επεξεργασίας, η αυξημένη αποτελεσματικότητα και η διατήρηση της ποιότητας. Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια μη θερμική επεξεργασία που σχετίζεται με την διατροφική αξία του προϊόντος. Μπορεί να αντικαταστήσει μερικώς τις κλασσικές διαδικασίες ξήρανσης, εφόσον έχει τη δυνατότητα το προϊόν να διατηρεί τα χαρακτηριστικά του αναλλοίωτα προστατεύοντας το παράλληλα από τη μικροβιολογική υποβάθμιση. Χρησιμοποιείται κυρίως ως μέθοδο προ-επεξεργασίας, όπως της ξήρανσης, της κατάψυξης, της ψύξης, κ.ά. (Osae et al., 2020). Επομένως, φαίνεται πως η μελέτη των μη θερμικών επεξεργασιών είναι ύψιστης σημασίας για την παραγωγή προϊόντων τα οποία παρουσιάζουν ευαισθησία στην μικροβιολογική ανάπτυξη. Η χρήση της συγκεκριμένης προ επεξεργασίας έχει δείξει πως οδηγεί ένα τελικό προϊόν που δεν περιέχει ίχνος θερμικής βλάβης και διατηρεί αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά του.

4.1 Ωσμωτική Αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια διαδικασία μερικής απομάκρυνσης του νερού από τα τρόφιμα. Χρησιμοποιείται σε προϊόντα όπως λαχανικά και φρούτα που περιέχουν μεγάλο ποσοστό νερού. Πρόκειται για μια μη θερμική επεξεργασία η οποία δεν εκθέτει το τρόφιμο σε υψηλή θερμοκρασία και δεν αλλοιώνει με αυτό τον τρόπο τα χαρακτηριστικά του (υφή, χρώμα, γεύση). Βασίζεται στην αμοιβαία μεταφορά μάζας μεταξύ του προϊόντος και του ωσμωτικού διαλύματος. Το ωσμωτικό διάλυμα που δύναται να χρησιμοποιηθεί μπορεί να περιέχει σουκρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτοδεξτρίνη και άλλα συστατικά (Akbarian et al., 2014; Silva et al., 2014).

4.1.1 Μηχανισμός

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια διαδικασία με κύριο χαρακτηριστικό της τη μεταφορά μάζας μεταξύ στερεού και υγρού. Πρόκειται για μια επεξεργασία που πραγματοποιείται κυρίως σε λαχανικά και φρούτα μέσω της εμβάπτισης τους σε υπερτονικό διάλυμα. Βασίζεται κυρίως στην διαφορά συγκεντρώσεων μεταξύ των ουσιών και του ωσμωτικού διαλύματος. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση των ουσιών είναι πολύ πιο υψηλή στο διάλυμα από το εσωτερικό του τροφίμου για αυτό και γίνεται μεταφορά με σκοπό να επιτευχθεί ισορροπία. Πιο αναλυτικά, το νερό που υπάρχει στο τρόφιμο περνά στο ωσμωτικό-υπερτονικό διάλυμα μέσω αποπλαστικής, συμπλαστικής ή διαμεμβρανικής μεταφοράς. Η αποπλαστική μεταφορά πραγματοποιείται από το εσωτερικό του κυττάρου προς το κυτταρικό τοίχωμα, η συμβατική μεταφορά σχετίζεται με τη μεταφορά νερού από ένα κύτταρο σε ένα άλλο και η διαμεμβρανική μεταφορά περιλαμβάνει τη μεταφορά νερού από ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο του κυττάρου προς τον εξωκυττάριο χώρο. Η διαπερατότητα της μεμβράνης εκτός από την διαφυγή του νερού επιτρέπει την εισχώρηση διαλυμένων ουσιών του ωσμωτικού διαλύματος που διαθέτουν θετικά χαρακτηριστικά για το προϊόν. Η διάχυση αυτή των συστατικών μαζί με την εκροή νερού προκαλείται εξαιτίας της βαθμίδωσης της ωσμωτικής πίεσης που λειτουργεί σαν κινητήριος δύναμη (González-Pérez et al., 2021).

Αρχικά, το νερό έρχεται σε επαφή με το ωσμωτικό διάλυμα στην επιφάνεια με τα κύτταρα του πρώτου στρώματος να χάνουν νερό και να συρρικνώνονται. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται και για τα εσωτερικά στρώματα όπου το νερό εξέρχεται και ο ιστός συρρικνώνεται. Όταν το ωσμωτικό διάλυμα φτάσει στο κέντρο του προϊόντος θεωρείται ότι έχει επέλθει ισορροπία και η ώσμωση σταματάει. Το νερό διαχέεται από τα κύτταρα του ιστού μέσω μοριακής διάχυσης, διάχυσης υγρού, διάχυσης ατμού (για ροή αερίου), τριχοειδούς μεταφοράς, επιφανειακής διάχυσης και συνδυασμού όλων των παραπάνω (Phisut, 2012).

Στην πραγματικότητα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση κυριαρχούν τρία φαινόμενα μεταφοράς (Ramya & Jain, 2017):

A) Το νερό που εξέρχεται από το τρόφιμο στην αρχή με γρήγορο ρυθμό και στη συνέχεια μειώνεται (Nazaneen et al., 2017).

B) Η μεταφορά ουσιών από το ωσμωτικό διάλυμα στο προϊόν που στοχεύει στη συνεισφορά ουσιών που βοηθούν στην διατηρησιμότητα και στην βελτίωση του προϊόντος (Tortoe, 2010).

Γ) Η αποβολή άλλων διαλυμένων προϊόντων παίζει ρόλο στην τελική διαμόρφωση του προϊόντος παρόλο που δεν είναι τόσο σημαντική στη μεταφορά (Ramya & Jain, 2017).

Οι βασικές παράμετροι που μελετώνται στην ωσμωτική αφυδάτωση αφορούν την απώλεια νερού (Water Loss-WL) και την πρόσληψη ολικών στερεών (Solid Gain-SG). Πιο συγκεκριμένα ο υπολογισμός αυτών των παραμέτρων γίνεται με τη χρήση των ακόλουθων εξισώσεων:

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

$$SG = \frac{m - m_0}{m_0} \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

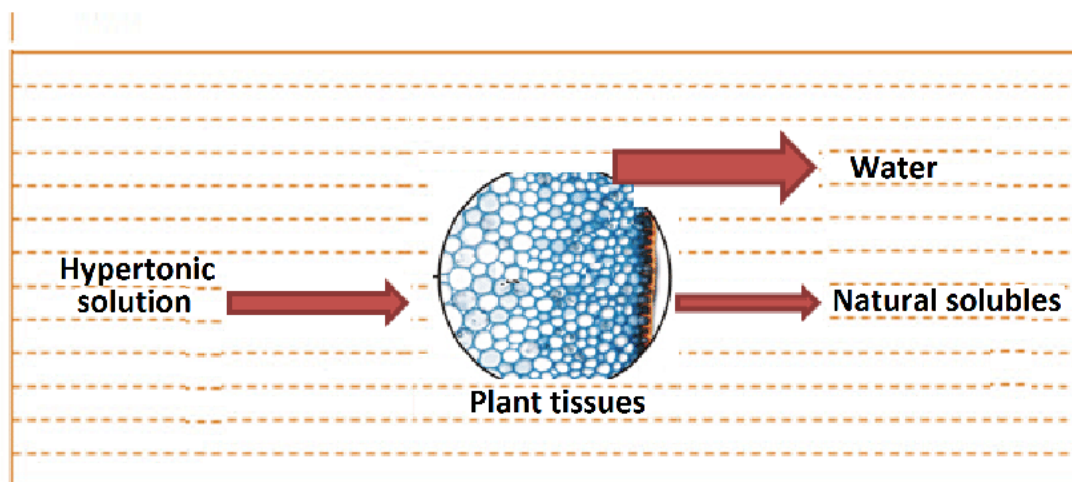
όπου M_0 : αρχικό βάρος του δείγματος πριν την ωσμωτική αφυδάτωση, M : βάρος μετά την ώσμωση, m : ξηρό βάρος του δείγματος μετά την ώσμωση και m_0 : αρχικό ξηρό βάρος πριν την ώσμωση.

Σε μακροσκοπικό επίπεδο, η διάχυση του νερού μπορεί να περιγραφεί και από το νόμο του Fick με σκοπό την εύρεση των συντελεστών διάχυσης D_{ew} (νερού) και D_{es} (στερεών) (Δερμεσονλούογλου, 2008):

$$\frac{dC}{dt} = D_e \frac{d^2C}{dt^2} \quad (\text{Εξίσωση 4.3})$$

Δεδομένης της απαίτησης των τελευταίων ετών για προϊόντα με μεγάλη διατροφική αξία και διατηρησιμότητα, η ώσμωση με την απλή αυτή διαδικασία χρησιμοποιείται ως επεξεργασία συντήρησης για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Για μεγαλύτερη διάρκεια αποθήκευσης απαιτείται συμπληρωματική μέθοδος συντήρησης π.χ. κατάψυξη. Η ωσμωτική αφυδάτωση δίνει την δυνατότητα παραγωγής ενός προϊόντος δίχως θερμική βλάβη, μεγάλης σταθερότητας και μικροβιολογικής ανάπτυξης μειούμενου ρυθμού. Συγκεκριμένα η πατάτα περιέχει ένα μεγάλο ποσοστό υγρασίας γεγονός που το καθιστά προϊόν με μικρή διάρκεια ζωής και ευαίσθητο σε ασθένειες. Επομένως, η προ επεξεργασία συντήρησης με την διαδικασία της ξήρανσης είναι απαραίτητη για την διατηρησιμότητα του προϊόντος. Το μεγάλο ζήτημα που προκύπτει είναι η τελική ποιότητα του προϊόντος η οποία υποβαθμίζεται σε μεγάλο βαθμό. Η μη θερμική επεξεργασία και πιο συγκεκριμένα η ωσμωτική αφυδάτωση

έχει την δυνατότητα να οδηγήσει σε ένα τελικό προϊόν με επιθυμητά χαρακτηριστικά. Ο ελάχιστος χρόνος επεξεργασίας, η ήπια θερμοκρασία και η εξοικονόμηση ενέργειας είναι τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου σε συνδυασμό με την ελεγχόμενη απώλεια νερού στο προϊόν. Επιπλέον, θετικό χαρακτηριστικό αποτελεί και η μη μετουσίωση των πρωτεϊνών στην πατάτα καθώς διατηρούνται κατά την επεξεργασία.



Εικόνα 4.1: Φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Ruskova et al., 2016)

4.1.2 Βασικές παράμετροι της διεργασίας

Η ώσμωση αποτελεί μια μη θερμική επεξεργασία με κύριο χαρακτηριστικό της τη μεταφορά νερού και ουσιών. Το υπερτονικό διάλυμα που χρησιμοποιείται για την εμβάπτιση του προϊόντος είναι και το σημαντικότερο στοιχείο που θα βοηθήσει στην αμοιβαία αλληλομεταφορά. Ο κύριος σκοπός της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι η μείωση της ενεργότητας του νερού. Αυτό, όπως έχει εξηγηθεί, επιτυγχάνεται με την αποβολή του περιεχόμενου νερού από το τρόφιμο και την ταυτόχρονη παραλαβή ουσιών από το ωσμωτικό παράγοντα. Για αυτό το λόγο, αποτελεί μια διαδικασία διαφορετική από την απλή ξήρανση δεδομένου της πιο σύνθετης διαδρομής μεταφοράς του νερού. Οι ωσμωτικές ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος (Tortoe, 2010). Χρησιμοποιούνται ουσίες όπως η σακχαρόζη, η φρουκτόζη, η γλυκόζη, το σιρόπι αμύλου και το χλωριούχο νάτριο οι οποίες σε ήπια θερμοκρασία φαίνεται να μην δημιουργούν ελαττώματα στην υφή και στο χρώμα των προϊόντων (Torreggiani, 1993). Σε κάθε πρώτη ύλη είτε είναι φρούτο ή λαχανικό αποδίδει βέλτιστα η ώσμωση ανάλογα τον ωσμωτικό παράγοντα και τη σωστή σύσταση. Ο Tortoe υπολόγισε για την πατάτα βέλτιστη αναλογία ωσμωτικών ουσιών 45:15 χρησιμοποιώντας σακχαρόζη και χλωριούχο ασβέστιο (Tortoe, 2010).

Παρόλα αυτά, η επίτευξη της ώσμωσης εξαρτάται και από άλλους παράγοντες εκτός της ωσμωτικής ουσίας. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της ωσμωτικής ουσίας, η θερμοκρασία ώσμωσης, η ανάδευση και η προ επεξεργασία είναι ορισμένοι παράμετροι που μελετώνται από τους ερευνητές. Αναλυτικά με το είδος της ωσμωτικής ουσίας που χρησιμοποιείται, φαίνεται ότι οι ουσίες με χαμηλότερο μοριακό βάρος μπορούν πιο εύκολα να διεισδύσουν στο τρόφιμο σε σχέση με εκείνες που παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή (Phisut, 2012). Οι Pattanapa et al. σε ωσμωτική αφυδάτωση που πραγματοποίησαν στα μανταρίνια χρησιμοποιώντας σακχαρόζη και γλυκερόλη σε ποσοστό 60% παρατήρησαν πως με αύξηση της γλυκερόλης περισσότερο νερό εξερχόταν από το προϊόν, γεγονός που οφείλεται στη χαμηλότερη τιμή μοριακού βάρους της γλυκερόλης (Pattanapa et al., 2010). Σχετικά με τη

συγκέντρωση της ουσίας, έχει παρατηρηθεί πως με αύξηση του ωσμωτικού παράγοντα αυξάνονται ο ρυθμός απώλειας νερού και πρόσληψης ολικών στερεών. Η θερμοκρασία επιπλέον, φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με την διαδικασία της ώσμωσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία επεξεργασίας τόσο μεγαλύτερη είναι και η απώλεια του νερού από το προϊόν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στην δομή των κυττάρων και συγκεκριμένα στην κυτταρική μεμβράνη αλλά και στην επιφάνεια του τροφίμου αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τα φαινόμενα μεταφοράς. Η ανάδευση από την άλλη, είναι μια διαδικασία που διευκολύνει την μεταφορά ουσιών και βελτιστοποιεί τα φαινόμενα διάχυσης (Moreira et al., 2007). Μάλιστα μερικές έρευνες έχουν συσχετίσει το ρυθμό ανάδευσης με την τελική απόδοση της ώσμωσης. Επιπλέον, η ανάδευση χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό όταν πρόκειται για επεξεργασία με σάκχαρα (σακχαρόζη, φρουκτόζη) που έχουν υψηλές τιμές ιξώδους. Τέλος, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η προ επεξεργασία του δείγματος η οποία επιδρά στη μεταφορά μάζας. Συγκεκριμένα, πολλές μέθοδοι έχουν μελετηθεί όπως η χρήση υπερήχων (Ultrasound), παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF), η υπερυψηλή πίεση (HP) κ.ά. Οι Rastogi et al. μελέτησαν τη χρήση υπερυψηλής πίεσης (HP) για την πατάτα και παρατήρησαν πως με αύξηση της πίεσης αυξανόταν και ο ρυθμός πρόσληψης ολικών στερεών (SG) (Rastogi et al., 2007). Για την πατάτα επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) ως προ επεξεργασία αυξάνεται η ανάκτηση ολικών στερεών μετά την διαδικασία της ώσμωσης (Katsouli et al. 2024). Οι Goula et al. έδειξαν πως η χρήση υπερήχων κατά την ώσμωση στην πατάτα αυξάνει την απώλεια νερού (WL) και την πρόσληψη ολικών στερεών (SG) (Goula et al., 2017).

4.1.3 Χαρακτηριστικά ωσμωτικού διαλύματος – Επίδραση γλυκερόλης

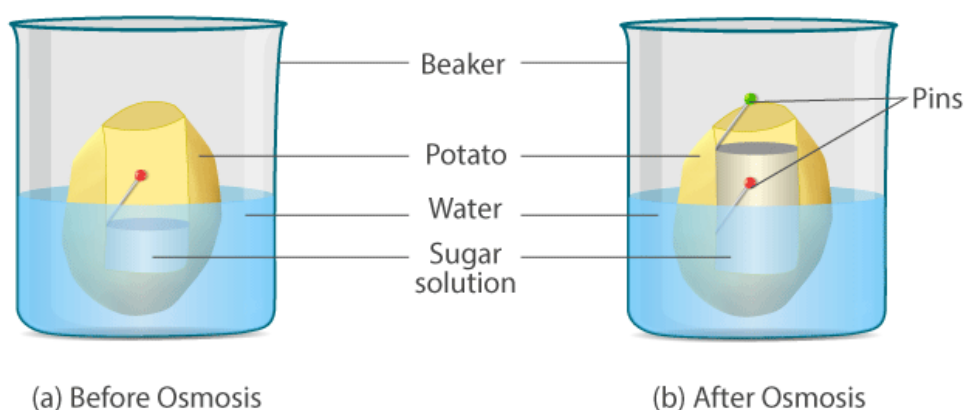
Το ωσμωτικό διάλυμα σε κάθε περίπτωση πρέπει να επιλέγεται ώστε να επιτύχει την βέλτιστη αποβολή νερού και μείωση ενεργότητας του νερού. Για αυτό το λόγο εκτός των συστατικών και των παραγόντων που αναλύθηκαν, είναι εξίσου σημαντική η αναλογία διαλύματος τροφίμου για την πραγματοποίηση της διάχυσης (Ramya and Jain, 2017). Οι πιο συνήθεις αναλογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές είναι 1:1, 3:1, 4:1, 5:1 (Grabowski et al., 1994; Beaudry et al., 2003; Bernardi et al., 2009; Ruiz-López et al., 2010; Jain et al. 2011; Pisalkar et al. 2011; Sakthale and Pawar 2011; Gupta et al. 2012; Alam and Islam 2013). Τα κύρια ωσμωτικά συστατικά που χρησιμοποιούνται είναι είτε σάκχαρα είτε αλάτι (Serenio et al., 2001). Επιπλέον, το pH επηρεάζει την τελική απόδοση της ώσμωσης και το τελικό προϊόν γενικότερα. Συγκεκριμένα, φαίνεται πως το όξινο περιβάλλον αυξάνει το ρυθμό αποβολής του νερού και επιφέρει αλλαγές στην υφή των προϊόντων. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος η ισορροπία επέρχεται πιο αργά. Άρα αυτό σημαίνει πως απαιτείται μεγαλύτερη χρονική διάρκεια για αποδώσει η ώσμωση. Ο Oladejo παρατήρησε πως η μεγάλη αύξηση στη συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος δεν διευκολύνει την αποβολή νερού και δημιουργεί πιο παχύρευστα υγρά (Oladejo and Ma, 2015). Για αυτό το λόγο εξίσου σημαντική είναι και η ανάδευση των διαλυμάτων για να μην δημιουργείται συσσώρευση του τροφίμου στην επιφάνεια του διαλύματος.

Ένας ωσμωτικός παράγοντας που μελετάται πολλά χρόνια από αρκετούς ερευνητές είναι η γλυκερόλη. Η γλυκερόλη (ή γλυκερίνη) είναι μια πολυαλκοόλη που προέρχεται από τα φυτικά έλαια και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές εδώ και χρόνια. Είναι άχρωμη, άοσμη και προσφέρει γλυκιά γεύση. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της, όμως, είναι ότι δεν είναι τοξική για τον ανθρώπινο οργανισμό. Είναι χρήσιμη ουσία για την ώσμωση διότι έχει μικρό μοριακό βάρος, και επομένως οδηγεί σε σημαντική μείωση της ενεργότητας νερού. Πιο συγκεκριμένα, με την αύξηση της ωσμωτικής πίεσης η γλυκερόλη απομακρύνει το νερό από τα κύτταρα και εισέρχεται στο τρόφιμο. Επιπλέον, η ωσμωτική πίεση που

δημιουργείται σε συνδυασμό με την απώλεια νερού προάγει το σχηματισμό διεπιφάνειας που δεν απαιτεί την ύπαρξη νερού και λειτουργεί ως αναστολέας για τη σύνδεση υδρόφιλων πρωτεϊνών. Έχει αναφερθεί επίσης ότι η γλυκερόλη μπορεί να δεσμευτεί πάνω στην έλικα κολλαγόνου και να απωθήσει τα μόρια νερού καταργώντας κατά αυτό τον τρόπο τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των μορίων νερού (Brisson et al., 2001).

Πίνακας 4.1: Μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πατάτες

Ωσμωτικό διάλυμα	Αναλογία διάλυμα: πατάτα	T (°C)	Βιβλιογραφική αναφορά
Σακχαρόζη, χλωριούχο νάτριο	1:30	20-22	(Mokhtar et al., 2018)
Μαλτοδεξτρίνη, χλωριούχο νάτριο	1:40	20-45	(Gula et al., 2017)
Χλωριούχο νάτριο	1:20	25-55	(Khin et al., 2006)



Εικόνα 4.2: Ωσμωτική Αφυδάτωση σε πατάτες

4.2 Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία

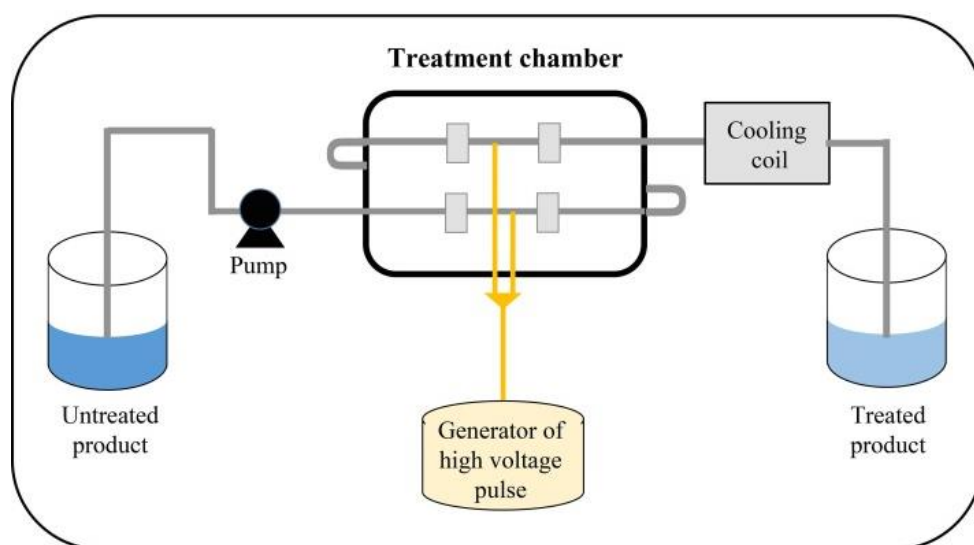
Τα Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία αποτελούν μια σύγχρονη μη θερμική μέθοδο επεξεργασίας που στοχεύει στην διατήρηση των τροφίμων. Πρόκειται για μια επεξεργασία που χρησιμοποιεί την επιβολή παλμών ηλεκτρισμού για να αποτρέψει τη μικροβιολογική ανάπτυξη. Ταυτόχρονα θεωρείται ανώτερη μέθοδος επεξεργασίας καθώς έχει την δυνατότητα εκτός του να συντηρεί το προϊόν να διατηρεί επιπλέον και τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά. Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία παρουσιάζουν αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογής στα στερεά τρόφιμα και όχι μόνο. Συμβάλλουν στη μικροβιολογική αλλοίωση και ταυτόχρονα εξοικονομούν μεγάλα ποσά ενέργειας εφόσον αποφεύγεται η θερμική επεξεργασία (Syed et al. 2017).

4.2.1 Αρχή λειτουργίας & Εξοπλισμός διεργασίας ΠΗΠ

Η προ επεξεργασία με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων επιτυγχάνεται διαμέσου της κυτταρικής διάρρηξης. Το τρόφιμο τοποθετείται ανάμεσα από δύο ηλεκτρόδια και ενός ηλεκτρικού πεδίου υψηλής τάσης. Η κυτταρική μεμβράνη διασπάται και δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο διάφοροι δίοδοι. Το εσωτερικό του κυττάρου εκχυλίζεται και η μεμβράνη χάνει τη λειτουργικότητά της. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να κυμανθεί από 0,1

– 10 kV/cm όταν χρησιμοποιούνται φρούτα και λαχανικά. Η διάτρηση της κυτταρικής μεμβράνης συνεισφέρει επιπλέον και στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας βοηθώντας στην διάχυση ουσιών εντός του κυττάρου (Ranjha et al., 2021).

Σχετικά με τον απαραίτητο εξοπλισμό για την υλοποίηση της διεργασίας των PEF απαιτείται ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας, ένας θάλαμος επεξεργασίας και ένα σύστημα ελέγχου (Buchmann et al., 2018). Η παραγωγή της ενέργειας είναι το πιο σημαντικό και ακριβό κομμάτι της εγκατάστασης καθώς έχει ρόλο εκτός από παραγωγής και αποθήκευσης της ενέργειας. Ο θάλαμος επεξεργασίας είναι ο χώρος όπου τοποθετείται το προϊόν για επεξεργασία. Υπάρχουν δύο τρόποι επεξεργασίας της ύλης: με συνεχή ροή ή με «batch» επεξεργασία. Οι μέθοδοι συνεχούς λειτουργίας ηλεκτρικών πεδίων που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία καθώς σε συνδυασμό με τους μικρούς χρόνους επεξεργασίας που απαιτούνται αποτελεί μια πιο προσιτή και οικονομικά συμφέρουσα λύση (Törpfel et al., 2006). Μέσα στο θάλαμο επεξεργασίας υπάρχουν τα ηλεκτρόδια που αποτελούν και το πιο «ευαίσθητο» σημείο του εξοπλισμού. Δεν υπάρχει συγκεκριμένη επιλογή υλικού για τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται, παρόλα αυτά έρευνες έχουν δείξει πως στην περίπτωση επεξεργασίας τροφίμων με ΠΗΠ ο ανοξειδωτός άνθρακας δεν παράγει τοξικά προϊόντα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω και των χαρακτηριστικών του (αγωγιμότητα, διαβρωτικότητα, τιμή) (Törpfel et al., 2007). Γενικότερα, χρειάζεται μια διάταξη με υλικό χημικά αδρανές και να μπορεί να αποστειρώνεται και να καθαρίζεται εύκολα (Arshad et al. 2021). Τέλος, το σύστημα ελέγχου είναι απαραίτητο για να ρυθμίζονται οι παράμετροι της διαδικασίας όπως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, ο αριθμός παλμών κ.ά. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές λειτουργικών παραμέτρων για κάθε επεξεργασία ώστε να βελτιστοποιείται η λειτουργικότητα της διαδικασίας (Naliyadhara et al. 2022).



Εικόνα 4.3: Σύστημα λειτουργίας ΠΗΠ (Bocker and Silva, 2022)

4.2.2 Παράμετροι διεργασίας ΠΗΠ

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ΠΗΠ αφορούν την παραγωγή των ηλεκτρικών πεδίων και το σχεδιασμό του θαλάμου επεξεργασίας. Επομένως, οι παράμετροι που εξετάζονται και σχετίζονται με την διεργασία αφορούν την παραμονή του τροφίμου εντός του θαλάμου, δηλαδή τις επικρατούσες συνθήκες και τον τρόπο εφαρμογής της διαδικασίας. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την διεργασία των ΠΗΠ είναι: η ένταση του

ηλεκτρικού πεδίου, ο χρόνος επεξεργασίας, η ειδική ενέργεια, η γεωμετρία και αριθμός των παλμών και η θερμοκρασία.

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Μέσω της επιβολής των παλμών η ηλεκτρική ισχύς χαμηλής τάσης μετατρέπεται σε ηλεκτρικά πεδία υψηλής έντασης. Απαιτείται μικρή φόρτιση και γρήγορη εκφόρτιση δεδομένου ότι το πλάτος του παλμού είναι μικρό σε σύγκριση με το χρόνο μεταξύ των παλμών. Σημαντικό ρόλο παίζει επιπλέον και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων, όπως φαίνεται και από τη Σχέση 4.4 για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου:

$$E = \frac{U}{d} \quad (\text{Εξίσωση 4.4})$$

Όπου U είναι η τάση (kV) και d (m) είναι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Συνήθως χρησιμοποιούνται τάσεις 10-60 kV για επεξεργασία. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων αυξάνεται όταν χρειάζεται να επεξεργαστεί μεγαλύτερη ροή προϊόντος και ταυτόχρονα αυξάνεται και η τάση φόρτισης. Επιπλέον, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου εξαρτάται και από το μέγεθος των κυττάρων του προϊόντος που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία. Έρευνες έχουν δείξει πως η μείωση στο μέγεθος των κυττάρων προκαλεί αύξηση ισχύος και κατά συνέπεια αύξηση της έντασης ηλεκτρικού πεδίου.

Χρόνος επεξεργασίας

Ο χρόνος επεξεργασίας μέσα στο θάλαμο εξαρτάται από το γινόμενο της διάρκειας του παλμού (τ) και τον αριθμό των παλμών (n). Με αύξηση των παλμών αυξάνεται και η συνολική κατανάλωση ενέργειας ενώ αν αυξηθεί ο χρόνος που εφαρμόζονται αυξάνεται η θερμοκρασία του δείγματος (Εξίσωση 4.5) (Töpfel et al. 2006):

$$t = n * \tau \quad (\text{Εξίσωση 4.5})$$

Γεωμετρία, πλάτος και αριθμός των παλμών

Το σχήμα των παλμών μπορεί να έχει διάφορες μορφές όπως εκθετική, τετραγωνικό κύμα, ταλαντωτικοί παλμοί κ.ά. Οι πιο συνήθεις μορφές κύματος είναι η εκθετική και η τετραγωνική. Συγκεκριμένα, η εκθετική μορφή παλμών χαρακτηρίζεται από απότομη αύξηση της τάσης που ορίζεται ως στόχος και έπειτα αργή μείωση. Η τετραγωνικής μορφή παλμών βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στα ΠΗΠ και χαρακτηρίζονται από μια πιο περίπλοκη διαδικασία. Γενικότερα, από τις δύο μορφές φαίνεται η τετραγωνική να έχει μεγαλύτερες αποδόσεις (Leadley, 2006). Εκτός από τη μορφή των παλμών, ορίζεται και το πλάτος τους. Το πλάτος εξαρτάται από τη μορφή των παλμών και συγκεκριμένα για την τετραγωνική μορφή ορίζεται ως ο χρόνος για τον οποίο η μέγιστη κορυφή διατηρείται και για την εκθετική ως ο χρόνος μέχρι τη μείωση στο 37% της μέγιστης τιμής των παλμών. Τέλος, φαίνεται πως με αύξηση του αριθμού των παλμών αυξάνεται και ο χρόνος επεξεργασίας στο θάλαμο καθώς επηρεάζεται το πλάτος των παλμών (Maged et al., 2012).

Ειδική ενέργεια παλμών

Η ειδική ενέργεια είναι μια παράμετρος που σχετίζεται με τη θερμοκρασία και την ειδική θερμοχωρητικότητα του προϊόντος. Ορίζει το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας ανά παλμό που προσλαμβάνει το τρόφιμο. Για να καθοριστεί πλήρως η ειδική ενέργεια γίνεται η υπόθεση αδιαβατικής λειτουργίας και ότι ολόκληρο το προσφερόμενο ποσό ενέργειας μετατρέπεται

σε θερμότητα. Μετρίεται σε kJ/kg και υπολογίζεται μέσω της τάσης (V) και της έντασης (I) του ηλεκτρικού ρεύματος στα ηλεκτρόδια του θαλάμου (Εξίσωση 4.6):

$$W = \int V(t)I(t)dt \quad (\text{Εξίσωση 4.6})$$

Θερμοκρασία επεξεργασίας

Η θερμοκρασία είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αποδοτικότητα των ΠΗΠ διότι σχετίζεται με τη μορφολογία του προϊόντος. Σε χαμηλές θερμοκρασίες η κυτταρική μεμβράνη έχει πιο συμπαγή μορφή (μορφή gel) ενώ αυξανόμενης της θερμοκρασίας ρευστοποιείται. Με αυτό τον τρόπο μεταβάλλεται η σταθερότητά της και ενισχύονται τα φαινόμενα μεταφοράς με αποτέλεσμα μεγαλύτερη αποδοτικότητα της διεργασίας.

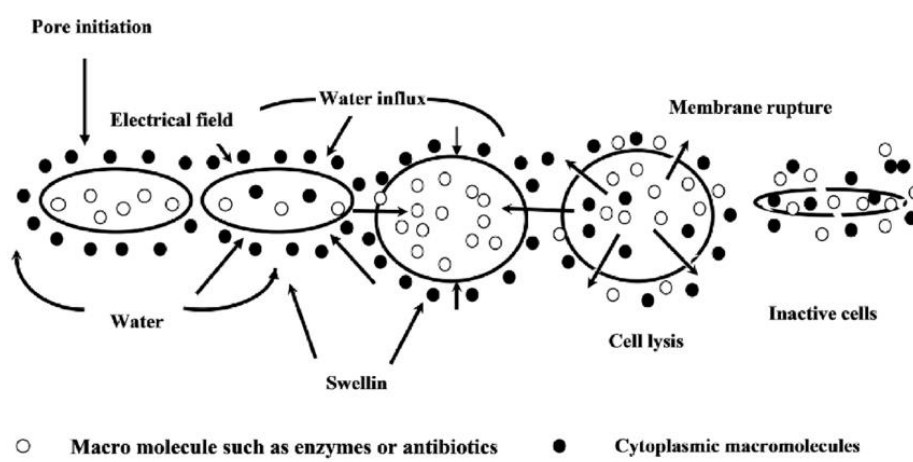
4.2.3 Ηλεκτροδιάτρηση & Φαινόμενα μεταφοράς

Η ηλεκτροδιάτρηση είναι μια διαδικασία που συμβαίνει στο προϊόν κατά την έκθεση του σε παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Πιο συγκεκριμένα, όταν το προϊόν εκτίθεται σε ηλεκτρικό πεδίο αυξάνεται η διαπερατότητά του. Συγκεκριμένα, η αύξηση αυτή επιφέρει ενίσχυση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας εφόσον το προϊόν παρουσιάζει μειωμένη αντίσταση μετά την επεξεργασία (Goldberg and Rubinsky, 2013).

Η εφαρμογή των ΠΗΠ προκαλεί πόλωση στην κυτταρική μεμβράνη με αποτέλεσμα να γίνεται πιο διαπερατή. Συγκεκριμένα, δημιουργούνται πόροι στο επεξεργασμένο προϊόν που επιτρέπουν την διάχυση και εκχύλιση συστατικών. Για την αύξηση της απόδοσης της διαπερατότητας χρειάζεται ένα μέγιστο ποσοστό κυτταρικής αποσύνθεσης το οποίο όμως οδηγεί σε οργανοληπτικά μειονεκτήματα (πιο μαλακό προϊόν). Όπως συμβαίνει και με τις υπόλοιπες παραμέτρους της επεξεργασίας των ΠΗΠ έτσι και στην περίπτωση της αύξησης της διαπερατότητας είναι απαραίτητο να οριστεί μια βέλτιστη ρύθμιση καθώς σε ορισμένα προϊόντα η μείωση της σκληρότητας στην υφή είναι περιοριστική. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για να μετρηθεί η διαπερατότητα. Για παράδειγμα, εάν ο κυτταρικός ιστός χρωματίζεται δύναται να χρησιμοποιηθούν μικροσκοπικές μέθοδοι (Siemer et al., 2012). Επιπλέον, γίνεται και άμεση μέτρηση στο περιεχόμενο του εξαγόμενου υλικού όταν αυτό αποτελείται από σάκχαρα και ιόντα. Ωστόσο και οι δύο αυτές μέθοδοι δε θεωρούνται αρκετά ακριβείς ώστε να προσδιοριστεί πλήρως η κυτταρική διάσπαση των μεμβρανών. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται μια ηλεκτρική μέθοδος που βασίζεται στη μέτρηση της αγωγιμότητας εξαρτώμενη από τη συχνότητα. Η πόλωση στη μεμβράνη δημιουργεί μια αύξηση στο ρεύμα της και κατά συνέπεια μείωση στην αντίσταση της, γεγονός που επιφέρει αύξηση της αγωγιμότητας (Angersbach et al., 2000). Η μέτρηση της αγωγιμότητας επιτρέπει την εκτίμηση του άθικτου κυτταρικού υλικού. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο δείκτης κυτταρικής αποσύνθεσης που είναι το πηλίκο του αποσαθρωμένου κυτταρικού υλικού προς το άθικτο. Μέσω του Z_p γίνεται μια ακριβής μέτρηση του διαρρηγμένου κυτταρικού υλικού (Siemer et al., 2012).

Η κυτταρική αποσύνθεση που επέρχεται με την εφαρμογή των ΠΗΠ επιφέρει, όπως αναφέρθηκε, ενίσχυση στα φαινόμενα μεταφορά μάζας. Αυτή η διαδικασία επηρεάζει διάφορες άλλες μεθόδους επεξεργασίας όπως για παράδειγμα την αφυδάτωση και τη ψύξη. Η αφυδάτωση σχετίζεται με την απώλεια νερού από το προϊόν και θεωρείται μια κλασσική μέθοδος ξήρανσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν προεπεξεργασία για την βελτίωση οργανοληπτικών και διατροφικών χαρακτηριστικών των τροφίμων (Torreggiani, 1993). Για θερμοευαίσθητα προϊόντα χρησιμοποιείται η ωσμωτική αφυδάτωση για την εκροή του

νερού από τον κυτταρικό ιστό. Αυτό πραγματοποιείται με την διάχυση του νερού από το κύτταρο και την μεταφορά του ωσμωτικού διαλύματος εντός του κυττάρου. Η επεξεργασία με ΠΗΠ δημιουργεί κυτταρική διάρρηξη και πόρους στο προϊόν μετατρέποντας τη μεμβράνη διαπερατή και άρα υπάρχει αύξηση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Επομένως, η επεξεργασία με ΠΗΠ σε ένα προϊόν ενισχύει την διαδικασία της ώσμωσης η οποία κατεχοχύν βασίζεται στη μεταφορά ουσιών. Οι δομικές αλλαγές της μεμβράνης του επεξεργασμένου με ΠΗΠ τροφίμου διευκολύνουν τη μεταφορά μάζας επιφέροντας αυξημένη απόδοση στην ώσμωση (Ade-Omowaye et al., 2001). Χρησιμοποιώντας τα ΠΗΠ ως προεπεξεργασία σε ένα προϊόν πριν την ωσμωτική αφυδάτωση επιτυγχάνεται ένα ποιοτικό αποτέλεσμα στο τελικό προϊόν. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε καρότο φαίνεται πως η προεπεξεργασία με ΠΗΠ στο προϊόν αύξησε το συντελεστή διάχυσης και μείωσε το χρόνο της ωσμωτικής αφυδάτωσης από 4h σε 2h (Rastogi et al., 1999). Ομοίως, η ίδια μείωση στο χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης παρατηρήθηκε και σε ιστό μήλου (Amami et al., 2006).



Εικόνα 4.4: Μηχανισμός κυτταρικής αποσύνθεσης κατά την επεξεργασία με ΠΗΠ (Ghoshal, 2023)

4.2.4 Επίδραση ΠΗΠ σε προϊόντα πατάτας

Η μη θερμική επεξεργασία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων βρίσκει εφαρμογή σε ποικιλία προϊόντων τα τελευταία χρόνια. Η πατάτα και τα προϊόντα της αποτελούν ένα κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων στον οποίο φαίνεται πως η εφαρμογή των ΠΗΠ έχει θετικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, αποτελεί το μόνο τρόφιμο που εφαρμόζονται τα ΠΗΠ στο εμπόριο με σκοπό την αποφλοιώση του. Η επεξεργασία με ΠΗΠ μαλακώνει τον ιστό της πατάτας με αποτέλεσμα κατά το κόψιμο να μη σπάνε και επομένως μετά το τηγάνισμα να έχουν ομοιομορφία. Ταυτόχρονα, με τη χρήση των ΠΗΠ είναι δυνατόν να αποφευχθεί η προ επεξεργασία με προθέρμανση γεγονός που οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και νερού. Ο χρόνος επεξεργασίας είναι μερικά μικροδευτερόλεπτα και η διαδικασία προχωράει με συνεχή ροή (Hill et al., 2022).

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η επεξεργασία με ΠΗΠ στο ωμό προϊόν, αποτελέσματα φαίνεται να εμφανίζονται και μετά την θερμική επεξεργασία τηγανίσματος. Οι Fauster et al. παρατήρησαν πως εκτός από το μαλάκωμα του ιστού της πατάτας υπήρξε και απώλεια αμύλου κατά την διαδικασία του κοψίματος. Επιπλέον, είδαν πως στο τηγάνισμα η πρόσληψη ελαίου ήταν μειωμένη στις πατάτες που είχαν υποστεί επεξεργασία με ΠΗΠ (Fauster et al., 2018). Επιπλέον, οι Ostermeier et al. σε μελέτη που έκαναν σε τσιπς πατάτας παρατήρησαν πως δείγματα που είχαν υποστεί επεξεργασία με ΠΗΠ κατά το τηγάνισμα παρουσίασαν φυσαλίδες μεγαλύτερου όγκου γεγονός που σημαίνει πως η απώλεια νερού κατά τη θερμική επεξεργασία είναι μεγαλύτερη (Ostermeier et al., 2021).

Σημαντική ωστόσο φαίνεται να είναι και η συμβολή των ΠΗΠ στην διάχυση των ουσιών και στην βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Τα κύτταρα της πατάτας εφόσον το δείγμα υποβληθεί σε παλμικά ηλεκτρικά πεδία, έχουν την δυνατότητα να αποβάλλουν ενδοκυτταρικό υγρό και να απορροφήσουν ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους. Ταυτόχρονα, μειώνονται τα αναγωγικά σάκχαρα και οι δισακχαρίτες επιβραδύνοντας με αυτό τον τρόπο την αντίδραση Maillard και διατηρώντας το χρώμα του προϊόντος σε φυσιολογικά επίπεδα (Janositz et al., 2011).

Εκτός από την εφαρμογή των ΠΗΠ σε πατάτα που προορίζεται για κατανάλωση εφόσον υποστεί θερμική επεξεργασία (π.χ. τηγάνισμα), ευρεία είναι η χρήση τους και σε άλλα προϊόντα πατάτας όπως για παράδειγμα τα τσιπς πατάτας. Ακολουθούν την ίδια διαδικασία επεξεργασίας, δηλαδή υποβάλλεται σε ηλεκτρικά πεδία το ωμό προϊόν, και στη συνέχεια κόβονται και τηγανίζονται. Ωστόσο, φαίνεται πως με την διαδικασία των ΠΗΠ λύνονται μερικά προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την παραγωγή των τσιπς. Συγκεκριμένα, το προϊόν που έχει υποστεί επεξεργασία με ΠΗΠ μπορεί να τηγανιστεί λιγότερη ώρα και σε χαμηλότερη θερμοκρασία με το τελικό αποτέλεσμα να είναι το ίδιο. Αυτό πραγματοποιείται διότι ο ρυθμός απώλειας νερού είναι μεγαλύτερος λόγω του ότι ευνοείται η διάχυση. Η παρατήρηση αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς το τηγάνισμα σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να επιφέρει την παραγωγή του τοξικού ακρυλαμιδίου. Επιπλέον, λόγω των ευνοϊκών συνθηκών για μεταφορά μάζας η εκροή των σακχάρων από το προϊόν βοηθάει στο να διατηρηθεί το χρώμα και η πρόσληψη ελαίου διατηρείται σε χαμηλά ποσοστά (Hill et al., 2022).

Πίνακας 4.2: Εφαρμογή ΠΗΠ ως προεπεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης πατάτας

Βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας ΠΗΠ	Ωσμωτικό διάλυμα	Αναλογία διάλυμα:πατάτα	T (°C)	Βιβλιογραφική αναφορά
E = 1 kV/cm, n = 9 παλμοί	Μαννιτόλη	-	-	(Fincan and Dejmek, 2003)
E = 0.4 kV/cm, n = 2 παλμοί	Χλωριούχο νάτριο	1:20	25	(Ben Ammar et al., 2010)
E = 0.5 kV/cm, n = 200 παλμοί	Γλυκερόλη, χλωριούχο νάτριο, ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη	1:5	35	(Katsouli et al., 2024)



Εικόνα 4.5: Επεξεργασία πατάτας με ΠΗΠ (Pulsed Electric Field Food Processing | Elea, 2024)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή ενός τελικού προϊόντος πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη διάρκεια ζωής. Για αυτό το λόγο, ως πρώτο βήμα μελετήθηκε η ωσμωτική αφυδάτωση αλλά και η προ επεξεργασία με ΠΗΠ. Στη συνέχεια, έγινε μελέτη της επίδρασης τηγανίσματος στην ποιότητα των προϊόντων και του ελαίου. Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση της ώσμωσης στην διατηρησιμότητα του προϊόντος μέσω των απαραίτητων οργανοληπτικών, φυσικοχημικών και μικροβιολογικών ελέγχων. Για την ολοκλήρωση του θέματος ήταν σημαντική η οργανοληπτική αξιολόγηση των τηγανισμένων προϊόντων.

5.2 Πειραματικός Σχεδιασμός

Ο πειραματικός σχεδιασμός κινήθηκε σε τρεις κύριους άξονες με στόχο την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη διάρκεια ζωής. Το πρώτο μέρος αφορούσε την διαδικασία της προ επεξεργασίας με τις μη θερμικές μεθόδους, ωσμωτική αφυδάτωση και Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ). Συγκεκριμένα μελετήθηκαν τα φαινόμενα μεταφοράς-διάχυσης(απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών) που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση με ή χωρίς εφαρμογή ΠΗΠ, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των διαλυμένων ουσιών του ωσμωτικού διαλύματος που προσλήφθηκαν από την πατάτα καθώς και οργανοληπτική αξιολόγηση του προϊόντος. Το δεύτερο μέρος αφορούσε στη θερμική επεξεργασία τηγανίσματος των προϊόντων όπου ερευνηθήκε η πρόσληψη ελαίου από τα προϊόντα πατάτας (μη επεξεργασμένα, ωσμωτικά επεξεργασμένα και ΠΗΠ-ωσμωτικά επεξεργασμένα) και η ποιοτική υποβάθμιση του ελαίου της φριτέζας και της πατάτας μέσω των παραγόντων της οξείδωσης (πρωτογενή και δευτερογενή προϊόντα). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική αξιολόγηση, μέτρηση υφής και υγρασίας του τηγανισμένου προϊόντος. Το τρίτο μέρος της διαδικασίας αφορούσε πειράματα σχετικά με την διατηρησιμότητα των προϊόντων πατάτας. Τα προϊόντα πατάτας συσκευάστηκαν σε συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας και αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασίες 4,8 και 12 °C. Πραγματοποιήθηκε μελέτη της μικροβιακής ανάπτυξης, της ποιοτικής και οργανοληπτικής υποβάθμισης στις θερμοκρασίες του πειράματος. Τέλος, υπολογίστηκε η διαρκεία ζωής των προϊόντων και σε συσκευασία υπό κενό στη θερμοκρασία αναφοράς των 4 °C.

5.2.1 Μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη η πατάτα Νάξου (ποικιλία Sprunta). Διατηρούνταν σε σκιερό, δροσερό μέρος και κόβονταν σε σχήμα κυλινδρικό (λωρίδες), μήκους 4,5-5cm και βάρους 5g. Στο πειραματικό στάδιο της ώσμωσης αρχικά ερευνηθήκε η κατάλληλη σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος. Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα χρησιμοποιήθηκε ωσμωτικό διάλυμα από γλυκερόλη (Glycerine 99.5%, Falcon AEBE) , χλωριούχο νάτριο, νερό και ασκορβικό οξύ (Dermesonlouoglou et al., 2016). Η γλυκερόλη όπως έχει αναφερθεί χρησιμοποιείται συχνά ως ωσμωτικός παράγοντας λόγω του ότι έχει το χαμηλότερο μοριακό βάρος και διεισδύει καλύτερα στα κυτταρικά τοιχώματα του προϊόντος. Η προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου βοηθάει στα φαινόμενα μεταφοράς και στη διάχυση του νερού (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007). Επιπλέον, το ασκορβικό οξύ εμποδίζει το ενζυμικό μαύρισμα και έχει αντιοξειδωτική δράση (Nagai et al., 2015).

Για την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιλέχθηκε η αναλογία τροφίμου ανά όγκο ωσμωτικού διαλύματος 1:5 και η θερμοκρασία στους 35 °C (Dermesonlouoglou et al., 2019).

Επιπλέον, γινόνταν ήπια ανάδευση κατά την ώσμωση για την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς. Ο χρόνος επεξεργασίας της ώσμωσης επιλέχθηκε στα 120 min (2h). Χρησιμοποιήθηκε συσκευή υδατόλουτρου (Grant GL5400 Linear Shaking Water Bath, Royston, UK) (Εικόνα 5.1) ή δοχείο θέρμανσης (Silvercrest 1800 Bochum, Germany) (Εικόνα 5.2) στην περίπτωση ώσμωσης μεγαλύτερης ποσότητας πατάτας με εξαρτήματα ανάδευσης. Τα ωσμωτικά διαλύματα που μελετήθηκαν είναι:

- 10% γλυκερόλη (Gly), 5% χλωριούχο νάτριο (NaCl), 1% ασκορβικό οξύ (AA), 84% απιονισμένο νερό
- 20% γλυκερόλη (Gly), 5% χλωριούχο νάτριο (NaCl), 1% ασκορβικό οξύ (AA), 74% απιονισμένο νερό
- 30% γλυκερόλη (Gly), 5% χλωριούχο νάτριο (NaCl), 1% ασκορβικό οξύ (AA), 64% απιονισμένο νερό.

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιήθηκε κινητική μελέτη σε 0,30,60,120 και 180 min. Τα δείγματα στους συγκεκριμένους χρόνους εξετάστηκαν ως προς την πρόσληψη ολικών στερεών (SG), την απώλεια νερού (WL), την ενεργότητα νερού (a_w), τη σκληρότητα και το χρώμα. Τελικώς, επιλέχθηκαν τα διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη καθώς το διάλυμα με 30% ποσότητα γλυκερόλης απορρίφθηκε οργανοληπτικά.



Εικόνα 5.1: Συσκευή υδατόλουτρου (Grant GL5400 Linear Shaking Water Bath, Royston, UK)



Εικόνα 5.2: Δοχείο θέρμανσης (Silvercrest 1800 Bochum, Germany)

5.2.2. Χρήση Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων ως προ επεξεργασία

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ) αποτελούν μια μη θερμική μέθοδο που ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς. Στην παρούσα πειραματική διαδικασία μελετήθηκε η επίδραση τους κατά την διαδικασία της ώσμωσης, του τηγανίσματος, της διατηρησιμότητας και της οργανοληπτικής αξιολόγησης.

Συνθήκες επεξεργασίας

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε μονάδα πιλοτικής κλίμακας (Elcrack-5kW, DIL, Quakenbruck, Germany) (Εικόνα 5.3), η οποία αποτελείται από ένα δοχείο επεξεργασίας όγκου 400 mL και διαστάσεων 80x100x50 mm, όπου 80 mm είναι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Στο δοχείο αυτό, τοποθετούνται τα δείγματα πατάτας και προστίθεται νερό βρύσης έως τελικό όγκο 300 mL. Τα δεδομένα για την επεξεργασία με ΠΗΠ αφορούν την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και ο αριθμός των παλμών. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η βέλτιστη απόδοση των ΠΗΠ σε πατάτα πραγματοποιείται με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0,5 kV/cm και 200 παλμούς (Katsouli et al., 2024). Στα δείγματα που υπέστησαν προ επεξεργασία με ΠΗΠ πραγματοποιήθηκε ώσμωση με διαλύματα:

- 10% γλυκερόλη (Gly), 5% χλωριούχο νάτριο (NaCl), 1% ασκορβικό οξύ (AA), 84% απιονισμένο νερό
- 20% γλυκερόλη (Gly), 5% χλωριούχο νάτριο (NaCl), 1% ασκορβικό οξύ (AA), 74% απιονισμένο νερό



Εικόνα 5.3: Πιλοτική μονάδα παραγωγής ΠΗΠ (Elcrack-5kW, DIL, Quakenbruck, Germany)

5.2.3 Μελέτη συμπεριφοράς ωσμωνένων και ωσμο-αφυδατωμένων δειγμάτων πατάτας στο τηγάνισμα

Το τηγάνισμα πραγματοποιήθηκε σε οικιακή φριτέζα του εργαστηρίου (Tefal Visialis Deep Fryer). Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία τηγανίσματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν 180 °C και ο χρόνος τηγανίσματος 8-10 min. Στη φριτέζα τοποθετούνταν 100 g δείγματος που είχαν ξεπλυθεί με νερό βρύσης ανά 2L αραβοσιτελαίου που προμηθευόταν από supermarket AB. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν ωσμο-αφυδατωμένα (δηλαδή είχαν υποστεί ωσмотική αφυδάτωση) και ΠΗΠ-ωσμο-αφυδατωμένα (δηλαδή είχαν υποστεί προ επεξεργασία με ΠΗΠ και ωσmotική αφυδάτωση) με τα διαλύματα που επιλέχθηκαν. Κατά την διάρκεια του τηγανίσματος λήφθηκαν δείγματα ελαίου από τη φριτέζα και ερευνήθηκε η ποιοτική υποβάθμισή του. Πιο αναλυτικά, μελετήθηκαν τα πρωτογενή προϊόντα οξείδωσης (αριθμός

υπεροξειδίων) και τα δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης (αριθμός ανισιδίνης, δείκτες K₂₃₂ και K₂₇₀).

Το τηγανισμένο προϊόν λήφθηκε από τη φριτέζα σε χρόνους 0, 2, 4, 6, 8 και 10 min, πολτοποιήθηκε και εκχυλίστηκε με εξάνιο. Στη συνέχεια, το εξάνιο εξατμίστηκε μέσω του περιστροφικού εξατμιστήρα κενού (Heidolph G1, Germany) και μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε έλαιο στο τελικό προϊόν. Παράλληλα, ερευνήθηκε και στο απορροφούμενο λάδι η ποιοτική του υποβάθμιση λόγω οξείδωσης και μεταξύ των αποτελεσμάτων ελαίου φριτέζας – απορροφούμενου ελαίου πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για την ένδειξη στατιστικής διαφοράς.

Η οργανοληπτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε στα τηγανισμένα προϊόντα με τη συμμετοχή δέκα δοκιμαστών από το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ. Αξιολογήθηκαν χαρακτηριστικά σχετικά με την εμφάνιση, τη γεύση, την οσμή και την υφή των προϊόντων συγκριτικά με την μη επεξεργασμένη τηγανητή πατάτα.

5.2.4 Μελέτη διατηρησιμότητας των ωσμη-αφυδατωμένων προϊόντων

Η μελέτη διατηρησιμότητας πραγματοποιήθηκε σε ανεπεξέργαστα, επεξεργασμένα με ωσμωτική αφυδάτωση και σε ωσμη-αφυδατωμένα δείγματα πατάτας με προ-επεξεργασία ΠΗΠ. Το διάλυμα που επιλέχθηκε τελικώς μετά και την οργανοληπτική αξιολόγηση ήταν με 20% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ και 74% νερό. Μετά την επεξεργασία τους, 30 g δείγματος πατάτας (από την κάθε διεργασία) συσκευάστηκαν σε συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας πολυστρωματικού υλικού πολυαμιδίου-πολυαιθυλενίου και τοποθετήθηκαν σε θαλάμους (Sanyo MIR 153, Sanyo Electric, Ora-Gun, Gunma, Japan) σταθερής θερμοκρασίας 4, 8 και 12°C. Οι αρχικές συνθήκες της συσκευασίας ήταν 12,2% CO₂ και 0,188% O₂. Επιπλέον, στους 4 °C μελετήθηκε και η συσκευασία υπό κενό (vacuum) για τα δείγματα πατάτας, ως συσκευασία αναφοράς. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, πραγματοποιήθηκε μέτρηση χρώματος, υφής, μικροβιακού φορτίου (ολικό μικροβιακό φορτίο, ζυμομύκητες, ψευδομονάδες και εντεροβακτήρια), pH και της σύστασης της συσκευασίας (για τη συσκευασμένα δείγματα υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα). Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική αξιολόγηση σε όλα τα ωμά και τηγανισμένα δείγματα μέχρι να απορριφθούν.

5.3 Αναλυτικές μέθοδοι

5.3.1 Μέτρηση στερεού υπολείμματος και περιεχόμενου νερού

Ο προσδιορισμός του περιεχόμενου νερού και του στερεού των δειγμάτων πατάτας, πραγματοποιήθηκε με τη ζύγιση τους πριν και μετά την επεξεργασία. Έπειτα, το δείγμα τυλίγεται σε προζυγισμένο αλουμινόφυλλο και τοποθετείται για 24 ώρες σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 110 °C (WTB BINDER 7200, Type C53, Tuttlingen, Germany) και ζυγίζεται εκ νέου.

5.3.2 Μέτρηση ενεργότητας νερού

Η ενεργότητα νερού των δειγμάτων, προσδιορίστηκε μέσω της συσκευής Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA (Εικόνα 5.4). Μικρή ποσότητα δείγματος κόβεται σε μικρά κομμάτια κυβικού σχήματος ανά χρονικά διαστήματα και τοποθετείται σε πλαστικό μετρητή και εισάγεται στον μετρητή. Η αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου οργάνου βασίζεται στη μέτρηση του σημείου δρόσου. Ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού γίνεται μέσω μίας υπέρυθρης ακτίνας που εστιάζει σε έναν μικρό καθρέπτη και καθορίζει την ακριβή

θερμοκρασία δρόσου του δείγματος, η οποία μεταφράζεται ενεργότητα νερού. Η τιμή της ενεργότητας καταγράφεται στο όργανο όταν επιτευχθεί ισορροπία ατμών.



Εικόνα 5.4: Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού (Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA)

5.3.3 Μέτρηση χρώματος

Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν με το ψηφιακό χρωματόμετρο Eye One (GretagMacbeth) (Εικόνα 5.5). Χρησιμοποιήθηκε η χρωματική κλίμακα την CIELAB με χρωματικούς δείκτες τους L, a και b. Ο πρώτος δείκτης, το L, εκφράζει τη φωτεινότητα του δείγματος, το a την ερυθρότητα και το b είναι η παράμετρος του κίτρινου χρώματος. Στην περίπτωση του a, για θετικές τιμές προσδιορίζει το κόκκινο χρώμα, ενώ για αρνητικές τιμές προσδιορίζει το πράσινο χρώμα. Όσον αφορά τη παράμετρο b, όταν παίρνει αρνητικές τιμές προσδιορίζει το μπλε χρώμα, ενώ όταν παίρνει θετικές τιμές προσδιορίζει το κίτρινο χρώμα. Τα δείγματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα τοποθετούνταν πάνω σε διηθητικό χαρτί για να γίνει η μέτρηση. Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων επαναλαμβάνονται δύο φορές και πραγματοποιούνται σε αντιπροσωπευτικά σημεία πάνω στην επιφάνειά τους. Οι δείκτες L, a και b χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη αμύρωσης BI με χρήση της παρακάτω εξίσωσης (Εξίσωση 5.1) (Buera et al., 1987; Hirschler, 2012):

$$BI = \frac{100 \left(\frac{(a + 1.75 * L)}{(5.645 * L + a - 0.3012 * b)} - 0.31 \right)}{0.17} \quad (\text{Εξίσωση 5.1})$$



Εικόνα 5.5: Χρωματόμετρο Eye One (GretagMacbeth)

5.3.4 Προσδιορισμός υφής

Για την μέτρηση σκληρότητας των δειγμάτων πατάτας χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA.XT2i Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK) (Εικόνα 5.6). Τα δείγματα επεξεργάζονται με κατάλληλο στέλεχος, στην προκειμένη περίπτωση κοπίδι, η μέτρηση γίνεται σε αντιπροσωπευτικό σημείο της τεμαχισμένης πατάτας και επαναλαμβάνεται τρεις φορές. Οι παράμετροι της επεξεργασίας είναι η ταχύτητα μέτρησης και το βάθος καθόδου κοπής, οι οποίες ισούνται με 1.00 mm/sec και 4.00 mm αντίστοιχα. Στην περίπτωση του τηγανητού δείγματος πατάτας το βάθος καθόδου ισούται με 6.00 mm.



Εικόνα 5.6: Αναλυτής Υφής TA.XT2i Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK) με κοπίδι

5.3.5 Μέτρηση γλυκερόλης

Η μέτρηση της γλυκερόλης πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την έρευνα των Kuhn et al. (2015) με τις απαραίτητες τροποποιήσεις και προσαρμογές. Αρχικά παρασκευάστηκαν τα αντιδραστήρια R1 και R2. Πιο συγκεκριμένα, για το αντιδραστήριο R1 προστέθηκαν 180 mg υπερίωδικου νατρίου σε 60 mL απιονισμένο νερό και αναδεύτηκαν μέχρι να διαλυθούν πλήρως. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 10 mL οξικού οξέος και 770 mg οξικού αμμωνίου όπου αναδεύτηκαν πολύ καλά μέχρι να διαλυθούν πλήρως. Το διάλυμα τοποθετήθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL, συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή και ανακινήθηκε πολύ καλά. Για το αντιδραστήριο R2 προστέθηκε 1 mL ακετυλακετόνη σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL όπου συμπληρώθηκε έως τη χαραγή με ισοπροπανόλη και αποθηκεύτηκε σε σκιερό μέρος.

Τα δείγματα πατάτας μετά την ώσωση σκουπίστηκαν ελαφρώς με χαρτί. Στη συνέχεια, ζυγίστηκε μια ποσότητα 20-30 g και προστέθηκε απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:1. Το μίγμα αλέστηκε σε πολυκόφτη (Izzy Multi 550) μέχρι ωσότου να πολτοποιηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Έπειτα, με τη βοήθεια της μικροπιπέτας λήφθηκαν 750 μ L και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σωληνάρια Eppendorf. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις. Ακολούθησε φυγοκέντρηση των δειγμάτων για 5 min σε 10000 RCF/g στους 20 °C στην

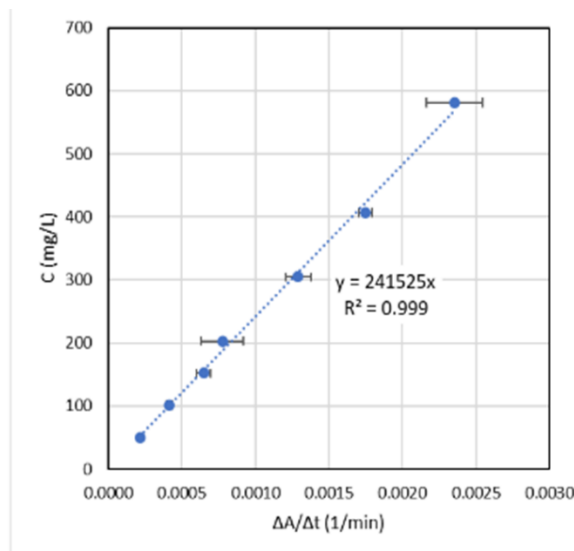
απαραίτητη συσκευή (Minicen, Ortoalresa, Daganzo, Madrid) (Εικόνα 5.7). Μετά τη φυγοκέντρηση ακολούθησε η αραιώση των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση σε διαδοχικές αραιώσεις 1:5, 1:10, 1:50, 1:100, 1:200 με απιονισμένο νερό σε τελικό όγκο 1 mL. Αφού ολοκληρώθηκαν οι αραιώσεις, 40 μ L από κάθε αραιωμένο δείγμα τοποθετήθηκαν σε microplate και 40 μ L από το αντιδραστήριο R1 προστέθηκαν έπειτα. Η microplate αναδεύτηκε καλά και διατηρήθηκε σε σκοτεινό μέρος για 20 min. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν 125 μ L από το αντιδραστήριο R2 και αναδεύτηκαν. Πραγματοποιήθηκε φωτομέτρηση για 40 min σε μήκος απορρόφησης 410 nm σε SPECTROstar Nano Microplate Reader (BMG LABTECH, Ortenberg, Germany) (Εικόνα 5.8). Τα αποτελέσματα συλλέχθηκαν και μέσω της γραμμικής τους τάσης και συγκεκριμένα μέσω της κλίσης ($\Delta A/\Delta t$) έγινε η αναγωγή στην πρότυπη καμπύλη αναφοράς (Εικόνα 5.9) για την εύρεση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης (σε mg/L).



Εικόνα 5.7: Συσκευή φυγοκέντρησης (Minicen, Ortoalresa, Daganzo, Madrid)



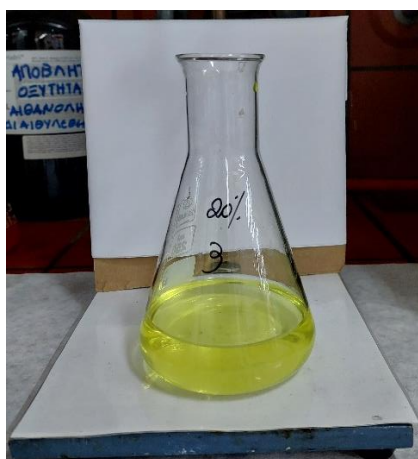
Εικόνα 5.8: Συσκευή φωτομέτρησης SPECTROstar Nano Microplate Reader (BMG LABTECH, Ortenberg, Germany)



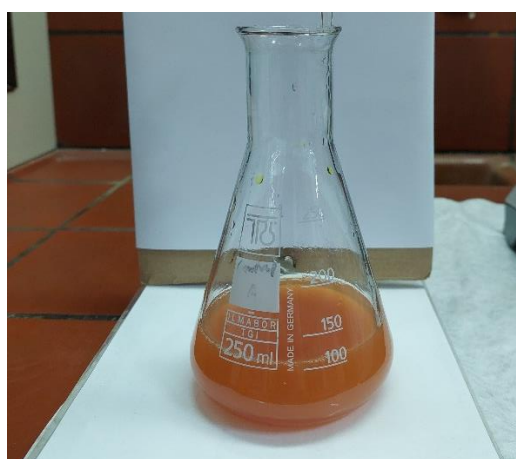
Εικόνα 5.9: Πρότυπη καμπύλη αναφοράς για τη μέτρηση γλυκερόλης

5.3.6 Μέτρηση χλωριούχου νατρίου

Η πατάτα αφού πλυθεί και επεξεργαστεί σκουπίζεται καλά με χαρτί. Από τα δείγματα αυτά λήφθηκε ποσότητα ίση με 30-40 g και προστέθηκε απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:10. Το μίγμα πατάτας-νερού πολτοποιήθηκε σε πολυκόφτη (Izzy Multi 550) και λήφθηκαν 5 mL με τη χρήση πιπέτας. Στη συνέχεια, προστέθηκαν σε κωνική φιάλη των 25 mL μαζί με 100 mL απιονισμένο νερό. Προστέθηκε 1 mL δείκτη K_2CrO_4 5% w/v και ακολούθησε τιτλοδότηση με διάλυμα $AgNO_3$ 0.1 N. Η τιτλοδότηση σταμάτησε όταν το χρώμα του διαλύματος μετατράπηκε από κίτρινο (Εικόνα 5.10) σε πορτοκαλί-καφέ (Εικόνα 5.11). Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 2-3 επαναλήψεις.



Εικόνα 5.10: Διάλυμα πριν την τιτλοδότηση



Εικόνα 5.11: Διάλυμα μετά την τιτλοδότηση

5.3.7 Μέτρηση βιταμίνης C

Η βιταμίνη C προσδιορίστηκε μέσω της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης HPLC εφόσον το δείγμα επεξεργάστηκε καταλλήλως. Αρχικά, τα δείγματα πατάτας πολτοποιούνται με πολυκόφτη (Izzy Multi 550) και απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:1. Στη συνέχεια, ζυγίζονται 2,5 g από το πολτοποιημένο δείγμα και προστίθενται 7,5 mL διαλύματος μεταφωσφορικού οξέος (Sigma-Aldrich) 4,5% w/w. Πραγματοποιείται καλή ανάδευση του μίγματος με μαγνητικό αναδευτήρα για 15 min και στη συνέχεια διηθείται υπό κενό. Το διήθημα συλλέγεται και μετριέται σε ογκομετρικό κύλινδρο των 10 mL από όπου λαμβάνεται

με τη χρήση σύριγγας. Στη σύριγγα για την παραλαβή του διηθήματος χρησιμοποιείται φίλτρο 0,45μm (Chromafil PVDF-45/25, Macherey-Nagel, Germany) και τοποθετείται έπειτα σε σωληνάριο Errendorf ώστε να εισαχθεί στη χρωματογραφική στήλη. Για την κινητή φάση της χρωματογραφικής στήλης χρησιμοποιείται νερό μαζί με μικρή ποσότητα διαλύματος μεταφωσφορικού οξέος με pH = 2,2. Όσον αφορά το χρωματογραφικό σύστημα που χρησιμοποιείται ανήκει στη σειρά HP 1100 και περιλαμβάνει βαθμωτή αντλία τεσσάρων καναλιών, απαερωτή κενού, στήλη ODS Hypersil (250x4.6 mm) με σωματίδια μεγέθους 5μm, βρόχο όπου πραγματοποιείται η «ένεση» Rheodyne 20μL injection loop, ανιχνευτή Diode Array. Τέλος, η ανίχνευση της βιταμίνης C (L- ασκορβικό οξύ) πραγματοποιείται στα 245 nm και ποσοτικοποιείται μέσω της πρότυπης καμπύλης αναφοράς $y=0,0964x$ με $R^2=0,9984$ (Giannakourou M.C. & Taoukis P., 2003).

5.3.8 Μέτρηση περιεκτικότητας σε λιπαρά

Κατά την διαδικασία τηγανίσματος παραλαμβάνονται από τη φριτέζα δείγματα πατάτας σε χρόνους 0,2,4,6,8 και 10 min. Από τα δείγματα αυτά ζυγίζεται μία ποσότητα ίση με 5-10 g και στη συνέχεια ακολουθεί η πολτοποίηση των δειγμάτων με γουδοχέρι. Όταν το δείγμα πολτοποιηθεί πλήρως τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως των 250 mL μαζί με εξάνιο σε αναλογία δείγματος-διαλύτη 1:10. Το μίγμα αφήνεται για ανάδευση με μαγνητικό αναδευτήρα για περίπου 40 min και στη συνέχεια η υγρή φάση διαλύτη-ελαίου τοποθετείται σε προζυγισμένες σφαιρικές φιάλες των 100 mL μέσω διήθησης. Έπειτα, χρησιμοποιείται ο εξατμιστήρας κενού Heidolph G1, Germany (Εικόνα 5.12) για την εξάτμιση του εξανίου σε θερμοκρασία 40 °C και με ήπια περιστροφή της φιάλης. Τέλος, ζυγίζονται εκ νέου οι σφαιρικές φιάλες και μετριέται το μικτό βάρος φιάλης-ελαίου όπου μέσω του απόβαρου και της αρχικής ποσότητας υπολογίζεται η περιεκτικότητα σε λιπαρά.

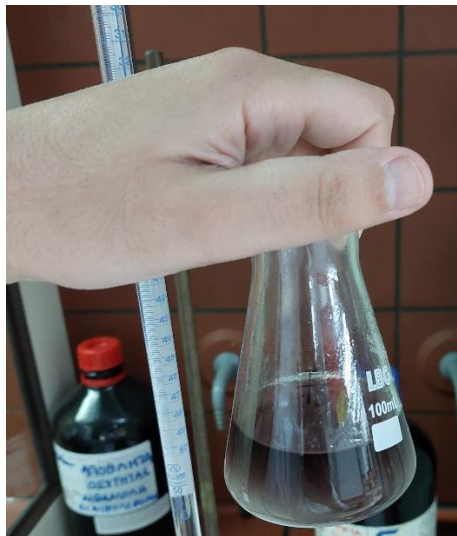


Εικόνα 5.12: Εξατμιστήρας κενού Heidolph G1, Germany

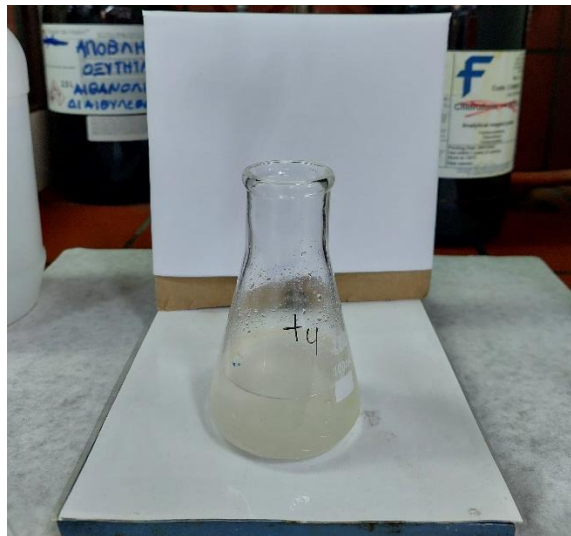
5.3.9 Μέτρηση αριθμού υπεροξειδίων

Τα προϊόντα οξείδωσης αποτελούν σημαντική ένδειξη για την ποιότητα του ελαίου. Ένας σημαντικός δείκτης για τα πρωτογενή προϊόντα οξείδωσης είναι ο αριθμός υπεροξειδίων (PV). Σε χρονικά διαστήματα 0,2,4,6,8 και 10 min λαμβάνεται δείγμα αραβοσιτελαίου AB με πιπέτα Pasteur από τη φριτέζα και τοποθετείται σε δοκιμαστικό γυάλινο σωλήνα. Από το κάθε σωληνάκι ζυγίζεται ποσότητα 1-2 ($\pm 0,05$) g σε αναλυτικό ζυγό (ABT-NM KERN) σε κωνική φιάλη των 100 mL. Στη συνέχεια προστίθενται 30 mL μίγματος οξικού οξέος – χλωροφορμίου αναλογίας 3:2 και 0,5 mL κορεσμένο διάλυμα KI. Το διάλυμα ανακινείται

καλά και αφήνεται για 5 min σε σκοτεινό μέρος. Έπειτα, προστίθενται 30 mL απιονισμένο νερό και 0,5 mL δείκτη αμύλου και ανακινείται εκ νέου. Το διάλυμα με I_2 ογκομετρείται με τιτλοδότη $Na_2S_2O_3$ 0.01 N. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται με τον αποχρωματισμό του διαλύματος (εξαφάνιση μπλε-μωβ χρώματος) (Εικόνα 5.13-5.14). Πραγματοποιείται τιτλοδότηση και σε τυφλό δείγμα.



Εικόνα 5.13: Διάλυμα πριν την τιτλοδότηση



Εικόνα 5.14: Διάλυμα μετά την τιτλοδότηση

5.3.10 Μέτρηση αριθμού ανισιδίνης, δείκτη K_{232} και K_{270}

Για την ένδειξη δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης χρησιμοποιούνται ο αριθμός ανισιδίνης (p-AV) για τις αλδεΐδες και οι δείκτες K_{232} και K_{270} για τα συζυγή διένια. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μελέτη των δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης και στο έλαιο της φριτέζας αλλά και στο προσροφούμενο έλαιο της πατάτας στα 10 min τηγανίσματος.

Μέτρηση αριθμού ανισιδίνης (p-AV)

Έλαιο φριτέζας: Λαμβάνονται από τη φριτέζα δείγματα ελαίου στα 10 min και τοποθετούνται σε δοκιμαστικό γυάλινο σωλήνα. Στη συνέχεια ζυγίζονται σε ογκομετρική φιάλη 0,25 g και συμπληρώνεται μέχρι τη χαραγή ισοοκάνιο. Τοποθετείται μικρή ποσότητα σε κυψελίδα χαλαζία 1cm και μετريέται η απορρόφηση στα 350 nm ως προς το διάλυμα αναφοράς ισοοκάνιο. Έπειτα λαμβάνονται 5 mL από την φιάλη με σιφώνι και τοποθετούνται σε δοκιμαστικό σωλήνα όπου προστίθεται 1 mL διαλύματος ανισιδίνης σε οξικό οξύ (2.5 g/L). Το μίγμα ανακινείται καλά μέσω της συσκευής Vortex και μετά από 10 min μετريέται η απορρόφηση στα 350 nm ως προς το διάλυμα αναφοράς ισοοκτανίου-δ/τος ανισιδίνης σε οξικό οξύ χρησιμοποιώντας τη συσκευή.

Έλαιο πατάτας: Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιήθηκε στη σφαιρική φιάλη αμέσως μετά την εκχύλιση και εξατμίση του εξανίου. Πιο συγκεκριμένα, αφού ζυγιστεί η φιάλη με το έλαιο τοποθετούνται 25 mL ισοοκτανίου. Το μίγμα αναδεύεται πολύ καλά μέσω της συσκευής Vortex. Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία με το έλαιο φριτέζας.

Μέτρηση δεικτών K_{232} και K_{270}

Έλαιο φριτέζας: Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με το ίδιο μίγμα που παρασκευάστηκε για τον αριθμό ανισιδίνης, οπότε η διαδικασία παραγωγής είναι ακριβώς η ίδια. Στη συνέχεια, το

δείγμα της ογκομετρικής φιάλης αραιώθηκε με ισοοκτάνιο σε αναλογία μίγματος-ισοοκτανίου 1:10 σε τελικό όγκο 5 mL. Το δείγμα τοποθετήθηκε σε κυψελίδα χαλαζία και μετρήθηκε στα μήκη κύματος 232 nm και 270 nm για την εύρεση των αντίστοιχων δεικτών.

Έλαιο πατάτας: Ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία με τον αριθμό ανισιδίνης χρησιμοποιώντας τη σφαιρική φιάλη με το εκχυλισμένο έλαιο. Ομοίως, πραγματοποιήθηκε η αντίστοιχη αραιώση με το έλαιο φριτέζας και το δείγμα μετρήθηκε στα μήκη κύματος 232 nm και 270 nm.

5.3.11 Διαδικασία οργανοληπτικής αξιολόγησης

Καθ'όλη την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιούνταν οργανοληπτικοί έλεγχοι στα ωσσω-αφυδατωμένα, ΠΗΠ-ωσσω-αφυδατωμένα και μη επεξεργασμένα προϊόντα πατάτας. Συγκεκριμένα, τα προϊόντα τηγανίζονταν για 10 min σε φριτέζα στους 180 °C και τοποθετούνταν σε πιάτα για την δοκιμή. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε χωρίς να γνωρίζουν οι δοκιμαστές ποιο δείγμα αντιπροσωπεύει κάθε προ επεξεργασία, συμπληρώνοντας το απαραίτητο έντυπο (Εικόνα 5.15). Τα προϊόντα βαθμολογήθηκαν σε κλίμακα από 1 (πολύ κακό) – 9 (πολύ καλό) βάσει αρέσκειας. Επιπλέον, εξετάστηκαν και τα χαρακτηριστικά του προϊόντος (χρώμα, υφή, άρωμα, εμφάνιση) που βαθμολογήθηκαν από 1 (καθόλου ένταση) – 9 (πολύ υψηλή ένταση). Παράλληλα, οργανοληπτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε και στα ωμά φρεσκοκομμένα προϊόντα κατά την διάρκεια του πειράματος της διατηρησιμότητας με την ίδια κλίμακα βαθμολόγησης. Συμμετείχαν 10-12 δοκιμαστές από το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ και τα αποτελέσματα προέκυψαν ως μέσος όρος των βαθμολογιών.

Έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου

Ημερομηνία:

Ονοματεπώνυμο:

Ωμό προϊόν φρεσκοκομμένης πατάτας							
Βαθμολογήστε ως προς την ένταση 1-9 (1: καθόλου ένταση, 9: πολύ υψηλή ένταση)		Κωδικός Δείγματος					
Εμφάνιση	Κανονική						
	Ανίχνευση γλυκερόλης						
	Στίγματα/Ελαττώματα						
Χρώμα	Κανονικό/ Σκούρο						
	Στίγματα/Ελαττώματα						
Οσμή	Κανονική						
	Λιπαρή						
	Αλλοιωμένη/Ξένη						
Υφή (με το χέρι)	Σκληρή						
	Τραγανή						
Τηγανισμένο προϊόν φρεσκοκομμένης πατάτας							
Εμφάνιση	Κανονική						
	Ανίχνευση λιπαρού						
	Στίγματα/Ελαττώματα						
Χρώμα	Κανονικό/ Σκούρο						
	Στίγματα/Ελαττώματα						
Οσμή	Κανονική						
	Λιπαρή						
	Αλλοιωμένη/Ξένη						
Υφή (με το χέρι)	Σκληρή						
	Τραγανή						
Υφή (στο στόμα)	Σκληρή						
	Τραγανή						
	Κολλώδης						
	Λιπαρή						
Γεύση	Κανονική/Ευχάριστη						
	Γλυκιά						
	Αλμυρή						
	Πικρή						
	Ξινή						
	Μεταλλική						
	Αλλοιωμένη/Ξένη						
Άρωμα	Κανονικό						
	Αλλοιωμένο/Ξένο						
	Οξειδωμένο						
Μετάγευση	Ένταση						
Βαθμολογήστε ως προς την αρέσκεια 1-9 (1: πολύ κακό, 9: πολύ καλό)							
Σύνολο	Αρέσκεια						

Παρατηρήσεις:

Εικόνα 5.15: Έντυπο οργανοληπτικής αξιολόγησης

5.3.12 Μέτρηση pH

Η μέτρηση του pH πραγματοποιείται με ηλεκτρονικό pH-μετρο (pHmeter 338, AMEL Instruments, Milan, Italy) (Εικόνα 5.16). Για τον προσδιορισμό του pH των δειγμάτων του πειράματος μικροβιακής ανάλυσης, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πατάτες ομογενοποιημένες με ορό Ringer, σε αναλογία δειγματος-υγρού 1:10.



Εικόνα 5.16: Συσκευή μέτρησης pH, AMEL 338

5.3.13 Συσκευασία - Μέτρηση αερίων συσκευασίας MAP

Τα δείγματα τοποθετούνται σε σακουλάκια πολυστρωματικού υλικού PA/PE (πολυαμιδίου-πολυαιθυλενίου) κατάλληλα για τρόφιμα. Για την δημιουργία της συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας και υπό κενό χρησιμοποιείται η κατάλληλη συσκευή σφράγισης (Boss NT42N, Bad Hamburg, Germany). Για τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας η συσκευή ρυθμίζεται ως εξής: Vacuum: 25, Gas: 7.0 και Seal: 2.4. Αρχικά, εξέρχεται ο υπάρχων αέρας από τη συσκευασία και στη συνέχεια το αέριο εισάγεται στη σακούλα από ειδική φιάλη συγκεκριμένης αναλογίας O₂/CO₂. Το σακουλάκι σφραγίζεται μέσω θερμοκόλλησης εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία. Στην περίπτωση της συσκευασίας υπό κενό, οι ρυθμίσεις της συσκευής παραμένουν οι ίδιες με εξαίρεση το Gas όπου μηδενίζεται. Στην διαδικασία αυτή, το αέριο απλά εξέρχεται από το σακουλάκι και η σφράγιση πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση αερίου.

Η σύσταση της συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας μετρείται μέσω της συσκευής μέτρησης αερίων (PBI Dansensor, CheckMate 9900 O₂/ CO₂ meter) (Εικόνα 5.17). Το σακουλάκι τρυπιέται με τη βελόνα του οργάνου και σε μερικά δευτερόλεπτα τα αποτελέσματα για τη σύσταση οξυγόνου/διοξειδίου του άνθρακα εμφανίζονται στην οθόνη.



Εικόνα 5.17: Συσκευή μέτρησης αερίων O₂/CO₂ (PBI Dansensor, CheckMate 9900 O₂/ CO₂ meter)

5.3.14 Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου

Για τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου στα δείγματα εφαρμόστηκε η μέθοδος της επιφανειακής ανάπτυξης σε τρυβλία. Σε κάθε τρυβλίο μετριέται ο αριθμός αποικιών ο οποίος αντιστοιχεί σε ένα κύτταρο. Άρα η συνολική καταμέτρηση των αποικιών ισοδυναμεί με τον αριθμό των μικροοργανισμών που αναπτύχθηκαν. Όλες οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε αυτόκλειστο, δηλαδή σε ειδικά διαμορφωμένο με συνεχή ανανέωση αέρα υπό ασηπτικές συνθήκες (Laminar Air Flow Controller, Sanyo). Για την προετοιμασία των δειγμάτων που απλώθηκαν στα τρυβλία ακολουθήθηκαν δύο διαδικασίες, η δειγματοληψία και οι διαδοχικές αραιώσεις.

Δειγματοληψία

Για την δειγματοληψία λαμβάνονται με αποστειρωμένη λαβίδα και ζυγίζονται 10 g δείγματος σε αποστειρωμένη σακούλα. Έπειτα, προστίθεται αποστειρωμένος ορός Ringer μέχρι τελικό όγκο 100 mL, δηλαδή αναλογία δείγματος-ορού 1:10. Στη συνέχεια, η σακούλα με το δείγμα και τον ορό τοποθετείται σε ομογενοποιητή (συσκευή Stomacher).

Διαδοχικές αραιώσεις

Η πρώτη αραιώση πραγματοποιείται εντός της σακούλας σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω. Για την 2^η αραιώση λαμβάνεται 1 mL από την σακούλα χρησιμοποιώντας πιπέτα με αποστειρωμένο ρύγχος και τοποθετείται σε αποστειρωμένο σωλήνα που περιέχει 9 mL ορό Ringer. Στη συνέχεια, για να πραγματοποιηθεί η 3^η αραιώση λαμβάνεται με όμοιο τρόπο 1 mL από το σωλήνα που έγινε η 2^η αραιώση και τοποθετείται σε σωλήνα με ορό Ringer ποσότητας 9 mL. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή αραιώση.

Στο εν λόγω πείραμα, πραγματοποιήθηκαν δύο τύπου καλλιέργειες: καλλιέργεια υπό αερόβιες συνθήκες και καλλιέργεια υπό αναερόβιες συνθήκες. Υπό αερόβιες συνθήκες αναπτύχθηκαν το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος, οι ζύμες-μύκητες, οι ψευδομονάδες και τα εντεροβακτήρια ενώ υπό αναερόβιες συνθήκες το ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο.

Για τους συγκεκριμένους μικροοργανισμούς χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα υποστρώματα:

Αερόβιοι μικροοργανισμοί: Plate Count Agar (PCA) για το ολικό φορτίο, Rose Bengal Chloramphenicol Agar (RBC) για ζύμες και μύκητες, CFC Agar base (CFC) για ψευδομονάδες και Violet Red Bile Glucose Agar (VRBG) για τα εντεροβακτήρια.

Αναερόβιοι μικροοργανισμοί: SPS Agar modified (SPS) για το ολικό φορτίο.

Για τους αερόβιους μικροοργανισμούς και συγκεκριμένα για τα υποστρώματα PCA, RBC, CFC χρησιμοποιούνται τρυβλία που περιέχουν 10-15 mL υποστρώματος και τοποθετούνται με πιπέτα και αποστειρωμένο ρύγχος 100 μL δείγματος της επιθυμητής αραιώσης. Στη συνέχεια, το δείγμα απλώνεται σε ολόκληρο το τρυβλίο με αποστειρωμένο στυλεό. Τα τρυβλία με τα συγκεκριμένα υποστρώματα αποθηκεύονται σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο ρυθμισμένο στους 30 °C. Η μέτρηση των αποικιών για τα τρυβλία με υπόστρωμα PCA και CFC γίνεται μετά από 2 ημέρες και για τα τρυβλία με υπόστρωμα RBC μετά από 3-4 ημέρες.

Για τα εντεροβακτήρια και τους ολικούς αναερόβιους μικροοργανισμούς το ανάλογο υπόστρωμα παρασκευάζεται κάθε μέρα που υπάρχει δειγματοληψία και αποστειρώνεται. Στα τρυβλία τοποθετείται 1 mL δείγματος της επιθυμητής αραιώσης με την ίδια διαδικασία και στη συνέχεια τοποθετούνται 10 mL από το υπόστρωμα. Αφού η πρώτη στρώση στο τρυβλίο στεγνώσει τοποθετούνται επιπλέον 10 mL από το εκάστοτε υπόστρωμα και δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες. Τα τρυβλία που μετρούνται οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένες τζάρες στις οποίες δεν υπάρχει οξυγόνο. Και τα δύο τρυβλία με τα συγκεκριμένα υποστρώματα αποθηκεύονται σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο ρυθμισμένο στους 37 °C. Η μέτρηση του αριθμού των εντεροβακτηρίων πραγματοποιείται μετά από 24 h ενώ για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς μετά από 2 ημέρες.

5.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

5.4.1 Απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση προσδιορίζονται η απώλεια νερού (WL), δηλαδή η ποσότητα νερού που απομακρύνεται από το τρόφιμο και η πρόσληψη στερεών (SG), που δείχνει την ποσότητα στερεών που εισέρχονται στο τρόφιμο. Ο υπολογισμός τους γίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \quad (\text{Εξίσωση 5.2})$$

$$SG = \frac{m - m_0}{m_0} \quad (\text{Εξίσωση 5.3})$$

όπου M_0 : αρχικό βάρος του δείγματος πριν την ωσμωτική αφυδάτωση, M : βάρος μετά την ωσμωση, m : ξηρό βάρος του δείγματος μετά την ωσμωση και m_0 : αρχικό ξηρό βάρος χωρίς την ωσμωση

5.4.2 Υπολογισμός αλατότητας δειγμάτων

Με τη μέτρηση του χλωριούχου νατρίου υπολογίζεται η αλατότητα των δειγμάτων σε % w/w σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Αλατότητα (S)} = \frac{T \cdot N \cdot 0,05845 \cdot 100}{V} \quad (\text{Εξίσωση 5.4})$$

όπου S : η αλατότητα (% w/w), T : τα mL AgNO_3 που καταναλώνονται, N : η κανονικότητα του διαλύματος AgNO_3 και V : τα mL του δείγματος.

5.4.3 Υπολογισμός περιεκτικότητας σε λιπαρά

Η % περιεκτικότητα σε λιπαρά υπολογίζεται αφού ζυγιστεί η σφαιρική φιάλη μαζί με το έλαιο (μικτό βάρος) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\% \text{ Περιεκτικότητα σε λιπαρά} = \frac{\text{Μικτό Βάρος} - \text{Απόβαρο}}{\text{Βάρος αρχικού δείγματος}} * 100\% \quad (\text{Εξίσωση 5.5})$$

5.4.4 Υπολογισμός αριθμού υπεροξειδίων (PV)

Ο αριθμός υπεροξειδίων PV υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$PV = \frac{(S-B)*N*1000}{\text{Βάρος δείγματος ελαίου}} \quad (\text{Εξίσωση 5.6})$$

όπου S: τα καταναλωθέντα mL διαλύματος $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, B: τα καταναλωθέντα mL του τυφλού δείγματος, N: η κανονικότητα του διαλύματος $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

5.4.5 Υπολογισμός αριθμού ανισιδίνης (p-AV)

Ο αριθμός ανισιδίνης υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$p - AV = \frac{25*(1.2*A_s - A_b)}{m} \quad (\text{Εξίσωση 5.7})$$

όπου A_s : η απορρόφηση του δείγματος ελαίου-ισσοκτανίου μαζί με την προσθήκη διαλύματος ανισιδίνης στα 350 nm, A_b : η απορρόφηση του δείγματος ελαίου-ισσοκτανίου στα 350 nm και m: η μάζα του ελαίου που ζυγίστηκε (g).

5.4.6 Υπολογισμός δεικτών K_{232} και K_{270}

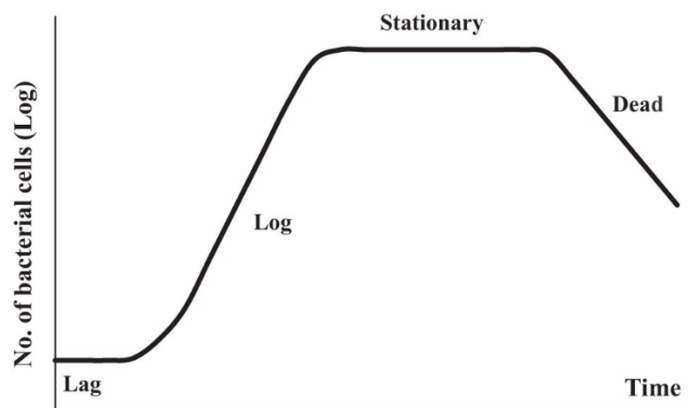
Ο υπολογισμός των δεικτών K_{232} και K_{270} για κυψελίδα πάχους 1 cm υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$K_x = \frac{A_x * 10}{c} \quad (\text{Εξίσωση 5.8})$$

Όπου x: το μήκος απορρόφησης (232 ή 270 nm), A_x : η απορρόφηση στο αντίστοιχο μήκος κύματος και c: η συγκέντρωση του ελαίου σε g ανά 100 mL διαλύματος. Σημειώνεται ότι ο πολλαπλασιασμός με το 10 πραγματοποιείται διότι τα δείγματα υπέστησαν αραίωση δείγματος-διαλύτη 1:10.

5.4.7 Κινητικό μοντέλο υποβάθμισης της πατάτας – Μικροβιακή ανάπτυξη

Για την μικροβιολογική αλλοίωση των δειγμάτων πατάτας χρησιμοποιείται το μοντέλο των Baranyi and Roberts (Baranyi and Roberts, 1994). Η καμπύλη που εξάγεται από το συγκεκριμένο μοντέλο είναι σιγμοειδής και περιλαμβάνει τέσσερις κύριες φάσεις: α) τη λανθάνουσα φάση (lag phase), β) την φάση εκθετικής ανάπτυξης (log-exponential growth phase), γ) τη φάση στασιμότητας (stationary phase) και δ) τη φάση θανάτου (death phase) (Εικόνα 5.18). Σημειώνεται πως για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η επίσημη εφαρμογή Combase όπου εισάχθηκαν τα τελικά αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας.



Εικόνα 5.18: Τυπική καμπύλη μικροβιακής ανάπτυξης

5.4.8 Εξάρτηση μικροβιακής ανάπτυξης και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών από τη θερμοκρασία

Δεδομένου ότι η θερμοκρασία είναι ένας βασικός παράγοντας για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και εφόσον στην πειραματική διαδικασία μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (4,8 και 12 °C), είναι σημαντικό να φανεί η εξάρτηση της θερμοκρασίας στο ρυθμό ανάπτυξης. Επιπλέον, δεδομένου της διαφορετικής θερμοκρασίας αποθήκευσης η θερμοκρασία δύναται να συσχετιστεί με τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται η εξίσωση Arrhenius στη γενικευμένη της μορφή:

$$k = k_{\text{ref}} * \exp \left[\frac{-E_a}{R} * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right) \right] \quad (\text{Εξίσωση 5.9})$$

όπου: k: ο εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης του μικροοργανισμού (d^{-1}) σε θερμοκρασία T, k_{ref} : ο ειδικό ρυθμός ανάπτυξης του μικροοργανισμού που εξάγεται από το μοντέλο Baranyi&Roberts (μ_{max}), R: η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,314 J/mol*K, T: η θερμοκρασία (K), E_a : η ενέργεια ενεργοποίησης της μικροβιακής ανάπτυξης και T_{ref} : η θερμοκρασία αναφοράς που επιλέγεται (K). Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία για θερμοκρασία αναφοράς επιλέχθηκαν οι 4 °C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν σύμφωνα με τις πειραματικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν και αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 5. Αρχικά, μελετάται η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τα ωσμωτικά διαλύματα που έχουν επιλεχθεί. Εξετάζεται η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην απώλεια νερού, στην πρόσληψη στερεών, στη μείωση της ενεργότητας του νερού και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ωσμωμένου προϊόντος και σε συνδυασμό με την επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ως προεπεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Από τη μελέτη αυτή επιλέγονται τα ωσμωτικά διαλύματα με τα βέλτιστα αποτελέσματα και την καλύτερη οργανοληπτική αξιολόγηση. Στη συνέχεια μελετάται η συμπεριφορά των δειγμάτων κατά το τηγάνισμα και γίνεται σύγκριση των ποιοτικών τους παραμέτρων. Τέλος, πραγματοποιείται πείραμα διατηρησιμότητας συσκευασμένων (σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα και υπό κενό) ωσμωμένων δειγμάτων και ΠΗΠ-ωσμωμένων δειγμάτων (που έχουν υποστεί δηλαδή προ επεξεργασία με ΠΗΠ) σε σύγκριση με ακατέργαστα δείγματα πατάτας (μη επεξεργασμένα) προκειμένου να εκτιμηθεί η σταθερότητα των δειγμάτων κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασίες 4-12 °C. Μελετώνται η μικροβιακή ανάπτυξη και η υποβάθμιση επιλεγμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών (χρώμα, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ωμών και τηγανισμένων προϊόντων πατάτας) των υπό αποθήκευση προϊόντων πατάτας και υπολογίζεται η διάρκεια ζωής τους.

6.2 Μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο της πειραματικής διαδικασίας αναφέρονται τα ωσμωτικά διαλύματα που μελετήθηκαν σε δείγματα πατάτας. Συγκεκριμένα, η μελέτη επικεντρώνεται στα εξής διαλύματα ώσμωσης:

- 10% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 84% νερό
- 20% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 74% νερό
- 30% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 64% νερό

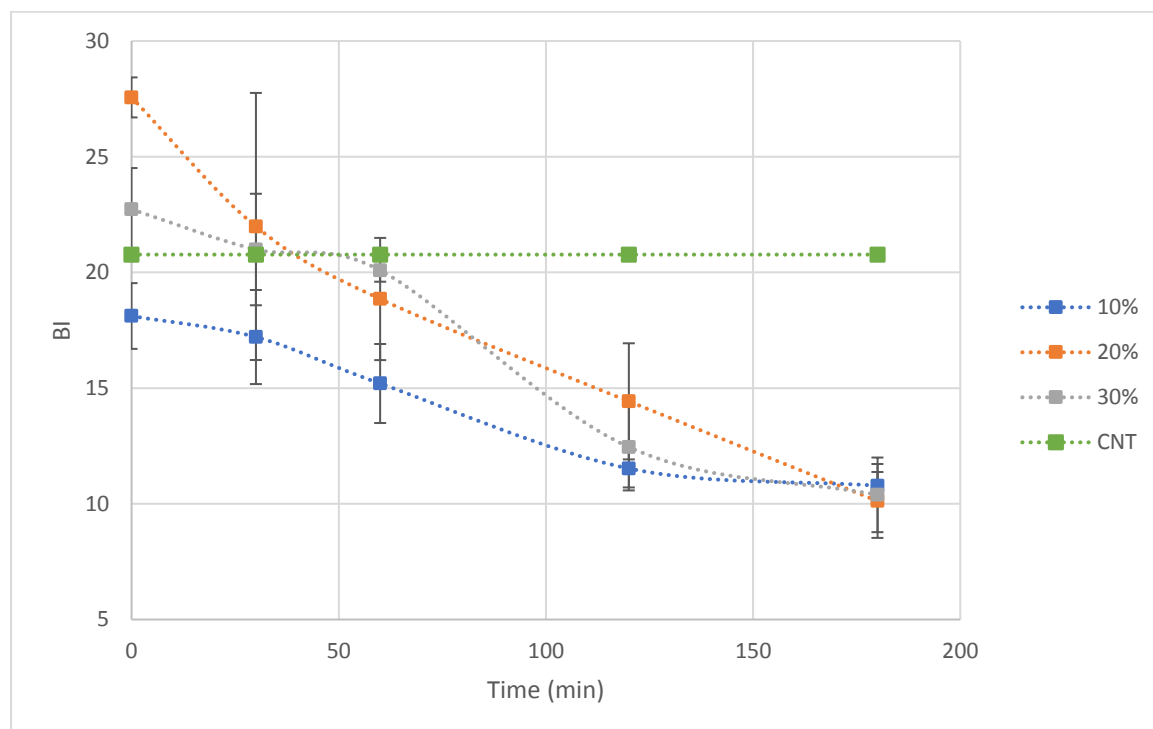
Η γλυκερόλη (ή γλυκερίνη) που επιλέγεται ως ωσμωτικός παράγοντας, χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων διότι επιβραδύνει την ανάπτυξη της μικροχλωρίδας μειώνοντας την ενεργότητα νερού των προϊόντων (Finn et al., 2015). Το χλωριούχο νάτριο διατηρήθηκε στο ελάχιστο επιτρεπτό ποσοστό για να διατηρούνται τα δείγματα και ταυτόχρονα είναι το προϊόν οργανοληπτικά αποδεκτό. Το ασκορβικό οξύ διατηρείται σε χαμηλά ποσοστά για να μην αλλοιώσει την τελική επίγευση του δείγματος και ταυτόχρονα να επιβραδύνει την διαδικασία του ενζυμικού μαυρίσματος εφόσον λειτουργεί ως παρεμποδιστής.

6.2.1 Ωσμωτική αφυδάτωση σε δείγματα πατάτας

Οι βασικοί δείκτες που μελετώνται είναι η μεταβολή του χρώματος και της υφής των δειγμάτων, η ενεργότητα του νερού (a_w), η απώλεια νερού (WL) και η πρόσληψη ολικών στερεών (SG). Τα δείγματα κωδικοποιούνται με βάση το ποσοστό γλυκερόλης, δηλαδή το «10%» αναφέρεται στο δείγμα που έχει υποστεί ώσμωση με ποσοστό γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα 10% κ.ο.κ. Με κωδικούς CNT (control) παρουσιάζονται τα μη ωσμωμένα δείγματα πατάτας (μάρτυρες).

Μελέτη μεταβολής χρώματος

Η μελέτη μεταβολής χρώματος πραγματοποιείται με τη χρήση του δείκτη αμαύρωσης (BI) σύμφωνα με την Εξίσωση 5.1. Συγκεκριμένα, κατά την πειραματική διαδικασία του κινητικού πειράματος της ώσμωσης συλλέγονται αποτελέσματα για τις παραμέτρους L , a και b με επανάληψη σε διαφορετικό δείγμα (2 επαναλήψεις). Βάσει των αποτελεσμάτων προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.1).

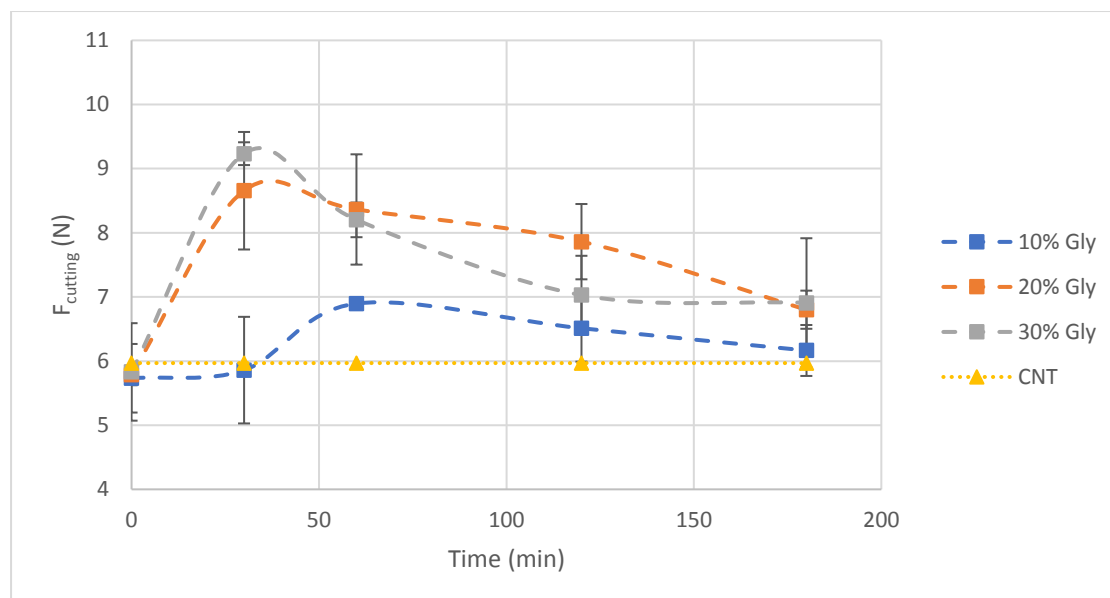


Διάγραμμα 6.1: Μελέτη μεταβολής του δείκτη αμαύρωσης BI σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για μη προεπεξεργασμένα δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%, 20% και 30% στους 35 °C από 0-180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Από το παραπάνω Διάγραμμα 6.1, παρατηρείται πως κατά την διαδικασία της ώσμωσης ο δείκτης αμαύρωσης μειώνεται για τα επεξεργασμένα δείγματα. Ενδεικτικά, στο χρόνο 0 οι τιμές για τα δείγματα είναι: α) 10%: $L = 55,79 (\pm 1,16)$, $a = -0,89 (\pm 0,16)$, $b = 10,02 (\pm 0,97)$ και $BI = 18,12 (\pm 1,42)$, β) 20%: $L = 54,89 (\pm 0,51)$, $a = -0,24 (\pm 0,32)$, $b = 13,65 (\pm 1,73)$ και $BI = 27,56 (\pm 0,87)$ και γ) 30%: $L = 59,88 (\pm 1,98)$, $a = 0,35 (\pm 1,77)$, $b = 12,22 (\pm 0,29)$ και $BI = 22,73 (\pm 1,79)$. Σε χρόνο 180 min ο δείκτης αμαύρωσης έχει μειωθεί σε: α) 10%: $BI = 10,78 (\pm 0,59)$, β) 20%: $BI = 10,12 (\pm 1,60)$ και γ) 30%: $BI = 10,39 (\pm 1,61)$. Με την πάροδο του χρόνου το L παραμένει περίπου σταθερό, το a και το b μειώνονται με αποτέλεσμα να μειώνεται και ο δείκτης BI. Παρατηρείται ένα φαινόμενο «λεύκανσης» της πατάτας δημιουργώντας ένα τελικό αποτέλεσμα χωρίς ιδιαίτερα έντονο χρωματισμό. Πράγματι, σύμφωνα με έρευνα η πρόσληψη των ουσιών που επιβραδύνουν το ενζυμικό μαύρισμα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση τεμαχισμένης πατάτας επιφέρει στο προϊόν ένα πιο ανοιχτό χρώμα που διατηρείται (Katsouli et al., 2024). Φαίνεται λοιπόν, πως τα φαινόμενα μεταφοράς κατά την ώσμωση ενισχύουν τη μεταφορά ουσιών οι οποίες δύνανται να είναι υπεύθυνες για τη μεταβολή της φωτεινότητας του χρώματος της πατάτας.

Μελέτη μεταβολής υφής

Για την εύρεση της επίδρασης της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα χαρακτηριστικά υφής των τεμαχισμένων δειγμάτων πατάτας, μελετάται η μεταβολή της σκληρότητας κατά την χρονική διάρκεια του κινητικού πειράματος. Αναλυτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.2).

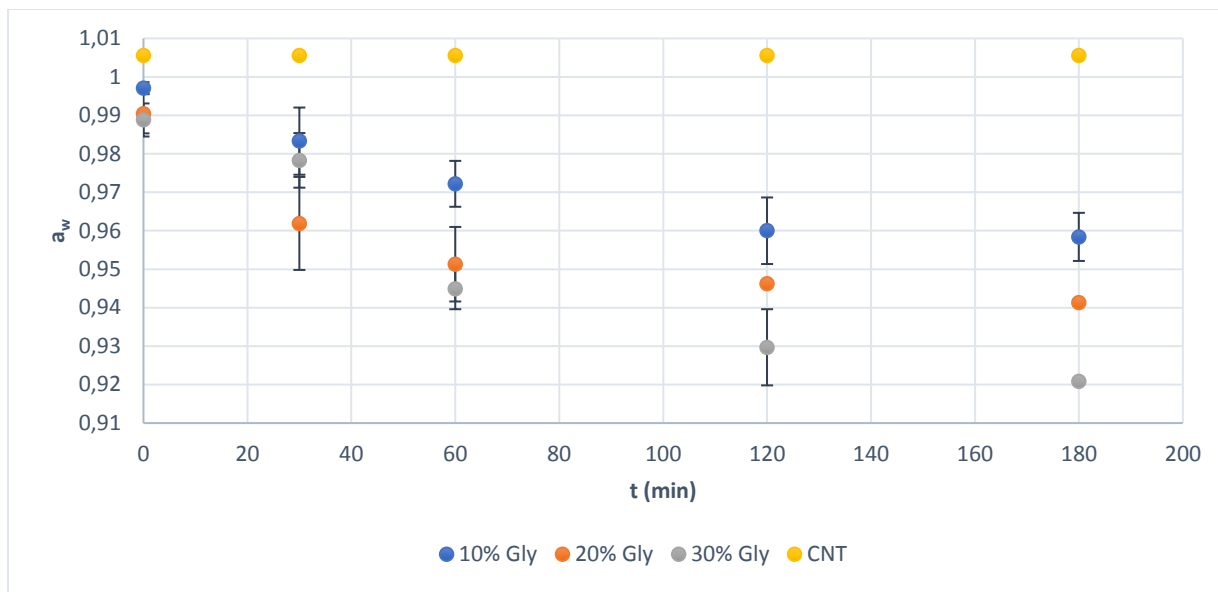


Διάγραμμα 6.2: Μεταβολή υφής σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για μη προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%, 20% και 30% στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.2) φαίνεται πως κατά την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης η σκληρότητα των δειγμάτων αυξάνεται. Συγκεκριμένα, στο τέλος της ώσμωσης στις 3h τα δείγματα είναι πιο σκληρά σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα control (CNT). Το δείγμα που ωσμώνεται με 10% γλυκερόλη είναι 3,2% πιο σκληρό από το μη επεξεργασμένο δείγμα, το δείγμα που ωσμώνεται με 20% γλυκερόλη 13,4% πιο σκληρό και το δείγμα που ωσμώνεται με 30% γλυκερόλη 14% πιο σκληρό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως κατά την επεξεργασία με το ωσμωτικό διάλυμα, το δείγμα πατάτας απορροφά γλυκερόλη και όσο προχωράει ο χρόνος η μεταφορά ενισχύεται. Επιπλέον, φαίνεται πως η ποσότητα γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα επηρεάζει την τελική σκληρότητα του δείγματος. Σύμφωνα με βιβλιογραφική αναφορά, σε ωσμωτική αφυδάτωση σε ροδάκινα παρατηρείται πως η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης όντως επιφέρει αύξηση στη σκληρότητα των δειγμάτων (Dermesonlouoglou and Giannakourou, 2018).

Μελέτη μεταβολής ενεργότητας νερού (a_w)

Στο κινητικό πείραμα της ωσμωτικής αφυδάτωσης μετρείται ο δείκτης της ενεργότητας νερού καθώς είναι σημαντικός παράμετρος για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, αλλά και πολύ χαρακτηριστικός δείκτης της πορείας της ώσμωσης. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.3).

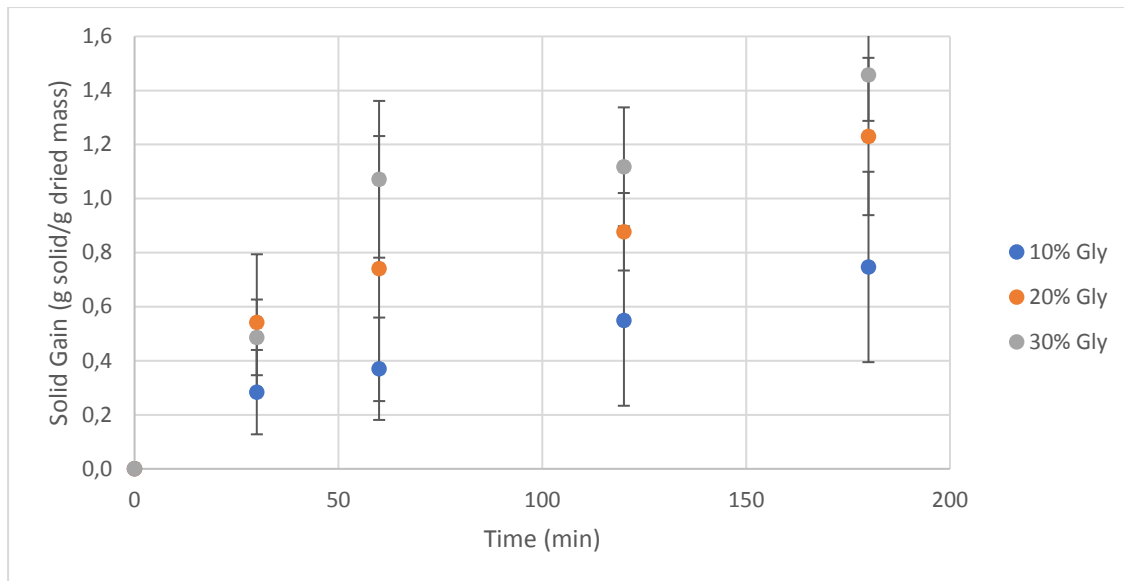


Διάγραμμα 6.3: Μεταβολή ενεργότητας νερού (a_w) σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για μη προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%, 20% και 30% στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.3) φαίνεται όπως ήταν αναμενόμενο, η ενεργότητα του νερού να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου κατά την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Επιπλέον, γίνεται κατανοητό πως η αύξηση της γλυκερόλης επιφέρει μεγαλύτερη μείωση στην τιμή της ενεργότητας του νερού. Η γλυκερόλη αποτελεί έναν παράγοντα μείωσης της ενεργότητας του νερού δεδομένου ότι τα υδροξύλια που διαθέτει το μόριο συγκρατούν τα μόρια νερού (Azelee et al., 2019). Παρατηρείται πως ο ρυθμός μείωσης της ενεργότητας του νερού είναι πιο έντονος κατά τα πρώτα 120 min της ωσμωτικής διαδικασίας και στη συνέχεια υφίσταται μικρότερη μεταβολή.

Μελέτη ολικής πρόσληψης στερεών (Solid Gain)

Η μεταφορά ουσιών κατά την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης οφείλεται στην ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς. Ανάλογα με το ωσμωτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται διαφέρει και η συνολική πρόσληψη στερεών στο δείγμα. Τα αποτελέσματα που μελετώνται κατά τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.4).

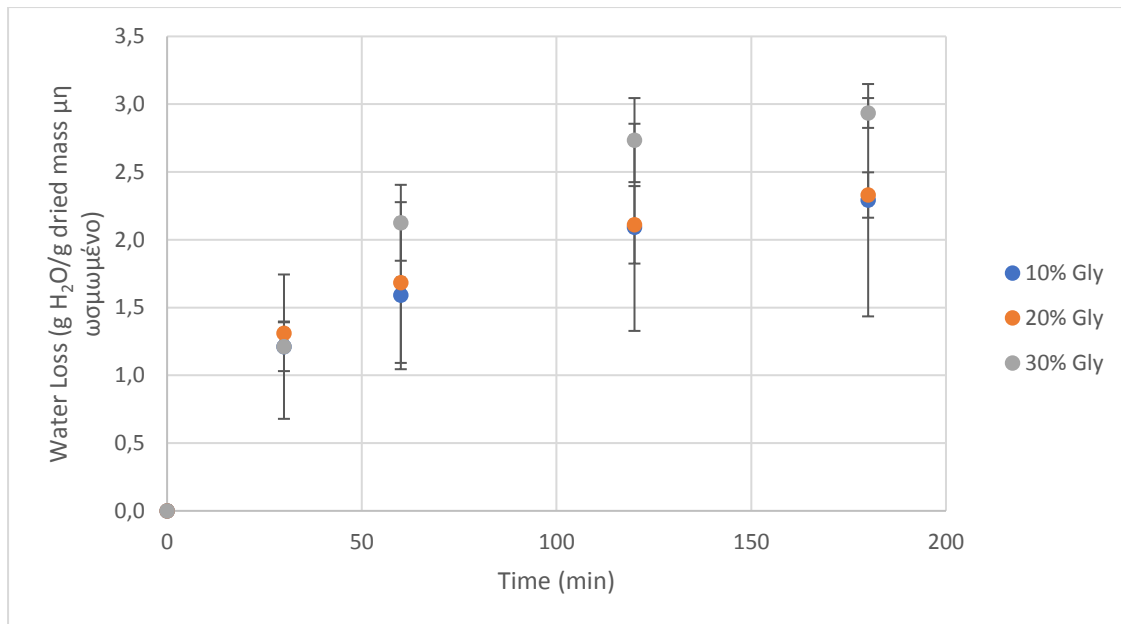


Διάγραμμα 6.4: Μεταβολή πρόσληψης ολικών στερεών (SG) σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για μη προεπεξεργασμένα δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%,20% και 30% στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Βάσει του παραπάνω διαγράμματος (Διάγραμμα 6.4) γίνεται κατανοητό πως η αύξηση του ωσμωτικού παράγοντα που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η γλυκερόλη, επιφέρει και αύξηση στην πρόσληψη των ολικών στερεών. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η αύξηση της αναλογίας του ωσμωτικού παράγοντα αυξάνει και την απόδοση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οπότε, πράγματι ενισχύονται τα φαινόμενα μεταφοράς και παρατηρείται μέγιστη πρόσληψη με την αύξηση του χρόνου. Η μεγαλύτερη αύξηση φαίνεται να πραγματοποιείται μέχρι το διάστημα της 1h για τα διαλύματα με 20% και 30% γλυκερόλη από όπου και έπειτα συνεχίζεται με μικρότερο ρυθμό. Για το ωσμωτικό διάλυμα με 10% γλυκερόλη φαίνεται πως η πρόσληψη είναι πολύ μικρή ακόμα και στις 3h ώσμωσης.

Μελέτη απώλειας νερού (Water Loss)

Η πρόσληψη των ολικών στερεών συνοδεύεται από την απώλεια νερού του δείγματος εξαιτίας της αλληλομεταφοράς ουσιών. Στο δείγμα, με την απώλεια αυτή δημιουργούνται «κενοί χώροι» που καλύπτονται από τις ουσίες του ωσμωτικού διαλύματος που προσλαμβάνονται. Για αυτό το λόγο, τα δύο αυτά φαινόμενα πρόσληψης και απώλειας συνδέονται. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την απώλεια νερού (Διάγραμμα 6.5).



Διάγραμμα 6.5: Απώλεια νερού (WL) σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για μη προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%, 20% και 30% στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Η απώλεια υγρασίας σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Ομοίως με το Διάγραμμα 6.4, έτσι και στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.5) παρατηρείται πως η αύξηση στην αναλογία του ωσμωτικού παράγοντα (γλυκερόλη) επιφέρει μεγαλύτερη αύξηση στην απώλεια νερού του δείγματος. Επιπλέον, φαίνεται πως ο ρυθμός αύξησης στην αρχή είναι υψηλότερος λόγω της ισχυρής ωσμωτικής κινητήριας δύναμης μεταξύ του ωσμωτικού διαλύματος και του δείγματος. Στην 1h ο ρυθμός αύξησης φαίνεται να μειώνεται και η απώλεια υγρασίας να υπόκειται σε αρκετά μειωμένη αύξηση. Αυτό σύμφωνα με έρευνες, οφείλεται στην κατακράτηση των στερεών που έχουν προσληφθεί στην επιφανειακή στρώση του δείγματος, μειώνοντας έτσι τη διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ δείγματος-διαλύματος. Συνεπώς, δημιουργείται μια πρόσθετη αντίσταση στην ανταλλαγή μάζας, η οποία μειώνει το ποσοστό απώλειας νερού (Eren and Kaymak-Ertekin, 2007).

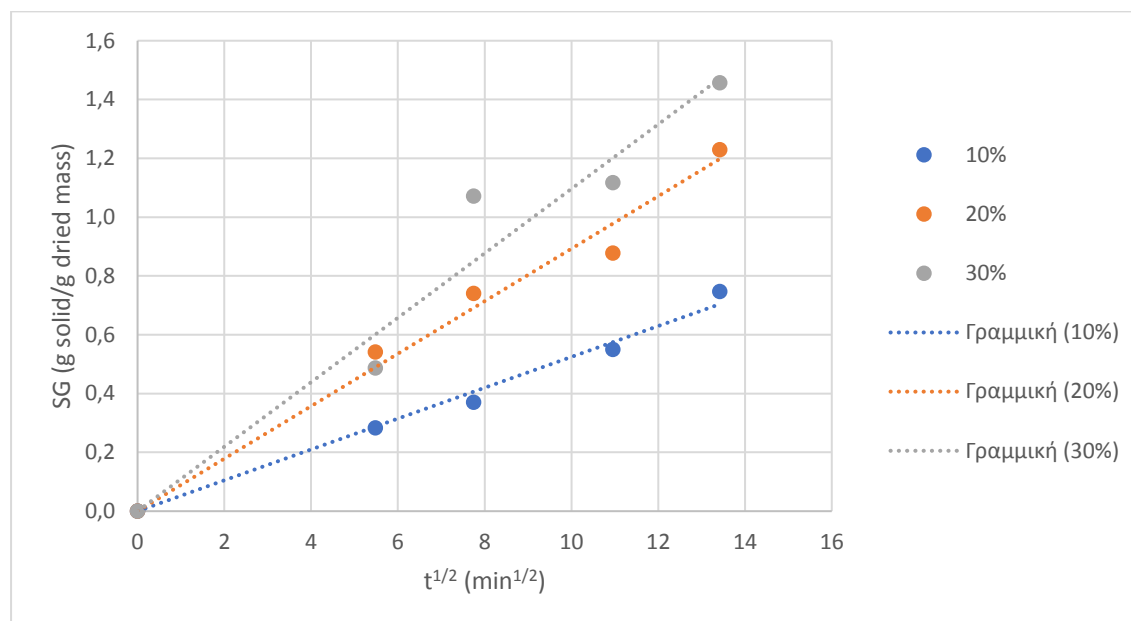
Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου για την Πρόσληψη στερεών (SG) - Απώλεια νερού (WL)

Σύμφωνα με έρευνες η πρόσληψη ολικών στερεών (SG) και η απώλεια νερού (WL) δύναται να μοντελοποιηθούν με τη ρίζα του χρόνου βάσει της παρακάτω σχέσης (Dimopoulos et al. 2024) (Εξίσωση 6.1):

$$SG \text{ ή } WL = k_x \sqrt{t} \quad (\text{Εξίσωση 6.1})$$

Όπου SG σε g στερεών/g ξηρού στερεού, WL σε g νερού/ g ξηρού στερεού μη ωσμομένο και k_x είναι η σταθερά απώλειας νερού (k_{WL}) ή η σταθερά πρόσληψης ολικών στερεών (k_{SG}).

Επομένως, βάσει της παραπάνω εξίσωσης (Εξίσωση 6.1) κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα συναρτήσεως της ρίζας του χρόνου για την πρόσληψη ολικών στερεών (SG) (Διάγραμμα 6.6).



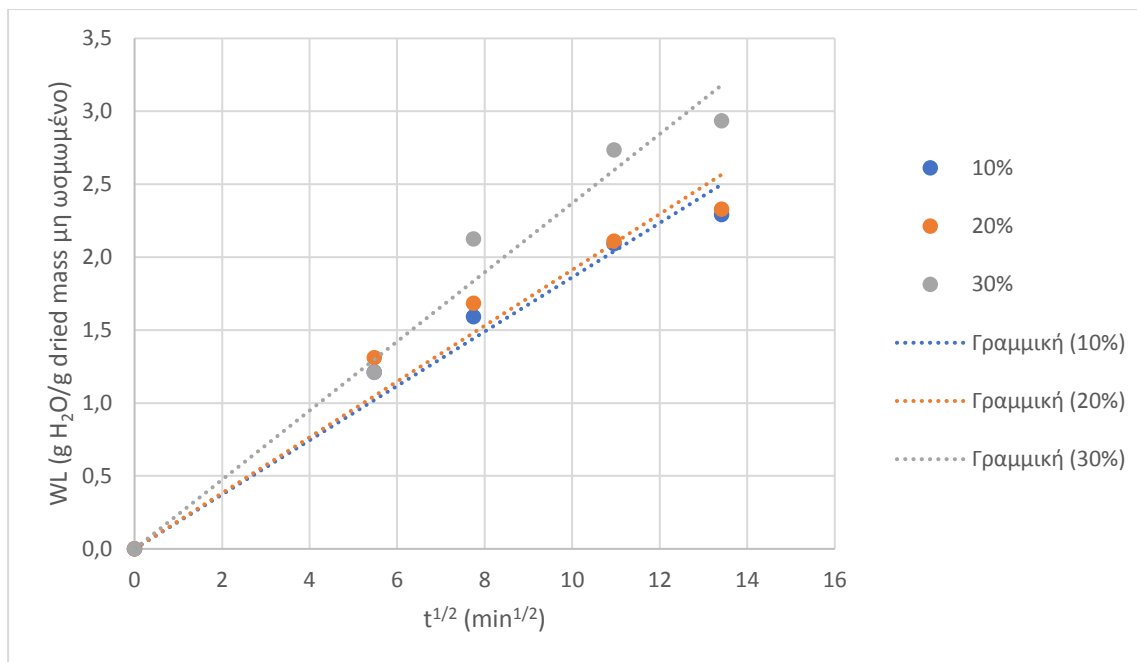
Διάγραμμα 6.6: Μαθηματική μοντελοποίηση της πρόσληψης ολικών στερεών (SG) σε μη προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας κατά την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης με διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%, 20% και 30% στους 35 °C για 180 min

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.6) και με βάση την Εξίσωση 6.1 που αναλύθηκε προηγουμένως εξάγονται τα εξής αποτελέσματα σχετικά με την πρόσληψη ολικών στερεών (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα μοντελοποίησης πειραματικών δεδομένων SG για μη προ-επεξεργασμένα δείγματα που ωσμώνονται με διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%, 20% και 30% στους 35 °C για 180 min

Δείγμα	k_{SG} (min ^{-1/2})	R^2
10%	0,0525	0,9965
20%	0,0893	0,9948
30%	0,1096	0,9854

Ομοίως, κατασκευάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα για την απώλεια νερού (Διάγραμμα 6.7):



Διάγραμμα 6.7: Μαθηματική μοντελοποίηση απώλειας νερού (WL) σε μη προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας κατά την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης με διαλύματα 10%,20% και 30% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min

Με αντίστοιχη εφαρμογή της Εξίσωσης 6.1 για την απώλεια νερού στα πειραματικά δεδομένα προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για την απώλεια νερού (Πίνακας 6.2).

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα μοντελοποίησης πειραματικών δεδομένων WL για μη προ-επεξεργασμένα δείγματα που ωσμώνονται με διαλύματα με αναλογία γλυκερόλης 10%,20% και 30% στους 35 °C για 180 min

Δείγμα	$k_{WL} (min^{-1/2})$	R^2
10%	0,1862	0,9923
20%	0,1913	0,9885
30%	0,2370	0,9923

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.1-6.2 παρατηρείται και επιβεβαιώνεται πως η αύξηση της ποσότητας του ωσμωτικού παράγοντα αυξάνει το ρυθμό πρόσληψης ολικών στερεών καθώς για τις σταθερές k_{SG} ισχύει $k_{SG,10\%} < k_{SG,20\%} < k_{SG,30\%}$. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση της απώλειας υγρασίας με το ρυθμό απώλειας να παρουσιάζει μικρότερη τιμή στα δείγματα που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση με 10% γλυκερόλη ($k_{WL,10\%} < k_{WL,20\%} < k_{WL,30\%}$).

Από τα αποτελέσματα της μελέτης της ωσμωτικής αφυδάτωσης φαίνεται πως η αύξηση της γλυκερόλης αυξάνει και την απόδοση της διαδικασίας. Αποδεικνύεται με την τιμή ενεργότητας του νερού ($a_w = 0,9208$) όπως και με την πρόσληψη ολικών στερεών ($1,46 \pm 0,17$ g solid/g dried mass) και με την απώλεια νερού ($2,94 \pm 0,11$ g νερού/g dried mass μη ωσχωμένου) στο τέλος του κινητικού πειράματος (180 min). Αντίθετα, οι δείκτες χρώματος και υφής δε δείχνουν ιδιαίτερες μεταβολές στο τέλος της ωσμωτικής διαδικασίας αλλά και κατά την διάρκεια αυτής. Βάσει όλων αυτών, φαίνεται πως η επιλογή του ωσμωτικού διαλύματος με 30% γλυκερόλη αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή. Παρόλα αυτά, το προϊόν αποκλείστηκε οργανοληπτικά από τους δοκιμαστές καθώς δε θεωρήθηκε γευστικό και συγκρίσιμο με το μη επεξεργασμένο δείγμα πατάτας. Επιπλέον, παρατηρήθηκε πως η

αύξηση της γλυκερόλης επέφερε ένα τελικό αποτέλεσμα με «τσιχλωτή» υφή που προκάλεσε δυσαρέσκεια κατά την δοκιμή. Δεδομένου ότι ο στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή ενός προϊόντος πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, η συγκεκριμένη επιλογή (το ωσμωτικό διάλυμα με 30% γλυκερόλη) απορρίφθηκε και δεν εξετάστηκε περαιτέρω κατά την πειραματική διαδικασία.

6.2.1 Ωσμωτική αφυδάτωση σε προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας με ΠΗΠ

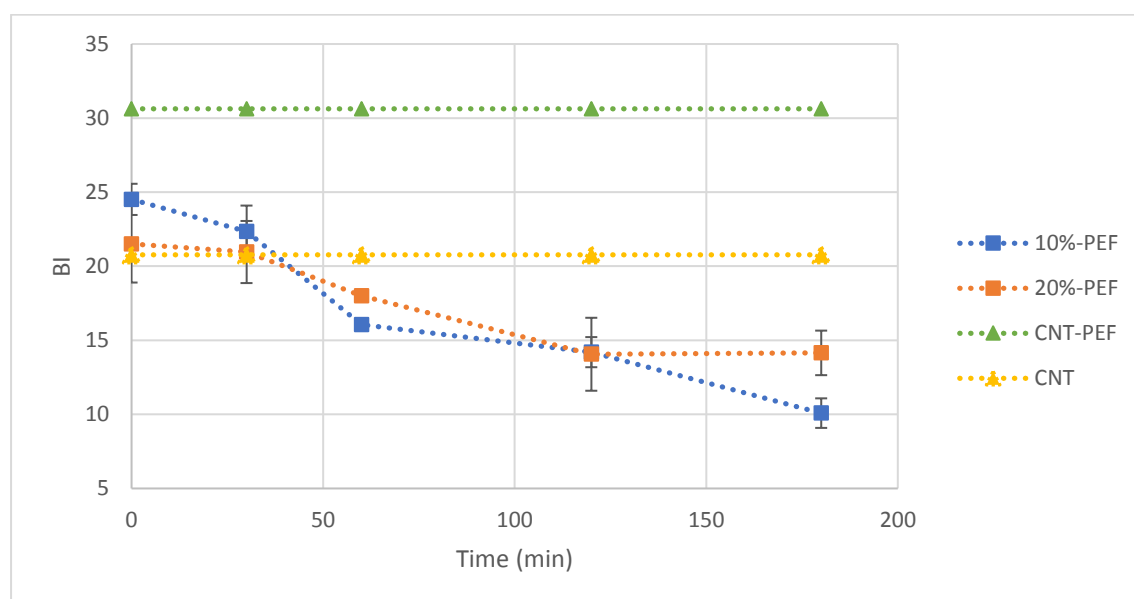
Η δεύτερη μη θερμική μέθοδος που εξετάζεται είναι η εφαρμογή των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ). Συγκεκριμένα, έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σε δείγματα πατάτας δείχνει πως οι βέλτιστες συνθήκες για την επεξεργασία με ΠΗΠ είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ίση με 0,5 kV/cm σε 200 παλμούς (Katsouli et al. 2024). Επομένως, στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία μελετώνται τα προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας στις παρούσες συνθήκες κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Οι δείκτες που μελετώνται αφορούν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά που εξετάζονται και στα μη προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας. Τα ωσμωτικά διαλύματα που μελετώνται είναι δύο:

- 10% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 84% νερό
- 20% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ, 74% νερό

Στην περίπτωση αυτή τα δείγματα κατηγοριοποιούνται ομοίως όπως και στην παραπάνω πειραματική διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης βάσει του ποσοστού γλυκερόλης του ωσμωτικού διαλύματος. Επιπλέον, ως δείγμα αναφοράς χρησιμοποιείται η προ επεξεργασμένη πατάτα με ΠΗΠ (control-PEF).

Μελέτη μεταβολής χρώματος

Ομοίως με την πειραματική διαδικασία των μη επεξεργασμένων με ΠΗΠ δειγμάτων πατάτας, και στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιείται ο δείκτης αμαύρωσης (BI) σύμφωνα με τη Εξίσωση 5.1. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.8).

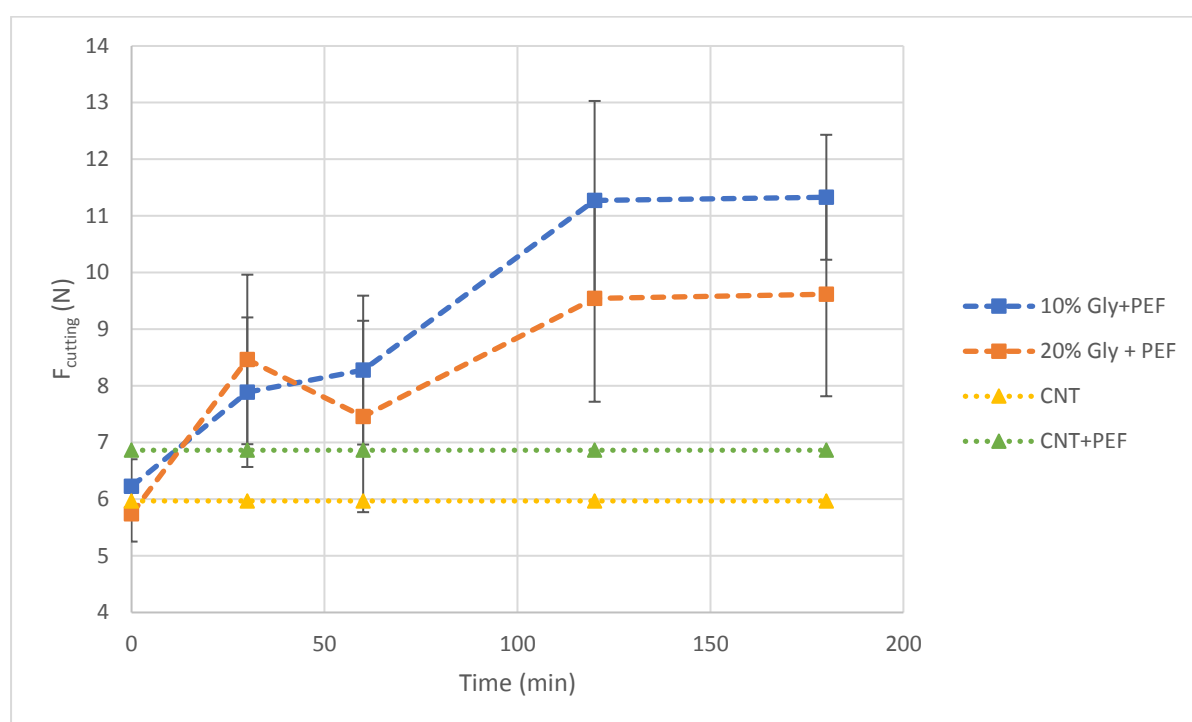


Διάγραμμα 6.8: Μελέτη του δείκτη αμαύρωσης BI σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.8) για το χρόνο 0 ισχύουν: α) 10%-PEF: $L = 51,69 (\pm 0,75)$, $a = -0,83 (\pm 0,21)$, $b = 11,99 (\pm 0,13)$ και $BI = 24,51 (\pm 1,05)$, β) 20%-PEF: $L = 49,77 (\pm 0,93)$, $a = -0,72 (\pm 0,05)$, $b = 10,29 (\pm 0,84)$ και $BI = 21,50 (\pm 2,60)$. Στα 180 min ο δείκτης αμαύρωσης έχει μειωθεί σε: α) 10%-PEF: $BI = 10,08 (\pm 1,00)$ και β) 20%-PEF: $BI = 14,15 (\pm 1,50)$. Παρατηρείται ομοίως πως κατά τη χρονική διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης όπως και στα μη προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας έτσι και στα προ-επεξεργασμένα ο δείκτης αμαύρωσης μειώνεται. Δηλαδή και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται το φαινόμενο της «λεύκανσης» που έγκειται στη μεταφορά ουσιών από και προς το ωσμωτικό διάλυμα. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται πως δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στη μεταβολή του χρώματος σε σχέση με τα δείγματα πατάτας που δεν έχουν υποστεί προ-επεξεργασία με ΠΗΠ.

Μελέτη μεταβολής υφής

Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.9).

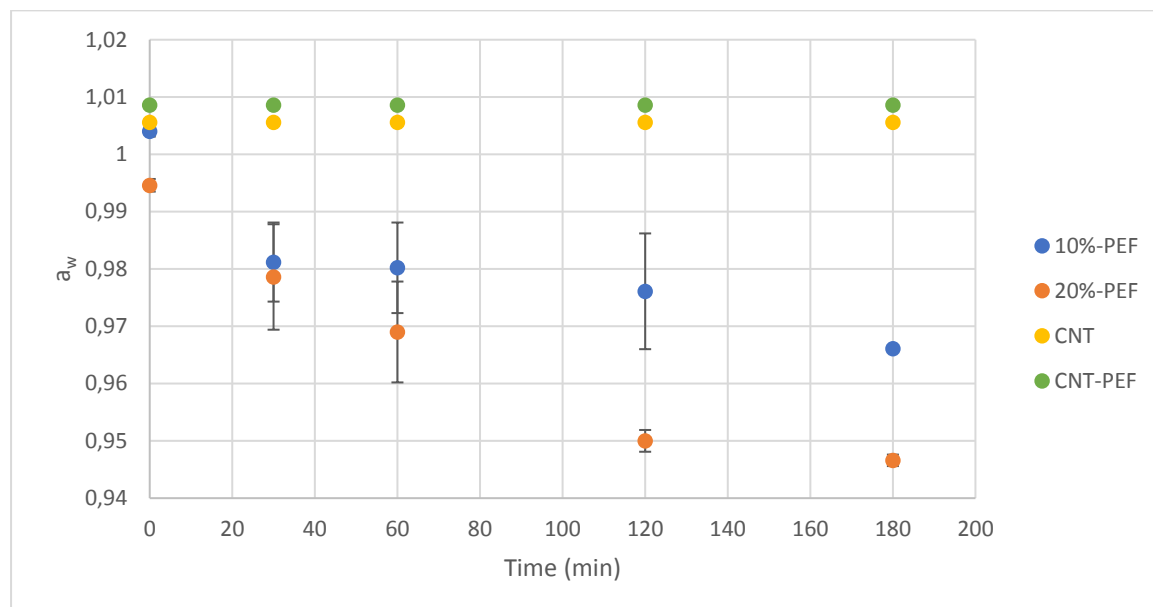


Διάγραμμα 6.9: Μεταβολή υφής σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ομοίως όπως και στα μη προ-επεξεργασμένα δείγματα πατάτας, να υπάρχει μια αύξηση στη σκληρότητα κατά την διαδικασία της ώσμωσης. Συγκεκριμένα, αυτό εκτιμάται από την αύξηση της τιμής της δύναμης που απαιτείται για να κόψει το δείγμα. Παρατηρείται επίσης, πως η δύναμη αυτή φαίνεται να λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές κατά μέσο όρο από τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν για τα μη προ-επεξεργασμένα δείγματα στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Μελέτη μεταβολής ενεργότητας νερού (a_w)

Η παράμετρος της ενεργότητας του νερού (a_w) μελετάται ομοίως και στα προ-επεξεργασμένα δείγματα κατά την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Παρακάτω παρατίθεται το αντίστοιχο διάγραμμα με τα αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.10).

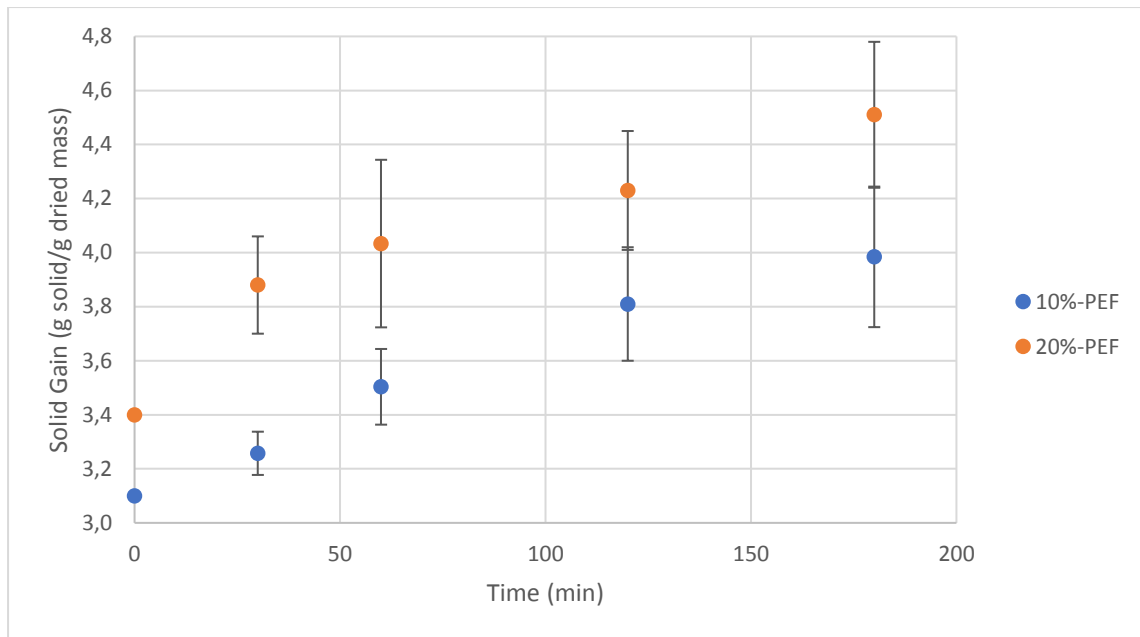


Διάγραμμα 6.10: Μεταβολή ενεργότητας νερού (a_w) σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Ομοίως όπως και στην περίπτωση των μη προ-επεξεργασμένων με ΠΗΠ δειγμάτων πατάτας έτσι και στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.10) επιβεβαιώνεται πως με την πάροδο του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση η ενεργότητα του νερού μειώνεται. Ωστόσο, δε φαίνεται να παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές σε σύγκριση με τα μη προ-επεξεργασμένα δείγματα στα ίδια ωσμωτικά διαλύματα. Μετά το διάστημα των 2h η τιμή της ενεργότητας στο ωσμωτικό διάλυμα με 20% γλυκερόλη φαίνεται να σταθεροποιείται στην τιμή 0,95 ($\pm 0,0019$).

Μελέτη ολικής πρόσληψης στερεών (Solid Gain)

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση έτσι και στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία για τα προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα μελετάται η παράμετρος της πρόσληψης στερεών. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.11).

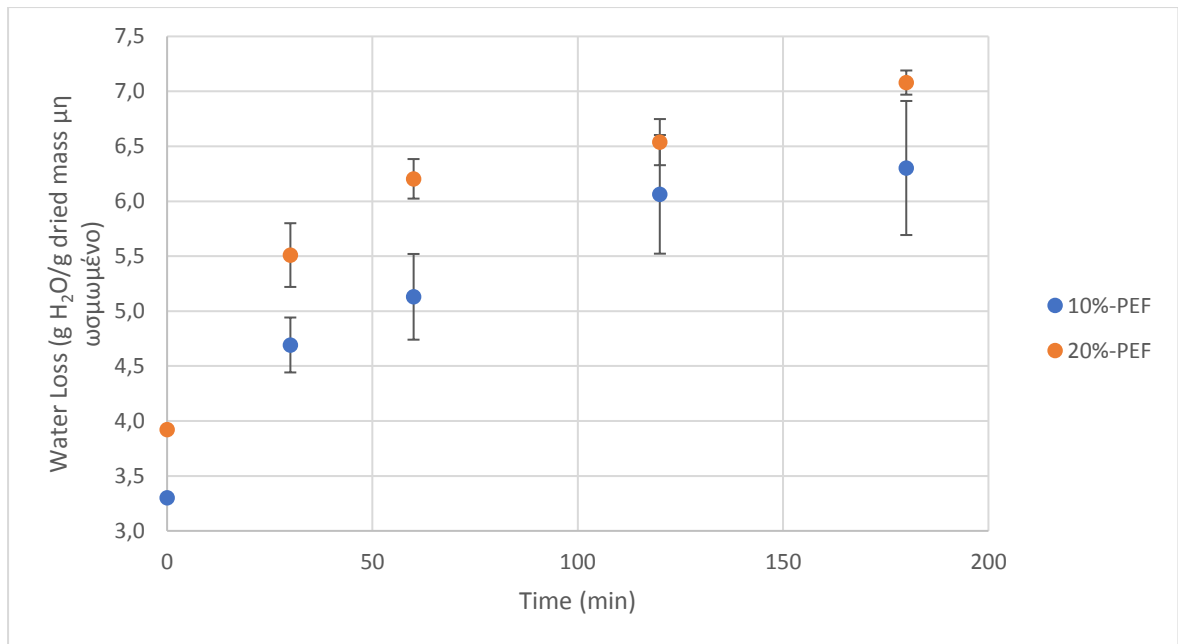


Διάγραμμα 6.11: Μεταβολή πρόσληψης ολικών στερεών (SG) σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.11) παρατηρείται πως η αύξηση της ποσότητας του ωσμωτικού παράγοντα επιφέρει αύξηση στην πρόσληψη στερεών όπως ακριβώς και στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων. Επιπλέον, φαίνεται πως η μεγαλύτερη αύξηση πραγματοποιείται κατά το διάστημα της 1h και στη συνέχεια συνεχίζεται με μικρότερο ρυθμό.

Μελέτη απώλειας νερού (Water Loss)

Ομοίως με την πρόσληψη στερεών έτσι και η απώλεια νερού αποτελεί ένα φαινόμενο ιδιαίτερα σημαντικό για την τελική απόδοση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τα αποτελέσματα που εξάγονται κατά την πειραματική μελέτη των προ-επεξεργασμένων δειγμάτων παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.12).



Διάγραμμα 6.12: Μεταβολή απώλειας νερού (WL) σε κινητικό πείραμα ώσμωσης για προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας που ωσμώνονται σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min (Average value $\pm$ STDEV)

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται πως τα δείγματα που υπόκεινται σε ώσμωση με ωσμωτικό διάλυμα με αναλογία 20% γλυκερόλη παρουσιάζουν πιο αυξημένες τιμές στην απώλεια υγρασίας σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα και το ωσμωτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται η γλυκερόλη σε αναλογία 10%. Επιπλέον, η μεγαλύτερη αύξηση της απώλειας υγρασίας φαίνεται να πραγματοποιείται κατά το χρονικό διάστημα της πρώτης ώρας της ωσμωτικής αφυδάτωσης όπως ακριβώς συμβαίνει και στην πρόσληψη ολικών στερεών.

Γενικότερα και στα δύο διαγράμματα (Διάγραμμα 6.11-6.12) παρατηρείται πως στο χρόνο μηδέν υπάρχει μέτρηση απώλειας νερού και πρόσληψης ολικών στερεών σε αντίθεση με τα μη προεπεξεργασμένα δείγματα που έχουν μηδενική τιμή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως κατά την προεπεξεργασία με ΠΗΠ τα φρεσκοκομμένα δείγματα πατάτας έρχονται σε επαφή με το νερό και αποκτούν μια πολύ υψηλή τιμή υγρασίας (94%). Κατά αυτό τον τρόπο, με το που τοποθετηθούν τα δείγματα εκτός νερού η απώλεια υγρασίας είναι πολύ μεγάλη και με την άμεση εμβάπτιση τους στο ωσμωτικό διάλυμα πραγματοποιείται κατευθείαν αποβολή νερού. Για αυτό το λόγο εμφανίζεται η υψηλή αρχική τιμή απώλειας νερού και πρόσληψης ολικών στερεών.

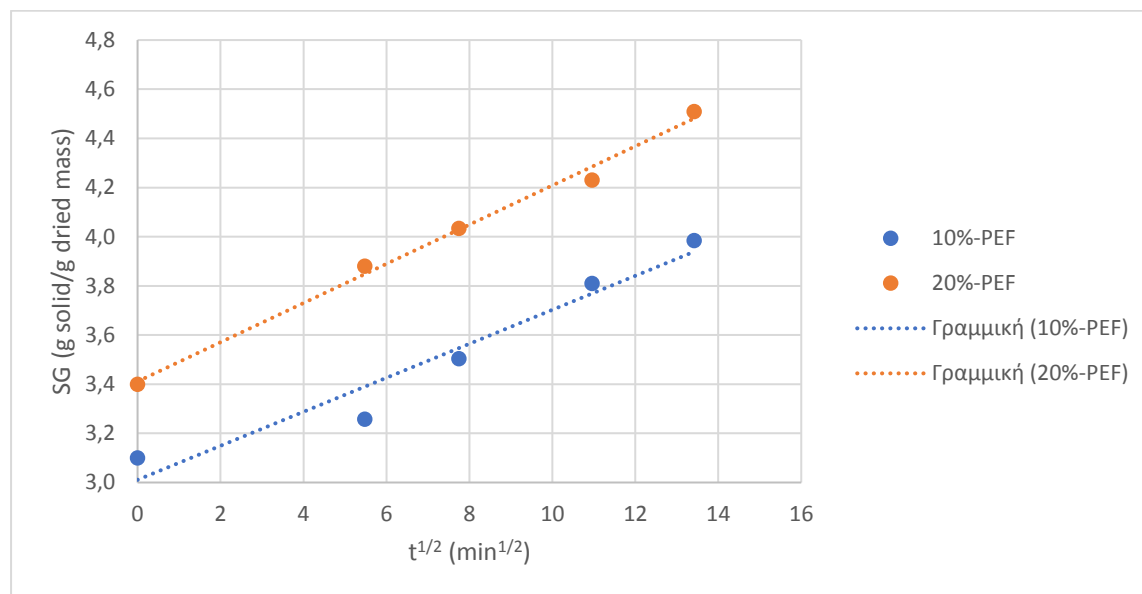
Εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου για την Πρόσληψη στερεών (SG) - Απώλεια νερού (WL)

Όπως ακριβώς και στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων με ΠΗΠ δειγμάτων έτσι και στα προ-επεξεργασμένα δείγματα εφαρμόζεται η μαθηματική μοντελοποίηση που αναλύθηκε παραπάνω. Γίνεται χρήση της Εξίσωσης 6.1 η οποία στην περίπτωση αυτή προσαρμόζεται με βάση τα αποτελέσματα στο χρόνο μηδέν (Εξίσωση 6.2).

$$SG \text{ ή } WL = k_x \sqrt{t} + SG_0 \text{ ή } WL_0 \quad (\text{Εξίσωση 6.2})$$

Όπου SG_0 (g στερεών/ g ξηρού στερεού) και WL_0 (g νερού/g ξηρού στερεού μη ωσμωμένο) η πρόσληψη ολικών στερεών και η απώλεια υγρασίας αντίστοιχα σε χρόνο 0 min.

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση (Εξίσωση 6.2) κατασκευάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα με τη ρίζα του χρόνου (Διαγράμματα 6.13, 6.14).



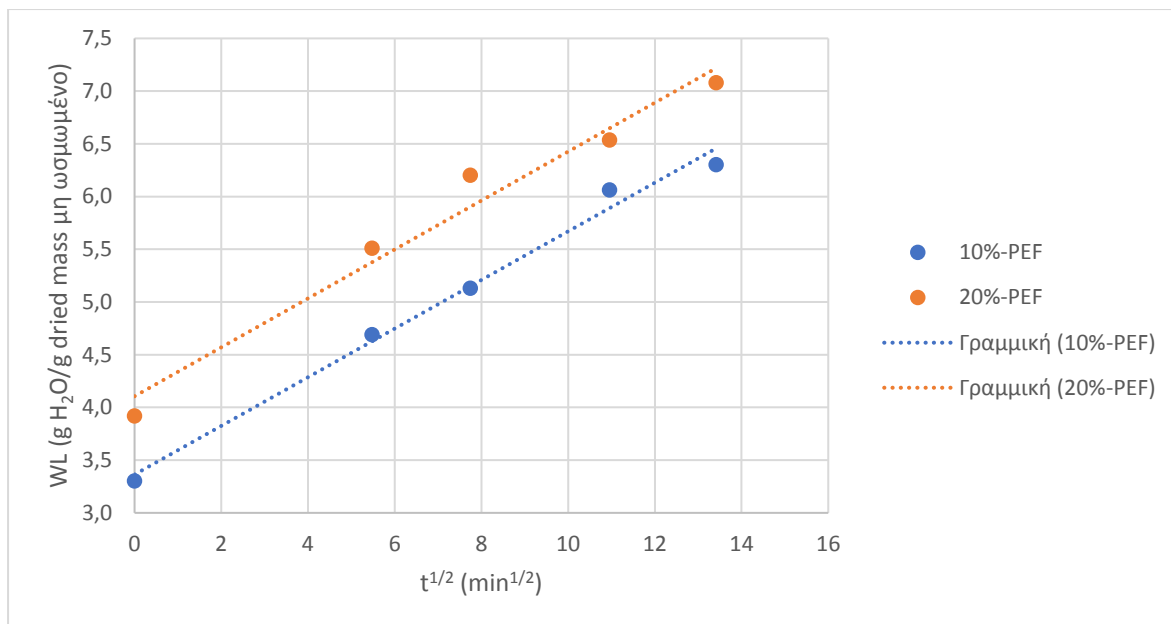
Διάγραμμα 6.13: Μαθηματική μοντελοποίηση της πρόσληψης ολικών στερεών (SG) σε προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας κατά την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min

Εφαρμόζεται η Εξίσωση 6.2 για τα πειραματικά δεδομένα και προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για την πρόσληψη ολικών στερεών (Πίνακας 6.3).

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα μοντελοποίησης πειραματικών δεδομένων SG για προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα που ωσμώνονται σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min

Δείγμα	k_{SG} (min ^{-1/2})	SG_0 (g στερεών/ g ξηρού στερεού)	R^2
10%-PEF	0,0692	3,0109	0,9429
20%-PEF	0,0798	3,4109	0,9927

Αντίστοιχα, βάσει των πειραματικών δεδομένων του Διαγράμματος 6.12 κατασκευάζεται το παρακάτω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.14) με εφαρμογή της Εξίσωσης 6.2.



Διάγραμμα 6.14: Μαθηματική μοντελοποίηση απώλειας νερού (WL) σε προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας κατά την διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη στους 35 °C για 180 min

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα μοντελοποίησης πειραματικών δεδομένων WL για προ-επεξεργασμένα δείγματα

Δείγμα	$k_{WL} \text{ (min}^{-1/2}\text{)}$	$WL_0 \text{ (g νερού/ g ξηρού στερεού μη ωσχωμένο)}$	R^2
10%-PEF	0,2307	3,3634	0,9862
20%-PEF	0,2320	4,1059	0,9708

Στην περίπτωση των επεξεργασμένων δειγμάτων βάσει των αποτελεσμάτων (Πίνακας 6.3-6.4) φαίνεται πως οι σταθερές k_{SG} και k_{WL} λαμβάνουν μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση του ωσμωτικού διαλύματος με αναλογία γλυκερόλης 20%. Δηλαδή, ο ρυθμός αύξησης της πρόσληψης ολικών στερεών και της απώλειας νερού παρουσιάζεται με μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση του ωσμωτικού διαλύματος της μεγαλύτερης αναλογίας σε γλυκερόλη ομοίως με τα μη προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα. Συγκριτικά μεταξύ των μη προ-επεξεργασμένων δειγμάτων και των προ-επεξεργασμένων με ΠΗΠ με τις ίδιες αναλογίες γλυκερόλης δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στο ρυθμό αύξησης της πρόσληψης ολικών στερεών και της απώλειας νερού. Δηλαδή, η αύξηση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα επιφέρει αύξηση στο ρυθμό πρόσληψης και απώλειας. Ωστόσο, η τιμή στο ρυθμό πρόσληψης ολικών στερεών για τα ωσχωμένα δείγματα με διάλυμα αναλογίας 10% σε γλυκερόλη αλλά και οι τιμές του ρυθμού απώλειας νερού στα προ-επεξεργασμένα δείγματα είναι υψηλότερες από ότι στην ωσμωτική αφυδάτωση μη προ-επεξεργασμένων με ΠΗΠ δειγμάτων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη βιβλιογραφία όπου εξηγεί ότι τα φαινόμενα μεταφοράς ενισχύονται κατά την ώσμωση εάν έχει υπάρξει προ-επεξεργασία με ΠΗΠ (Katsouli et al., 2024).

Από τη συγκεκριμένη μελέτη αποφασίζεται να διερευνηθούν περαιτέρω και τα προ-επεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα καθώς και τα μη προ-επεξεργασμένα. Επιπλέον, παρόλο

που το ωσμωτικό διάλυμα με 10% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ και 84% νερό φαίνεται να μην παρέχει τα βέλτιστα αποτελέσματα κατά την ωσμωτική διαδικασία, σε οργανοληπτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε τα συγκεκριμένα δείγματα βαθμολογήθηκαν ικανοποιητικά από τους δοκιμαστές, ιδίως λόγω της ευχάριστης αλμυρής τους γεύσης, χωρίς να απορριφθούν. Οι συνθήκες που αποφασίζονται να πραγματοποιηθεί η ώσμωση είναι: 2 ώρες, 35 ($\pm 0,5$) °C και ήπια ανάδευση σύμφωνα με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την κινητική μελέτη δεδομένων των μικρών διαφορών μεταξύ 2h και 3h.

6.3 Μέτρηση συστατικών ωσμωτικού διαλύματος στα επεξεργασμένα δείγματα πατάτας

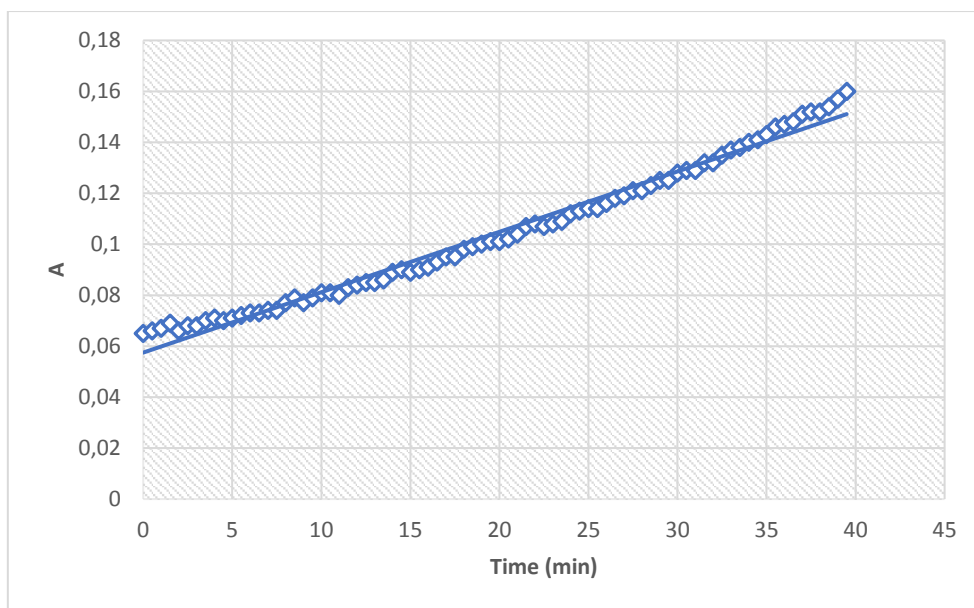
Για το χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση των δειγμάτων τεμαχισμένης πατάτας, και προκειμένου να είναι εφικτός ο πιο λεπτομερής υπολογισμός της ποσότητας των ουσιών που εισχώρησαν στην πατάτα μετά την ώσμωση (συγκέντρωση στο τελικό προϊόν), μετρούνται οι τιμές συγκέντρωσης της γλυκερόλης, του χλωριούχου νατρίου και του ασκορβικού οξέος στα επεξεργασμένα-ωσμομένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα πατάτας. Με τις μετρήσεις αυτές είναι να δυνατό να εξηγηθούν ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την αξιολόγηση που αφορούν την υφή, το γεύση και την εμφάνιση και ενδεχομένως να ελεγχθούν και κάποιες παραδοχές που γίνονται ως προς την αναλογία των ουσιών του ωσμωτικού διαλύματος που προσλαμβάνονται από το τρόφιμο. Τα δείγματα κατηγοριοποιούνται ομοίως ανάλογα το ποσοστό γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα και ανάλογα την προ-επεξεργασία.

6.3.1 Μέτρηση γλυκερόλης σε επεξεργασμένα δείγματα πατάτας

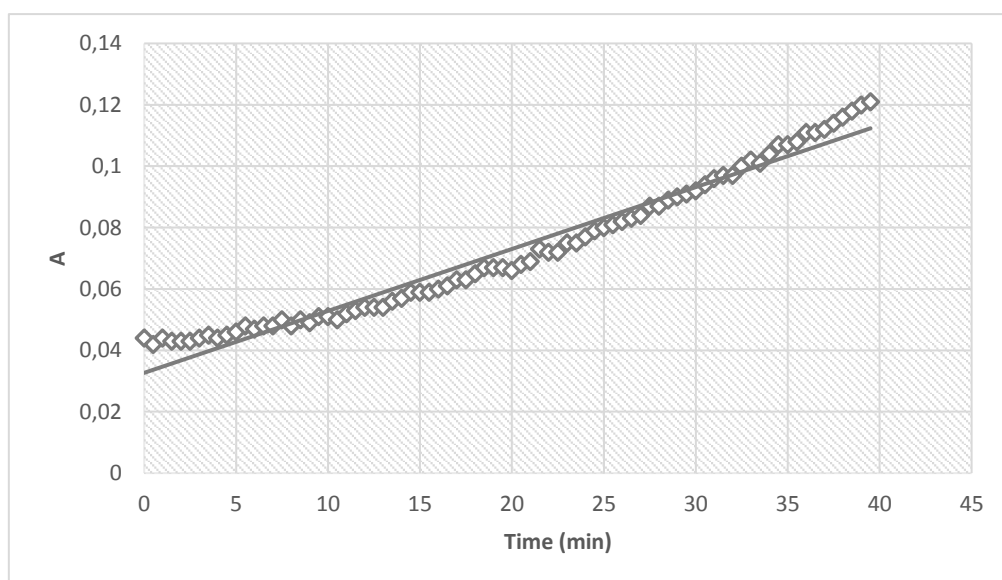
Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα τα τελικά ωσμωτικά διαλύματα που επιλέγονται για περαιτέρω ανάλυση είναι: α) 10% Gly, 5% NaCl, 1% AA και β) 20% Gly, 5% NaCl και 1% AA. Η μέτρηση της γλυκερόλης (Gly) πραγματοποιείται σύμφωνα με την διαδικασία που εξηγείται στην ενότητα 5.3.5.

Επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα πατάτας

Για τα επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα πατάτας πραγματοποιούνται διαδοχικές αραιώσεις σε διαφορετικές αναλογίες. Με την διαδικασία αυτή γίνεται προσπάθεια για την εύρεση της βέλτιστης αραιώσης όπου τα αποτελέσματα της κλίσης από το διάγραμμα απορρόφησης-χρόνου να δύνανται μέσω της πρότυπης να καμπύλης βαθμονόμησης (Εικόνα 5.9) να δίνουν αποτέλεσμα για τη συγκέντρωση. Τα αποτελέσματα της κλίσης ($\Delta A/\Delta t$) πρέπει να ανήκουν στο γραμμικό κομμάτι της καμπύλης βαθμονόμησης. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα της φωτομέτρησης που επιλέγονται για τη μέτρηση της γλυκερόλης (Διαγράμματα 6.15-6.16). Τα υπόλοιπα διαγράμματα που δεν επιλέγονται παρουσιάζονται ενδεικτικά στο Παράρτημα.



Διάγραμμα 6.15: Μεταβολή απορρόφησης με το χρόνο για επεξεργασμένα-ωσμημένα δείγματα πατάτας με ποσοστό γλυκερόλης 10% στο ωσμωτικό διάλυμα



Διάγραμμα 6.16: Μεταβολή απορρόφησης με το χρόνο για επεξεργασμένα-ωσμημένα δείγματα πατάτας με ποσοστό γλυκερόλης 20% στο ωσμωτικό διάλυμα

Από τα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 6.15-6.16) και τη γραμμική προσέγγιση προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5.

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα γραμμικής προσέγγισης στη μεταβολή της απορρόφησης για επεξεργασμένα-ωσμημένα δείγματα πατάτας

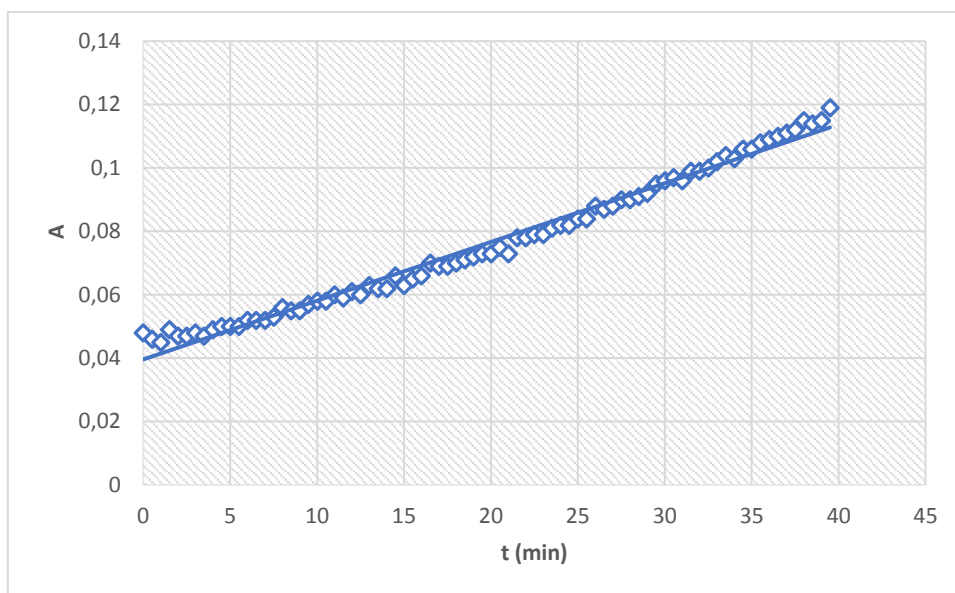
Δείγμα	Αραίωση	$\Delta A/\Delta t \text{ (min}^{-1}\text{)}$	R^2
10%	1:10	0,0024	0,9838
20%	1:100	0,0020	0,9644

Από την Εικόνα 5.9 του προηγούμενου κεφαλαίου που παρουσιάζεται η πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης και μέσω της κλίσης $\Delta A/\Delta t$ του Πίνακα 6.5, γίνεται κατανοητό πως:

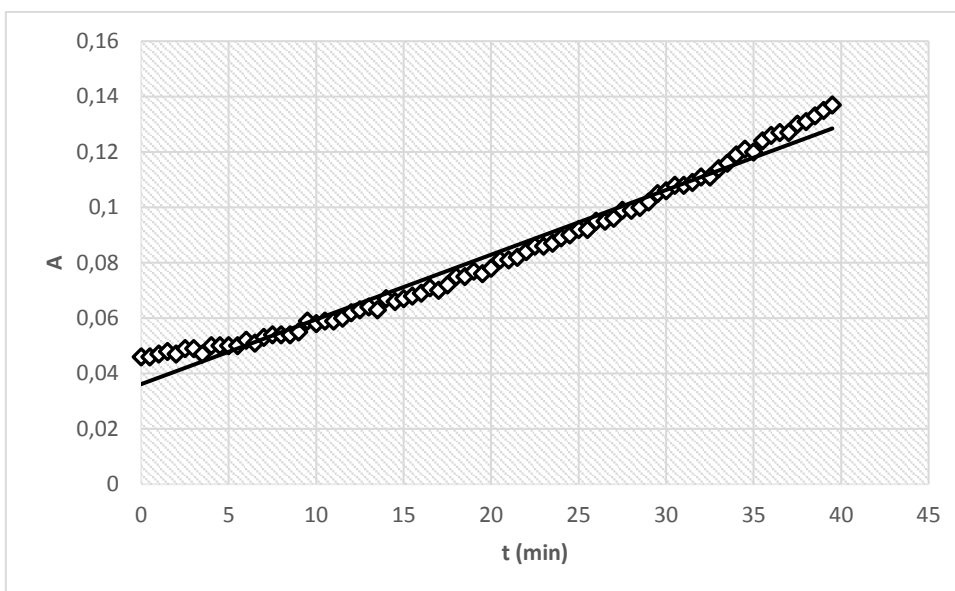
- Συγκέντρωση Gly (10%): 588,30 mg/L
- Συγκέντρωση Gly (20%): 483,05 mg/L

ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα πατάτας

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται μέτρησης της γλυκερόλης ακολουθείται και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα πατάτας. Αντίστοιχα, με τις διαδοχικές αραιώσεις που πραγματοποιούνται προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.17-6.18).



Διάγραμμα 6.17: Μεταβολή απορρόφησης με το χρόνο για ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα πατάτας με ποσοστό γλυκερόλης 10% στο ωσμωτικό διάλυμα



Διάγραμμα 6.18: Μεταβολή απορρόφησης με το χρόνο για ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα πατάτας με ποσοστό γλυκερόλης 20% στο ωσμωτικό διάλυμα

Από τα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 6.17-6.18) και τη γραμμική προσέγγιση προκύπτουν τα αποτελέσματα για την κλίση ($\Delta A/\Delta t$) που χρησιμοποιείται για την εύρεση της συγκέντρωσης (Πίνακας 6.6).

Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα γραμμικής προσέγγισης στη μεταβολή της απορρόφησης για ΠΗΠ- επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας

Δείγμα	Αραίωση	$\Delta A/\Delta t$ (min ⁻¹)	R ²
10%-PEF	1:100	0,0019	0,9844
20%-PEF	1:100	0,0023	0,9767

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της κλίσης $\Delta A/\Delta t$ και βάσει της Εικόνας 5.9 του Κεφαλαίου 5 για τη συγκέντρωση της γλυκερόλης (Gly) στα ανωτέρω ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας ισχύει:

- Συγκέντρωση Gly (10%-PEF): 458,90 mg/L
- Συγκέντρωση Gly (20%-PEF): 555,51 mg/L

6.3.2 Μέτρηση χλωριούχου νατρίου σε επεξεργασμένα δείγματα πατάτας

Για τη μέτρηση του χλωριούχου νατρίου των δειγμάτων πατάτας ακολουθείται η διαδικασία της τιτλοδότησης (μέθοδος Mohr) όπως αναλύθηκε στην ενότητα 5.3.6. Τα αποτελέσματα συλλέγονται και επεξεργάζονται μέσω της Εξίσωσης 5.4. Αρχικά, μελετώνται τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας και στη συνέχεια τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα. Τα ωσσωτικά διαλύματα που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 6.7).

Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα μέτρησης αλατότητας επεξεργασμένων-ωσσωμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων πατάτας

Δείγμα	Αλατότητα (S) (% w/w)	STDEV
10%	0,32	0,02
20%	0,27	0,02
10%-PEF	0,29	0,01
20%-PEF	0,29	0,03

6.3.3 Μέτρηση ασκορβικού οξέος (Βιταμίνη C) σε επεξεργασμένα δείγματα πατάτας

Εφόσον στο ωσσωτικό διάλυμα που επιλέγεται χρησιμοποιείται σε μικρό ποσοστό ασκορβικό οξύ, η μέτρησή του είναι απαραίτητη για τη συνολική ένδειξη των συστατικών στο δείγμα. Η βιταμίνη C μετριέται χρωματογραφικά με τη μέθοδο που αναλύθηκε στην ενότητα 5.3.7. Στη συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιείται μέτρηση και για τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης Βιταμίνης C (mg/100g πατάτας) χρησιμοποιείται η σχέση (Εξίσωση 6.3).

$$C_{\text{βιταμίνης C}} = \frac{0,0018 \cdot A \cdot V}{W} \quad (\text{Εξίσωση 6.3})$$

Όπου: A: η απορρόφηση, V: ο όγκος του διηθήματος (mL) και W: το αρχικό βάρος του δείγματος (g).

Βάσει της παραπάνω σχέσης (Εξίσωση 6.3) προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 6.8).

Πίνακας 6.8: Αποτελέσματα μέτρησης ασκορβικού οξέος (Βιταμίνης C) επεξεργασμένων-ωσμωνμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων πατάτας

Δείγμα	Vitamin C (mg/100g πατάτας)	STDEV
CNT	10,59	1,04
10%	116,34	4,56
20%	113,96	0,48
10%-PEF	90,44	8,60
20%-PEF	105,25	6,55

6.3.4 Συνολική σύσταση συστατικών ωσμωτικού διαλύματος στα προϊόντα πατάτας

Για τη σωστή εκτίμηση και αποτύπωση της αποδοτικότητας της ωσμωτικής διαδικασίας είναι σημαντικό τα προσληφθέντα συστατικά από το ωσμωτικό διάλυμα να αναχθούν στην ίδια μονάδα μέτρησης. Είναι επιπλέον σημαντικό και για την ετικέτα της συσκευασίας να αναγράφονται τα συστατικά του προϊόντος. Τα αποτελέσματα για κάθε προϊόν πατάτας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.9).

Πίνακας 6.9: Προσληφθέντα συστατικά στα δείγματα πατάτας από το ωσμωτικό διάλυμα

Προϊόν πατάτας	Ποσότητα γλυκερόλης (mg/g ωσμωνμένης πατάτας)	Ποσότητα χλωριούχου νατρίου (mg/g ωσμωνμένης πατάτας)	Ποσότητα ασκορβικού οξέος (mg/g ωσμωνμένης πατάτας)
Επεξεργασμένη-ωσμωνμένη με 10% Gly	0,27	0,09	0,12
Επεξεργασμένη-ωσμωνμένη με 20% Gly	2,17	0,08	0,11
ΠΗΠ-επεξεργασμένη-ωσμωνμένη με 10% Gly	2,05	0,07	0,09
ΠΗΠ-επεξεργασμένη-ωσμωνμένη με 20% Gly	2,07	0,07	0,11

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται πως η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ όντως ενισχύει τη μεταφορά ουσιών δεδομένου ότι στο ωσμωτικό διάλυμα με ποσότητα 10% σε γλυκερόλη η συγκέντρωση της είναι πολύ μεγαλύτερη στο προεπεξεργασμένο δείγμα. Παράλληλα, παρατηρούνται παρόμοιες τιμές στα συστατικά του χλωριούχου νατρίου και του ασκορβικού οξέος χωρίς να επηρεάζονται ιδιαίτερα από την προεπεξεργασία. Η γλυκερόλη έχει εγκριθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση να χρησιμοποιείται ως συντηρητικό και δεν έχει τεθεί συγκεκριμένο όριο χρήσης εφόσον δε θεωρείται τοξική (Foods Standards Agency, 2024). Σχετικά με το χλωριούχο νάτριο (αλάτι) δεν έχει τεθεί συγκεκριμένο όριο για τα τσιπς πατάτας, ωστόσο στο Ηνωμένο Βασίλειο τα προϊόντα με ποσότητα μεγαλύτερη από 6 mg/g φαγητού θεωρούνται ότι περιέχουν υψηλή ποσότητα αλατιού (Centre for Food Safety, 2018).

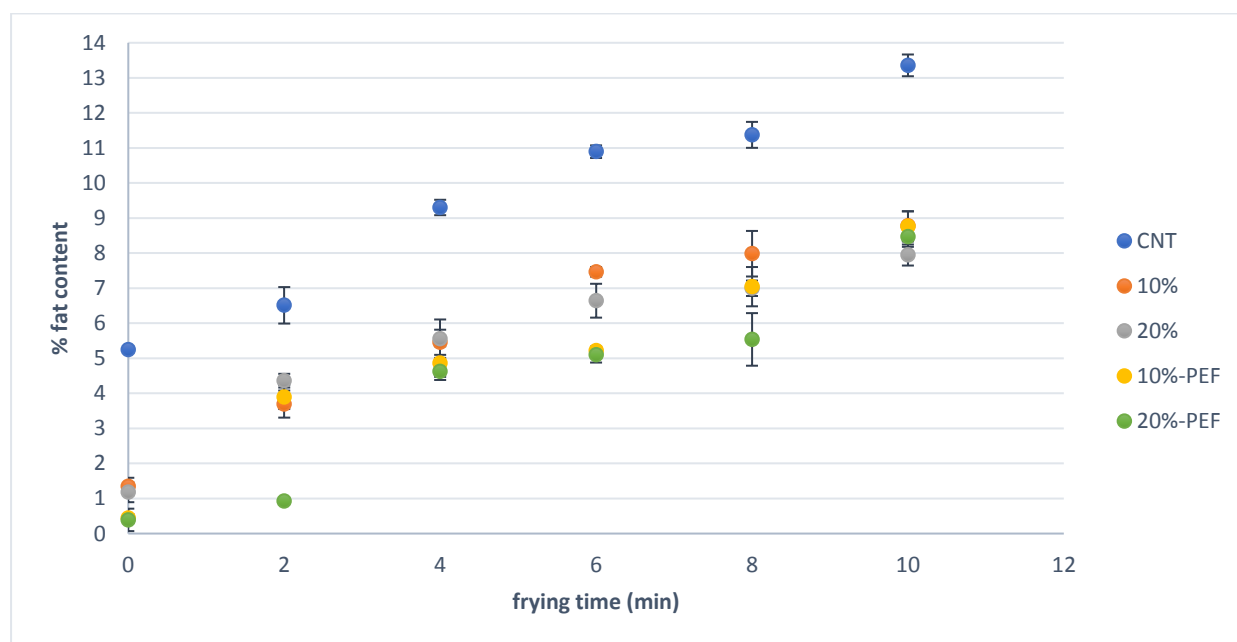
Τέλος, το ασκορβικό οξύ χρησιμοποιείται ως συντηρητικό σε φρεσκοκομμένα προϊόντα πατάτας και δεν έχει συγκεκριμένα όρια καθημερινής κατανάλωσης (Dumitrache, 2022).

6.4 Μελέτη θερμικής επεξεργασίας τηγανίσματος στα δείγματα πατάτας

Τα δείγματα επιλογής, μετά την διαδικασία της ώσμωσης (με ή χωρίς προεπεξεργασία με ΠΗΠ) υπόκεινται στη θερμική επεξεργασία του τηγανίσματος. Κατά τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία, επιλέγεται ο χρόνος των 10 min για το τηγάνισμα των δειγμάτων με εμβάπτιση σε αραβοσιτέλαιο στους 180 °C. Η έρευνα αφορά στην πρόσληψη του ελαίου από τα δείγματα, την ποιοτική υποβάθμιση του προσληφθέντος ελαίου και του ελαίου της φριτέζας καθώς και την οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων. Επιπλέον, μελετώνται και τα χαρακτηριστικά της υφής και της υγρασίας για τα τηγανισμένα δείγματα στα 10 min.

6.4.1 Πρόσληψη ελαίου και περιεκτικότητα λιπαρών

Για τη μέτρηση της περιεκτικότητας ελαίου των τηγανισμένων δειγμάτων πραγματοποιείται κινητική μελέτη στα δείγματα κατά την διάρκεια του τηγανίσματος. Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας των λιπαρών των δειγμάτων χρησιμοποιείται η Εξίσωση 5.5. Τα δείγματα κατηγοριοποιούνται βάσει ωσμωτικού διαλύματος (π.χ. 10% δηλαδή με 10% γλυκερόλη) και βάσει επεξεργασίας (π.χ. 10%-PEF δηλαδή ΠΗΠ-επεξεργασμένα και ωστωμένα με 10% γλυκερόλη). Τα μη επεξεργασμένα δείγματα συμβολίζονται με control (CNT). Από την πειραματική διαδικασία εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.19).



Διάγραμμα 6.19: Κινητική μελέτη της περιεκτικότητας % σε λιπαρά σε μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωστωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωστωμένα δείγματα πατάτας (Average value $\pm$ STDEV)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.19) φαίνεται πως τα επεξεργασμένα-ωστωμένα αλλά και τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωστωμένα δείγματα πατάτας απορροφούν στατιστικά σημαντικά μικρότερη ποσότητα ελαίου σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα ($p > 0,05$). Συγκεκριμένα, στα 10 min τηγανίσματος το μη επεξεργασμένο δείγμα παρουσιάζει περιεκτικότητα ελαίου 13,36% ενώ αντίστοιχα τα επεξεργασμένα ωστωμένα το 10%: 8,77% και το 20%: 7,95% ενώ τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα 8,76% και 8,47% το 10% και 20% αντίστοιχα. Η διαφορά είναι περίπου 35% μεταξύ των μη επεξεργασμένων και επεξεργασμένων δειγμάτων. Μεταξύ των επεξεργασμένων-ωστωμένων δειγμάτων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωστωμένων δειγμάτων οι διαφορές είναι εμφανείς σε ορισμένα σημεία

των δειγμάτων χωρίς ωστόσο να παρατηρείται σημαντική διαφορά στις τιμές του περιεχόμενου ελαίου στα 10 min τηγανίσματος. Η ωσμωτική διαδικασία έχει αποδειχθεί ότι επιφέρει ένα προϊόν με τροποποιημένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και μειωμένο σε λιπαρά (Krokida et al., 2001). Επιπλέον, σε έρευνα που έχει γίνει σε γλυκοπατάτα, η ώσμωση που πραγματοποιήθηκε ως προεπεξεργασία έπαιξε ρόλο στο τηγάνισμα διότι το προϊόν έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα λιπαρών σε σχέση με το μη επεξεργασμένο (Kwaw et al., 2024). Επομένως, η σημαντικότερη παρατήρηση φαίνεται πως αφορά στην ποσότητα γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα καθώς όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα η αύξηση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα επιφέρει μείωση στο περιεχόμενο έλαιο. Παρόλα αυτά, και σε αυτή την περίπτωση δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών για τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα και για τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα. Η προεπεξεργασία με ΠΗΠ σε δείγματα πατάτας έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σε σημαντικό ποσοστό την πρόσληψη ελαίου κατά το τηγάνισμα (Liu et al., 2019). Άρα επόμενο είναι πως και τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα δείγματα θα έχουν μειωμένη πρόσληψη ελαίου. Ωστόσο, η μικρή διαφορά που παρατηρείται στην πρόσληψη ελαίου των ΠΗΠ-επεξεργασμένων δειγμάτων σε σχέση με τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα αντίστοιχου ωσμωτικού διαλύματος πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός πως η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ εκτός του ότι επιβραδύνει την αντίδραση Maillard, προωθεί και τη ζελατινοποίηση του αμύλου. Ως αποτέλεσμα αυτών, προσλαμβάνεται λιγότερο έλαιο κατά το τηγάνισμα (Xu et al., 2020).

Τα αποτελέσματα της πρόσληψης ελαίου δύνανται να μοντελοποιηθούν. Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων για την εύρεση του περιεχόμενου ελαίου των δειγμάτων χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση (Εξίσωση 6.4) για τη μαθηματική μοντελοποίηση των δεδομένων (Krokida et al., 2000).

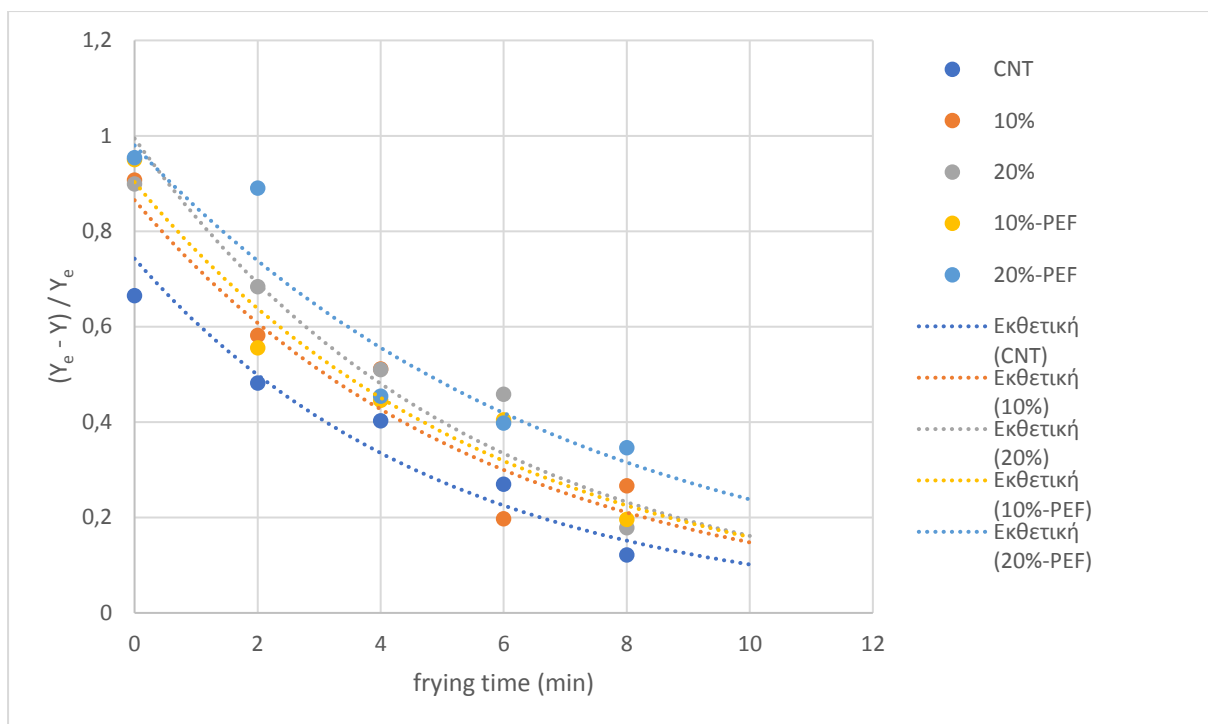
$$Y = Y_e [1 - \exp(-kt)] \quad (\text{Εξίσωση 6.4})$$

Όπου Y: η ποσότητα ελαίου (g/g ξηρού βάρους), Y_e : η ποσότητα ελαίου σε άπειρο χρόνο τηγανίσματος και στη συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιείται η ποσότητα σε 10 min (g/g ξηρού βάρους) και k: ο ρυθμός πρόσληψης ελαίου (min^{-1}).

Για την εύρεση του ρυθμού πρόσληψης και για να εξαχθούν τα τελικά αποτελέσματα, η Εξίσωση 6.4 μετασχηματίζεται στην κανονικοποιημένη της μορφή (Εξίσωση 6.5).

$$\frac{Y_e - Y}{Y_e} = \exp(-kt) \quad (\text{Εξίσωση 6.5})$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση (Εξίσωση 6.5) και βάσει των αποτελεσμάτων προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.20).



Διάγραμμα 6.20: Μαθηματική μοντελοποίηση των πειραματικών δεδομένων για την πρόσληψη ελαίου τηγανισμένων μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσμωνένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων πατάτας

Από το παραπάνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.20) και τη μοντελοποίηση που πραγματοποιήθηκε προκύπτουν τα αποτελέσματα για τους ρυθμούς πρόσληψης ελαίου των δειγμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 6.10).

Πίνακας 6.10: Αποτελέσματα μαθηματικής μοντελοποίησης των πειραματικών δεδομένων για τηγανισμένα μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσμωνένια και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα

Δείγμα	k (min ⁻¹)	Ποσότητα ελαίου (Y _e) στα 10 min τηγανίσματος (g/g ξηρού βάρους)	R ²
CNT	0,199	0,7588	0,9483
10%	0,177	0,3286	0,9305
20%	0,182	0,3394	0,9302
10%-PEF	0,174	0,3013	0,9443
20%-PEF	0,142	0,2664	0,8961

Φαίνεται πως τα τελικά αποτελέσματα συμφωνούν με τα συμπεράσματα που εξάγονται από το Διάγραμμα 6.19. Δηλαδή, τα μη επεξεργασμένα δείγματα απορροφούν με μεγαλύτερο ρυθμό λάδι σε σχέση με τα επεξεργασμένα. Για αυτό το λόγο και η απορρόφηση στα 10 min αλλά και οι τιμές των απορροφήσεων κατά τη χρονική διάρκεια του τηγανίσματος είναι μεγαλύτερες. Επιπλέον, βάσει των αποτελεσμάτων φαίνεται η μικρή διαφορά των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων στην πρόσληψη ελαίου δεδομένου ότι παρουσιάζουν μικρότερο ρυθμό πρόσληψης από τα επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα. Το ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να επιδρά στην τελική απορρόφηση ελαίου όπου με την αύξηση του ωσμωτικού παράγοντα (γλυκερόλη) παρατηρείται μειωμένος ρυθμός στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα. Αντίθετα, στα επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα

φαίνεται ο ρυθμός να λαμβάνει τιμές με μικρή απόκλιση (2,8%) στα δύο δείγματα και η αύξηση του ωσμωτικού παράγοντα δε μειώνει σε μεγάλο βαθμό την πρόσληψη ελαίου.

6.4.2 Μελέτη υποβάθμισης & οξείδωσης ελαίου

Όπως έχει αναφερθεί στην ενότητα 5.3.9 και 5.3.10 στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάται η οξείδωση του ελαίου κατά την θερμική κατεργασία του τηγανίσματος. Λαμβάνονται δείγματα ελαίου και από την πατάτα (μέσω εκχύλισης) αλλά και από τη φριτέζα. Η διαδικασία πραγματοποιείται για να αξιολογηθεί η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στους ποιοτικούς δείκτες του ελαίου.

Πρωτογενή προϊόντα οξείδωσης (Αριθμός Υπεροξειδίων – PV)

Αρχικά, μελετάται η αύξηση του αριθμού των υπεροξειδίων στο έλαιο της φριτέζας στα 10 min τηγανίσματος. Ο υπολογισμός γίνεται βάσει της Εξίσωσης 5.6 (Πίνακας 6.11).

Πίνακας 6.11: Αποτελέσματα αριθμού υπεροξειδίων (PV) για λάδι φριτέζας που έχουν τηγανιστεί μη επεξεργασμένα και επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα

	CNT	10%	20%
Χρόνος (min)	Αριθμός Υπεροξειδίων (PV)	Αριθμός Υπεροξειδίων (PV)	Αριθμός Υπεροξειδίων (PV)
0	3,41	3,21	1,26
2	3,81	3,74	1,71
4	3,83	3,76	1,80
6	3,87	4,01	1,81
8	3,92	4,11	2,00
10	4,02	4,38	2,10

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.11 γίνεται κατανοητό πως η προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν επιδρά στην αύξηση των πρωτογενών προϊόντων οξείδωσης κατά την διαδικασία τηγανίσματος. Παρατηρείται μια μικρή μείωση με την αύξηση του ωσμωτικού παράγοντα (από 10% σε 20% γλυκερόλη) η οποία δεν έχει στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0,05$) ενώ στα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με 10% γλυκερόλη δεν παρατηρείται ομοίως στατιστικά σημαντική διαφορά στην τελική τιμή σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας ($p < 0,05$). Ωστόσο για τη μελέτη των 10 min που πραγματοποιείται, όλα τα δείγματα ελαίου θεωρούνται αποδεκτά εφόσον είναι κάτω από το όριο που ισούται με 20 σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Connell, 1975). Για το λόγο αυτό δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω μελέτη στο απορροφημένο έλαιο πατάτας καθώς και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα.

Στα συγκεκριμένα δείγματα πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση μέσω ANOVA για την τιμή PV κάθε χρονικής στιγμής αλλά και μεταξύ των δειγμάτων. Και για τις δύο περιπτώσεις δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά εφόσον ισχύει $p < 0,05$. Οι πίνακες των στατιστικών αποτελεσμάτων παρατίθενται στο Παράρτημα.

Δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης και δείκτες ποιότητας

Εφόσον δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή στον αριθμό υπεροξειδίων (PV), αποφασίστηκε να μελετηθεί τυχόν αύξηση των δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης. Συγκεκριμένα, μελετάται η παραγωγή αλδεϋδών και κετονών από την αποσύνθεση των πρωτογενών προϊόντων οξείδωσης. Οι αλδεϋδες μπορούν να προσδιοριστούν εφόσον αντιδρούν με π-ανισιδίνη και κατά αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ο αριθμός π-ανισιδίνης (p-

AV) (Dijkstra, 2016). Επιπλέον, πραγματοποιείται μέτρηση για τα συζυγή διένια και τριένια που προκύπτουν ομοίως στο δεύτερο στάδιο της οξείδωσης. Χρησιμοποιούνται οι δείκτες K_{232} και K_{270} που αφορούν απορρόφηση στα 232 nm (για συζυγή διένια) και στα 270 nm (για συζυγή τριένια) (Askin and Kaya, 2020). Οι μετρήσεις στο συγκεκριμένο στάδιο πραγματοποιούνται για όλα τα επεξεργασμένα δείγματα (επεξεργασμένα-ωσσωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα ωσσωμένα) αλλά και για τα μη επεξεργασμένα δείγματα με δειγματοληψία στα 10 min τηγανίσματος. Λαμβάνονται δείγματα και από το έλαιο της φριτέζας αλλά και από το εκχυλισμένο έλαιο της πατάτας. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις Εξισώσεις 5.8-5.9 (Πίνακας 6.12-6.14).

Πίνακας 6.12: Αποτελέσματα αριθμού π-ανισιδίνης για τηγανισμένο λάδι πατάτας και φριτέζας μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσσωμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων

	Λάδι πατάτας	Λάδι φριτέζας
Δείγμα	Αριθμός ανισιδίνης (p-AV)	Αριθμός ανισιδίνης (p-AV)
CNT	11,08	16,71
10%	9,57	12,53
20%	9,40	11,57
10%-PEF	9,28	8,12
20%-PEF	10,48	12,11

Πίνακας 6.13: Αποτελέσματα τιμής K_{232} για τηγανισμένο λάδι πατάτας και φριτέζας μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσσωμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων

	Λάδι πατάτας	Λάδι φριτέζας
Δείγμα	Τιμή K_{232}	Τιμή K_{232}
CNT	48,07	55,65
10%	48,07	50,43
20%	55,98	62,59
10%-PEF	39,96	40,00
20%-PEF	58,07	58,71

Πίνακας 6.14: Αποτελέσματα τιμής K_{270} για τηγανισμένο λάδι πατάτας και φριτέζας μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσσωμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων

	Λάδι πατάτας	Λάδι φριτέζας
Δείγμα	Τιμή K_{270}	Τιμή K_{270}
CNT	47,78	53,64
10%	55,84	57,34
20%	58,65	65,12
10%-PEF	50,08	50,82
20%-PEF	61,75	65,31

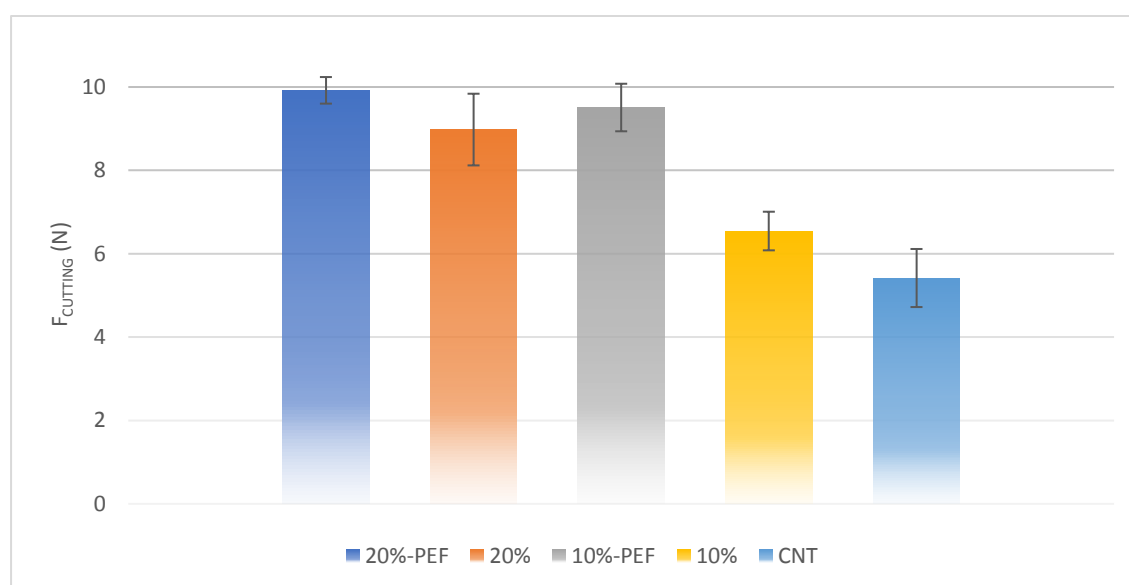
Και στην περίπτωση της μελέτης των δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών της π-ανισιδίνης, του δείκτη K_{232} και του δείκτη K_{270} . Μεταξύ των δειγμάτων ελαίου πατάτας των διαφορετικών προϊόντων πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση με ANOVA όπου προκύπτει και για τους τρεις εξεταζόμενους δείκτες πως $p < 0,05$ στα 10 min τηγανίσματος. Δηλαδή, δεν προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του ελαίου των μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσσωμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων πατάτας.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για το έλαιο της φριτέζας το οποίο κατά μέσο όρο φαίνεται να εμφανίζει ελάχιστα αυξημένη τιμή σε σχέση με το έλαιο πατάτας των αντίστοιχων δειγμάτων. Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιείται δείχνει πως δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δεικτών των ελαίων της φριτέζας για τα εξεταζόμενα δείγματα αφού προκύπτει τιμή $p < 0,05$. Αναλυτικά οι πίνακες με τα στατιστικά αποτελέσματα επισυνάπτονται στο Παράρτημα.

6.4.3 Μελέτη υφής και υγρασίας των τηγανισμένων προϊόντων πατάτας

Ανάλυση υφής

Κατά την πειραματική διαδικασία μετριέται και η υφή των τηγανισμένων προϊόντων πατάτας αμέσως μετά τη θερμική κατεργασία. Η διαδικασία πραγματοποιείται στον αναλυτή υφής όπως αναλύθηκε στην ενότητα 5.3.4. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης υφής (Διάγραμμα 6.21).



Διάγραμμα 6.21: Αποτελέσματα ανάλυσης υφής (σκληρότητας) για τηγανισμένα μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσσωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα προϊόντα πατάτας

Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.21) πως τα τηγανισμένα δείγματα που έχουν προεπεξεργαστεί με ΠΗΠ είναι πιο σκληρά σε σχέση με τα ωσσωμένα-επεξεργασμένα. Επιπλέον, όπως είναι αναμενόμενο η αύξηση γλυκερόλης στο ωσωτικό διάλυμα οδηγεί σε πιο σκληρό τηγανισμένο προϊόν εφόσον υπάρχει μεγαλύτερη πρόσληψη ολικών στερεών κατά την ωσωτική διαδικασία. Δηλαδή, φαίνεται πως κατά το τηγάνισμα δημιουργείται μια «κρούστα» πάνω από τα δείγματα η οποία αυξάνει τη σκληρότητά τους.

Μέτρηση υγρασίας

Για τη μέτρηση της υγρασίας ζυγίζεται ένα δείγμα πατάτας αφού τηγανιστεί για 10 min και στη συνέχεια ζυγίζεται εκ νέου μετά από 24h. Αναλυτικά τα αποτελέσματα επισημαίνονται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 6.15).

Πίνακας 6.15: Αποτελέσματα μέτρησης υγρασίας για μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσσωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα τηγανισμένα δείγματα πατάτας

Δείγμα	Υγρασία (% w/w)
CNT	41,35
10%	17,78
20%	24,94
10%-PEF	34,89
20%-PEF	29,89

Βάσει των αποτελεσμάτων του παραπάνω Πίνακα (Πίνακας 6.15) παρατηρείται ένα πιο αυξημένο ποσοστό υγρασίας στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα προϊόντα παρά στα επεξεργασμένα-ωσσωμένα προϊόντα πατάτας. Ωστόσο, φαίνεται πως και στις δύο περιπτώσεις τα επεξεργασμένα δείγματα έχουν χαμηλότερη τιμή υγρασίας από το τηγανισμένο μη επεξεργασμένο δείγμα.

6.4.4 Οργανοληπτική αξιολόγηση τηγανισμένων δειγμάτων πατάτας

Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας του τηγανίσματος πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική αξιολόγηση σε όλα τα επεξεργασμένα δείγματα που μελετήθηκαν. Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ με τη συμμετοχή 10 ατόμων από το προσωπικό του εργαστηρίου καθώς και φοιτητές που εκπονούσαν την διπλωματική τους εργασία. Τα δείγματα αφού ξεπλύθηκαν με νερό, τηγανίστηκαν σε οικιακή φριτέζα για 10 min. Η αξιολόγηση αφορούσε στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δείγματος (εμφάνιση, χρώμα, υφή, γεύση, μετάγευση, άρωμα, οσμή) και η βαθμολογία κυμαίνεται από 1: καθόλου ένταση έως 9: πολύ υψηλή ένταση. Στο τέλος, ζητήθηκε από τους δοκιμαστές να αξιολογήσουν το προϊόν σε συνολική αρέσκεια με βαθμολογία από 1: πολύ κακό έως 9: πολύ καλό. Ο κάθε δοκιμαστής συμπλήρωσε το αντίστοιχο έντυπο οργανοληπτικής αξιολόγησης (Εικόνα 5.10). Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τυχαίου τριψήφιους κωδικούς στα δείγματα (εκτός από το μη επεξεργασμένο δείγμα) ώστε να μη γνωρίζουν οι δοκιμαστές τι επεξεργασία είχε υποστεί το κάθε δείγμα (Εικόνα 6.1). Συγκεκριμένα για τα δείγματα ισχύει:

- 231: Επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας (ώσμωση με 20% Gly)
- 512: ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας (ώσμωση με 10% Gly)
- 394: Επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας (ώσμωση με 10% Gly)
- 187: ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας (ώσμωση με 20% Gly)



Εικόνα 6.1: Τηγανισμένα δείγματα πατάτας

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ως μέσοι όροι για τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν (Πίνακας 6.16).

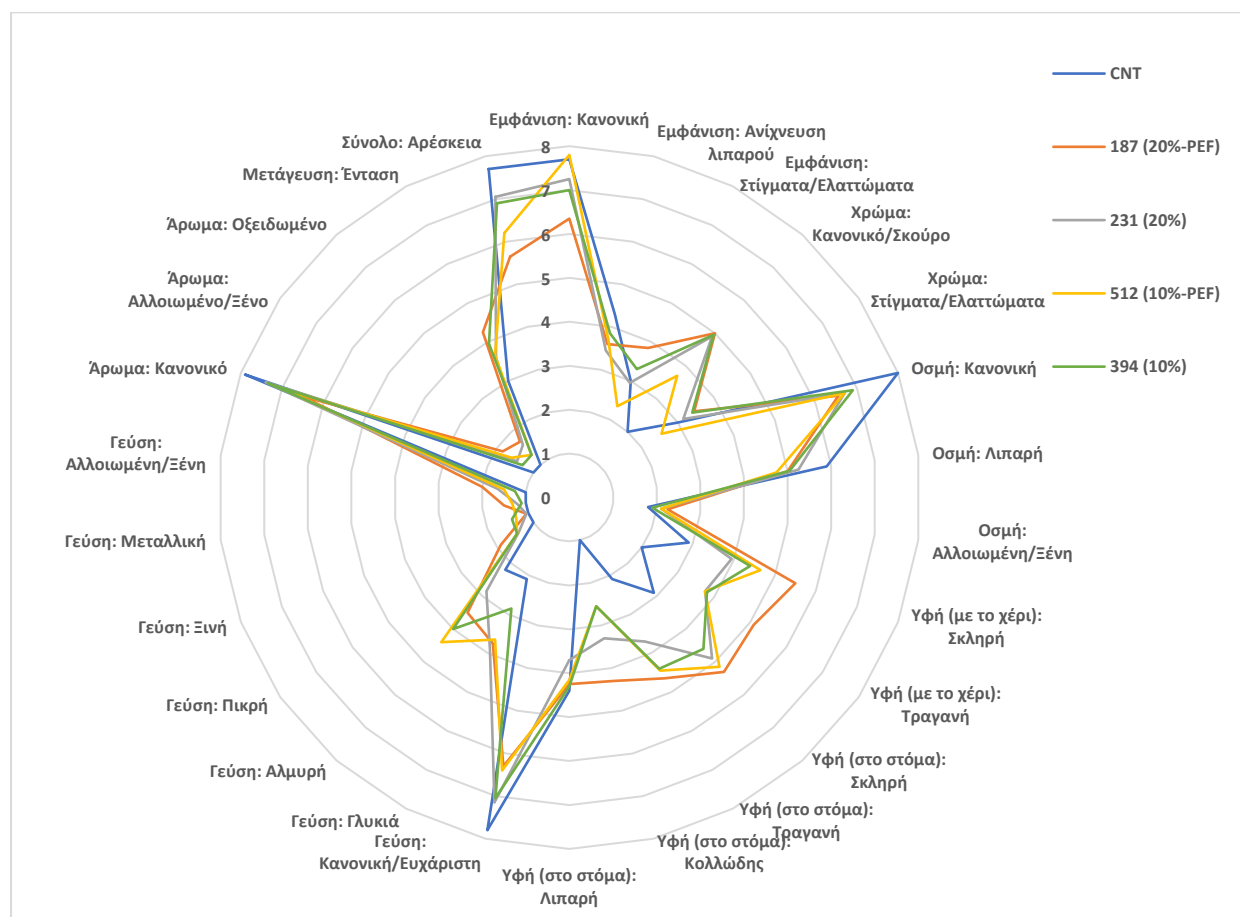
Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα οργανοληπτικού ελέγχου για μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσσωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα τηγανισμένα δείγματα πατάτας

		Control	187	231	512	394
Εμφάνιση	Κανονική	7,7	6,4	7,3	7,8	7,0
	Ανίχνευση λιπαρού	4,3	3,6	3,5	3,7	3,9
	Στίγματα/Ελαττώματα	3	3,9	3,0	2,4	3,3
Χρώμα	Κανονικό/Σκούρο	2	5,0	4,9	3,7	5,0
	Στίγματα/Ελαττώματα	3	3,5	3,2	2,6	3,4
Οσμή	Κανονική	8	6,6	6,7	6,7	6,9
	Λιπαρή	5,9	5,0	5,3	4,8	5,1
	Αλλοιωμένη/Ξένη	1,8	2,3	2,1	2,1	1,9
Υφή (με το χέρι)	Σκληρή	2,9	5,5	4,0	4,7	4,4
	Τραγανή	2	5,1	3,8	3,8	3,8
Υφή (στο στόμα)	Σκληρή	2,9	5,3	4,9	5,2	4,6
	Τραγανή	2,1	4,7	3,7	4,5	4,4
	Κολλώδης	1	4,3	3,3	2,6	2,6
	Λιπαρή	4,4	4,3	3,7	4,2	4,3
Γεύση	Κανονική/Ευχάριστη	7,8	6,3	7,2	6,4	7,1
	Γλυκιά	2,1	3,8	3,9	3,7	2,9
	Αλμυρή	2,2	3,5	2,9	4,4	4,0
	Πικρή	1	1,9	1,4	1,5	1,5
	Ξινή	1	1,1	1,1	1,3	1,4
	Μεταλλική	1	1,5	1,2	1,3	1,1
	Αλλοιωμένη/Ξένη	1	2,0	1,7	1,5	1,3
Άρωμα	Κανονικό	7,9	6,5	7,4	7,0	7,4
	Αλλοιωμένο/Ξένο	1	1,9	1,5	1,6	1,3
	Οξειδωμένο	1	1,7	1,6	1,3	1,3
Μετάγευση	Ένταση	3	4,3	3,6	3,7	4,0
Σύνολο	Αρέσκεια	7,7	5,7	7,1	6,2	6,9

Από τις βαθμολογίες των δοκιμασιών, φαίνεται ότι προτιμότερο από τα επεξεργασμένα δείγματα είναι το επεξεργασμένο-ωσσωμένο με 20% Gly με βαθμολογία συνολικής αρέσκειας 7,1/9 έναντι 7,7/9 που παρουσιάζει το μη επεξεργασμένο δείγμα (Control). Σημαντική παρατήρηση είναι πως τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα παρουσιάζουν υψηλότερη βαθμολογία συνολικής αρέσκειας σε σχέση με τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα, εφόσον στην δεύτερη θέση προτίμησης κατατάσσεται το επεξεργασμένο-ωσσωμένο δείγμα με 10% Gly με συνολική βαθμολογία 6,9/9. Φαίνεται λοιπόν, πως η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ επηρεάζει και την τελική ποιότητα των δειγμάτων. Η σκληρότητα αυξάνεται εφόσον απορροφάται μεγαλύτερο ποσοστό γλυκερόλης δεδομένου ότι η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς κατά την ώσωση και επιφέρει υψηλότερη απόδοση (Ade-Omowaye et al., 2001). Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί

εύκολα να παρατηρηθεί και από την ενόργανη μέτρηση της σκληρότητας των δειγμάτων (Διάγραμμα 6.21) όπου τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα παρουσιάζουν πιο σκληρή υφή.

Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και την καλύτερη κατανόηση των σημαντικότερων διαφορών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά μεταξύ των δειγμάτων δημιουργείται το αντίστοιχο αραχνοδιάγραμμα (Διάγραμμα 6.22) με τα αποτελέσματα των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών.



Διάγραμμα 6.22: Οργανοληπτική Αξιολόγηση τηγανισμένων μη επεξεργασμένων και επεξεργασμένων προϊόντων πατάτας

Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.22) γίνεται εμφανές πως όλα τα επεξεργασμένα δείγματα έχουν κολλώδη υφή λόγω της γλυκερόλης σε αντίθεση με το δείγμα control που δε βαθμολογήθηκε στο χαρακτηριστικό της κολλώδους υφής. Η κολλώδη υφή φαίνεται να είναι πιο αυξημένη στα δείγματα που έχουν υποστεί ώσωση με ποσοστό 20% γλυκερόλης. Από τα επεξεργασμένα δείγματα καλύτερη εμφάνιση παρουσιάζει το δείγμα 512 (ΠΗΠ-επεξεργασμένο-ωσσωμένο με 10% Gly) με βαθμολογία 7,8/9 υψηλότερη ακόμα και από το μη επεξεργασμένο δείγμα (7,7/9), όπου οι δοκιμαστές σχολίασαν πως έχει πολύ ωραίο χρώμα (Εικόνα 6.1). Το δείγμα 187 (ΠΗΠ-επεξεργασμένο-ωσσωμένο με 20% Gly) έχει αρνητική βαθμολογηση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα. Παρουσιάζει χαμηλή βαθμολογία στο άρωμα, χαμηλή βαθμολογία στη γεύση και αυξημένη λιπαρότητα. Γενικότερα, η προεπεξεργασία με ΠΗΠ φαίνεται να αλλοίωσε την τελική ποιότητα των δειγμάτων ενώ αναμενόταν ένα πιο ποιοτικό αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά, τα

δείγματα θεωρήθηκαν όλα πολύ καλά ως προς την εμφάνιση και παρουσίασαν βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Για την ουσιαστική μελέτη της επίδρασης της ωσμωτικής αφυδάτωσης και δεδομένου της οργανοληπτικής αξιολόγησης, επιλέγεται ως βέλτιστο ωσμωτικό διάλυμα εκείνο που αποτελείται από 20% γλυκερόλη. Τα επεξεργασμένα-ωσμομένα προϊόντα με 20% γλυκερόλη ήταν αποδεκτά από τους δοκιμαστές με τη μεγαλύτερη βαθμολογία και φαίνεται να διαθέτουν ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, δεδομένου ότι χρειάζεται να γίνει σύγκριση των μεθόδων προεπεξεργασίας, για το πείραμα διατηρησιμότητας επιλέγεται και το ΠΗΠ-επεξεργασμένο-ωσμομένο δείγμα πατάτας με 20% γλυκερόλη παρόλο που η βαθμολογία του στον οργανοληπτικό έλεγχο δεν ήταν αρκετά ικανοποιητική. Χρειάζεται να γίνει σύγκριση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δύο προϊόντων που έχουν υποστεί ίδια ωσμωτική επεξεργασία.

6.5 Επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης και των ΠΗΠ στην ποιότητα και στην διατηρησιμότητα των δειγμάτων πατάτας σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP)

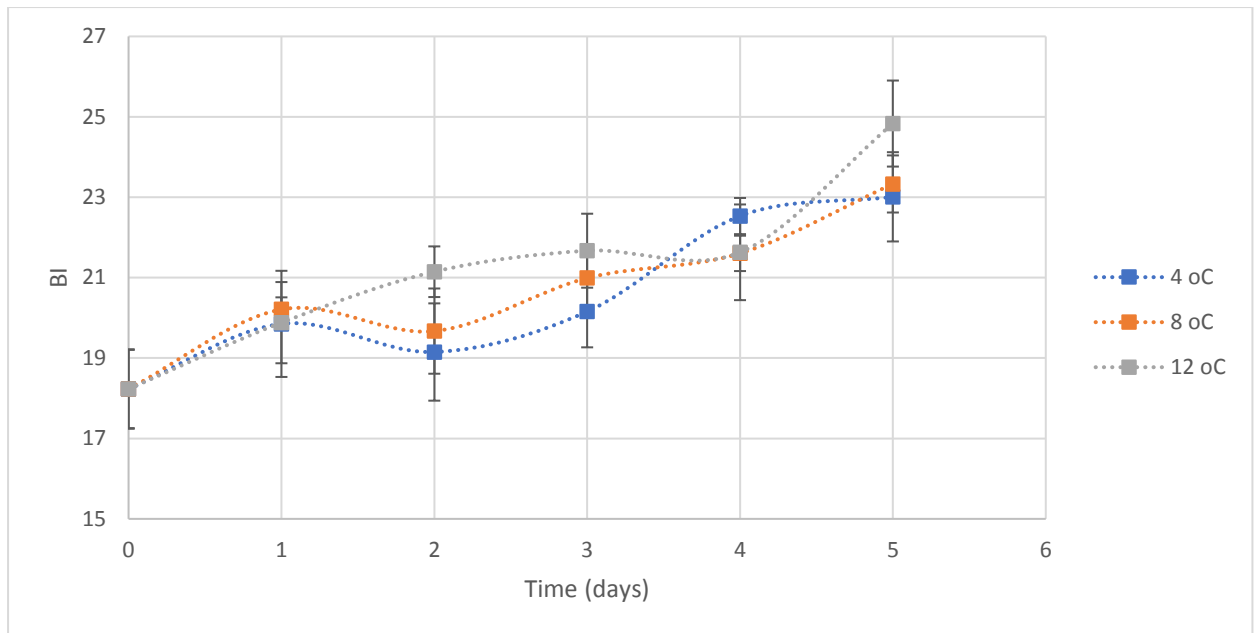
Στο προηγούμενο κεφάλαιο μελετήθηκαν οι επιπτώσεις των μη θερμικών επεξεργασιών σε δείγματα πατάτας κατά το τηγάνισμα. Με την εφαρμογή του βέλτιστου ωσμωτικού διαλύματος που αποτελείται από 20% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ και 74% νερό μελετάται στο σημείο αυτό η διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αλλά και η διάρκεια ζωής τόσο των επεξεργασμένων-ωσμομένων δειγμάτων όσο και των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμομένων δειγμάτων πατάτας σε αποθήκευση υπό ψύξη. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας και η πειραματική διαδικασία αξιολόγησης ολοκληρώνεται όταν τα δείγματα απορρίπτονται οργανοληπτικά. Συγκεκριμένα, τα δείγματα συσκευάζονται σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) με αρχικές συνθήκες 0,188% O₂ και 12,2% CO₂ και ακολουθεί αποθήκευση σε θαλάμους τριών διαφορετικών σταθερών και ελεγχόμενων θερμοκρασιών 4,8 και 12 °C. Κατά την διάρκεια της ισοθερμοκρασιακής αποθήκευσης προσδιορίζονται οι δείκτες ποιότητας (χρώμα, υφή), η μικροβιακή ανάπτυξη, το pH, η σύσταση της συσκευασίας και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων.

6.5.1 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και διατηρησιμότητα των μη επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας

Τα μη επεξεργασμένα δείγματα διατηρούνται στις τρεις προαναφερθείσες θερμοκρασίες και η κωδικοποίηση γίνεται με βάση τις συνθήκες αποθήκευσης. Δηλαδή, το δείγμα 4 °C αντιστοιχεί στο αντίστοιχο μη επεξεργασμένο δείγμα πατάτας που αποθηκεύεται στους 4 °C κ.ο.κ. Η δειγματοληψία ολοκληρώνεται δύο μέρες αφού το δείγμα απορριφθεί οργανοληπτικά και δε θεωρείται πια ασφαλές για κατανάλωση.

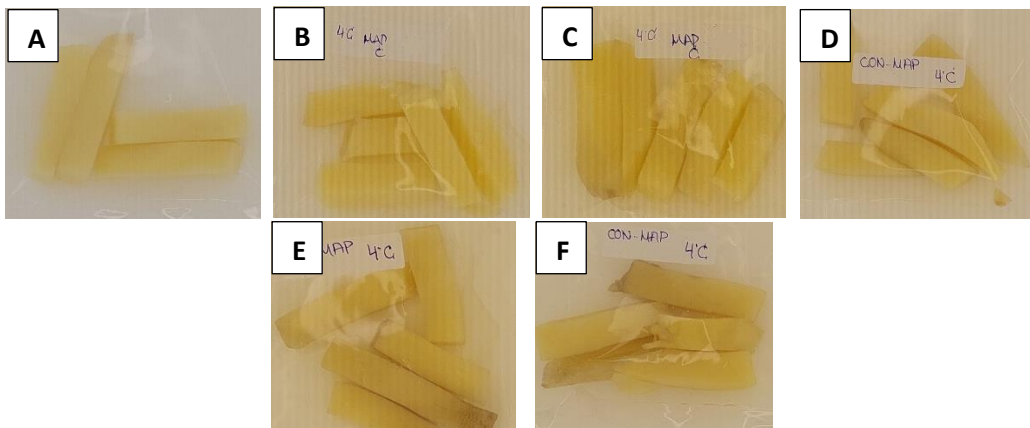
6.5.1.1 Μεταβολή χρώματος

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας της διατηρησιμότητας για τον έλεγχο του ενζυμικού μαυρίσματος χρησιμοποιείται ο δείκτης αμαύρωσης (BI) σύμφωνα με την Εξίσωση 5.1. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.23).

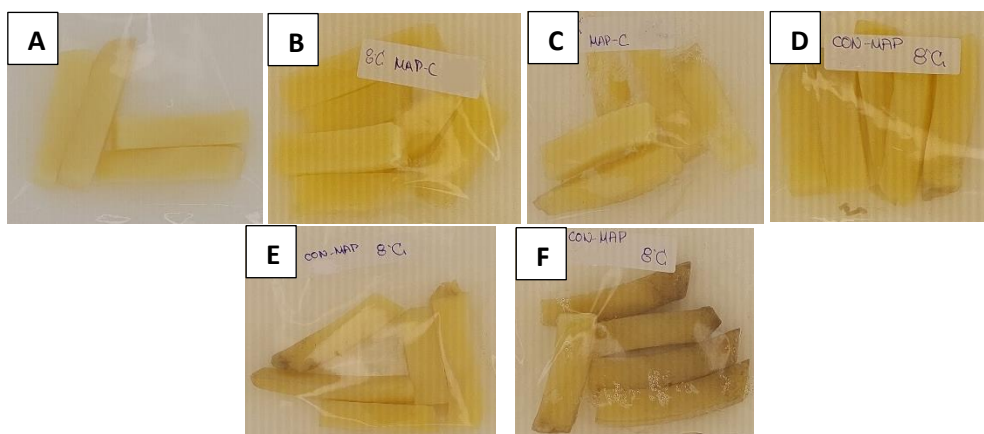


Διάγραμμα 6.23: Μεταβολή ενζυμικού μαυρίσματος για μη επεξεργασμένα δείγματα κατά την αποθήκευσή τους σε MAP συσκευασία (Average value $\pm$ STDEV)

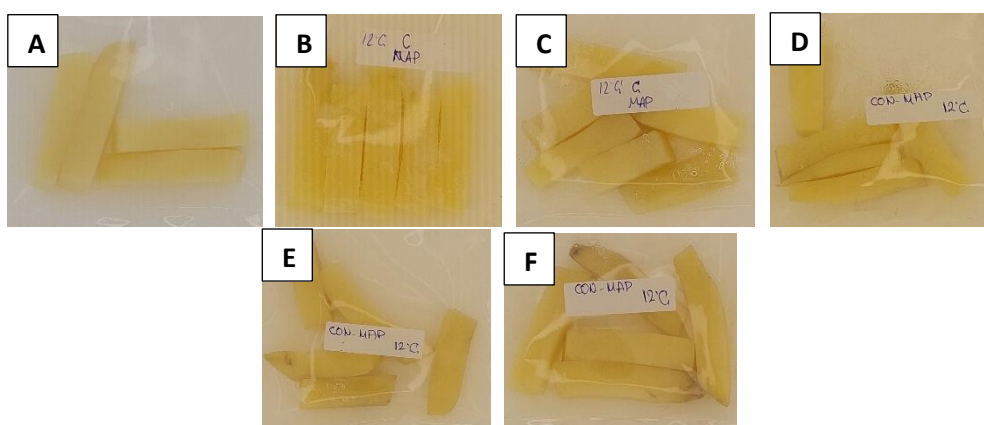
Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.23) παρατηρείται πως με την πάροδο των ημερών ο δείκτης αμαύρωσης (BI) αυξάνεται. Στο χρόνο 0 (ημέρα 0) οι μετρήσεις από το χρωματόμετρο ενδεικτικά δίνουν: $L = 53,5$, $a = -0,57$ και $b = 9,48$ και $BI = 18,23$. Φαίνεται πως η θερμοκρασία αποθήκευσης επιδρά στην ανάπτυξη του ενζυμικού μαυρίσματος εφόσον στους 12 °C παρατηρείται μεγαλύτερη τιμή BI. Ωστόσο, τα μετρούμενα αποτελέσματα με το χρωματόμετρο από το παραπάνω διάγραμμα δε διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους παρόλο που οπτικά παρατηρούνται διαφορές όπως φαίνεται στις παρακάτω Εικόνες (Εικόνα 6.2-6.4):



Εικόνα 6.2: Τεμαχισμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 4 °C. Στην εικόνα: A: ημέρα 0, B: ημέρα 1, C: ημέρα 2, D: ημέρα 3, E: ημέρα 4, F: ημέρα 5



Εικόνα 6.3: Τεμαχισμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 8 °C. Στην εικόνα: A: ημέρα 0, B: ημέρα 1, C: ημέρα 2, D: ημέρα 3, E: ημέρα 4, F: ημέρα 5

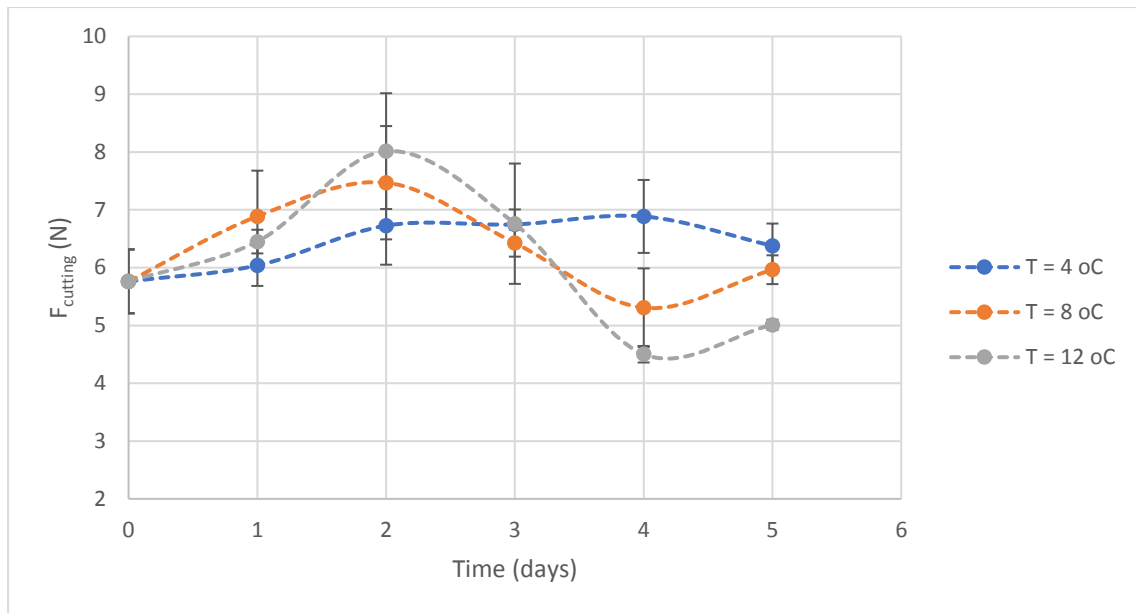


Εικόνα 6.4: Τεμαχισμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 12 °C. Στην εικόνα: A: ημέρα 0, B: ημέρα 1, C: ημέρα 2, D: ημέρα 3, E: ημέρα 4, F: ημέρα 5

Από τις Εικόνες 6.2-6.4 επαληθεύεται το γεγονός πως στους 4 °C τα ανεπεξέργαστα δείγματα πατάτας διατηρούν το χρώμα τους πιο ανοιχτό χωρίς να υπόκεινται σε έντονο μαύρισμα. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αποθήκευσης φαίνεται η διαδικασία του ενζυμικού μαυρίσματος επιταχύνεται. Από τα παραπάνω οπτικά αποτελέσματα γίνεται κατανοητό πως την τρίτη κιόλας ημέρα τα μη επεξεργασμένα δείγματα απορρίπτονται και δε θεωρούνται κατάλληλα για κατανάλωση.

6.5.1.2 Μεταβολή υφής

Η υφή των δειγμάτων αποτελεί έναν εξίσου σημαντικό παράγοντα ποιότητα και μελετάται κατά την αποθήκευση. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.24).

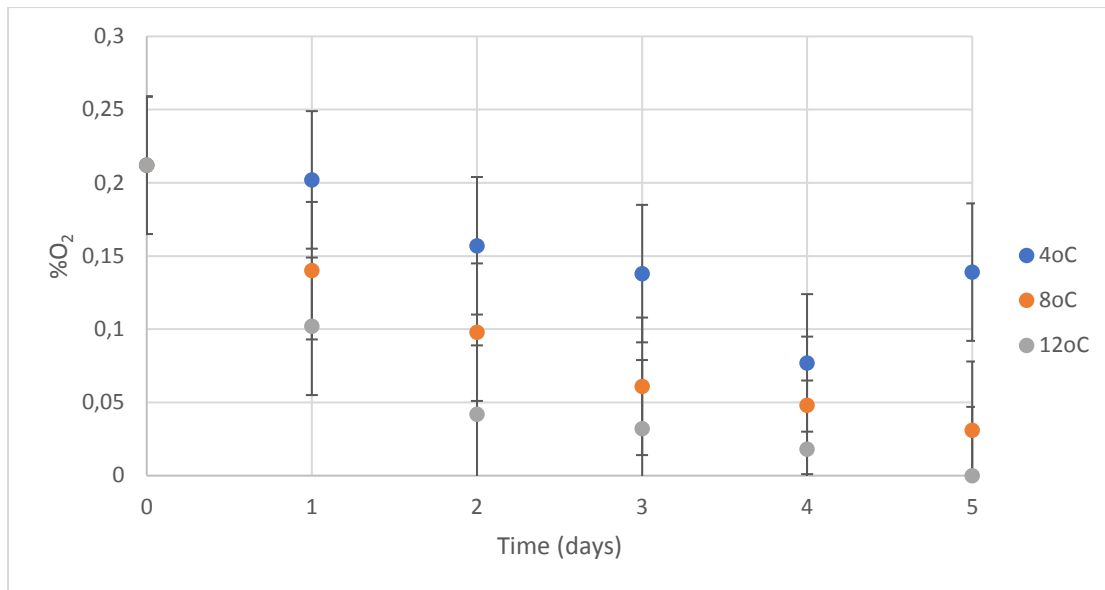


Διάγραμμα 6.24: Μεταβολή υφής (σκληρότητας) για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας κατά την αποθήκευση σε MAP συσκευασία (Average value $\pm$ STDEV)

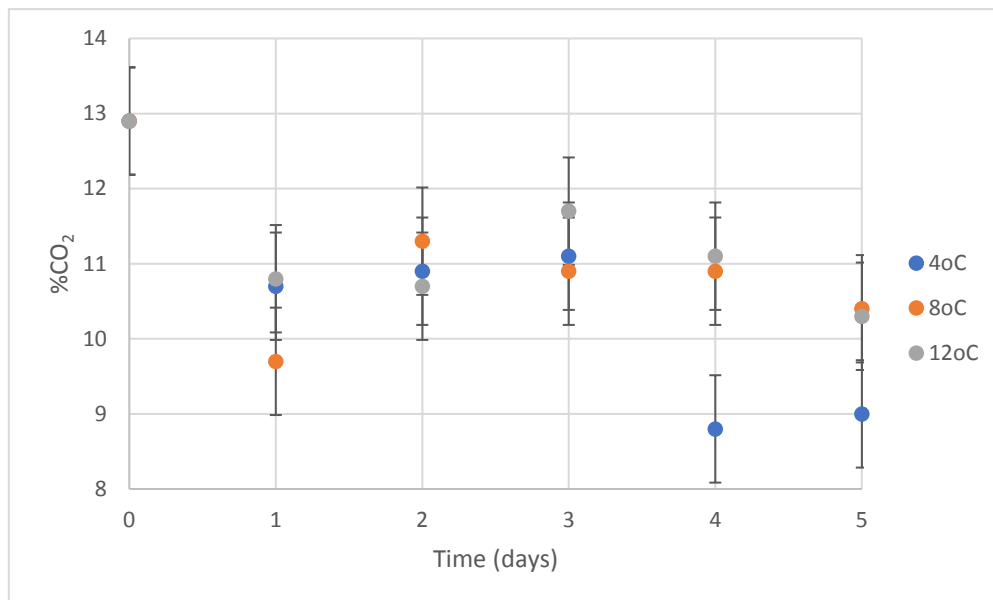
Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.24) φαίνεται πως η μεταβολή στη σκληρότητα των δειγμάτων είναι μικρή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης (μεγαλύτερη μεταβολή από 6 N σε 8 N). Συγκεκριμένα, παρατηρείται και στις τρεις θερμοκρασίες μια αρχική αύξηση κατά την αποθήκευση και στη συνέχεια φαίνεται πως το δείγμα γίνεται πιο «μαλακό». Στους 4 °C η δύναμη τεμαχισμού διατηρεί περίπου σταθερή τιμή από την ημέρα 0 έως το τέλος της πειραματικής διαδικασίας. Στους 8 °C ενώ αρχικά υπάρχει αύξηση μετά τις 2 ημέρες φαίνεται πως το δείγμα ξεκινάει να μεταβάλλει τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά γεγονός που επηρεάζει και την υφή. Στους 12 °C τέλος, παρατηρείται η μέγιστη μείωση της δύναμης όπως είναι αναμενόμενο, καθώς τα φρεσκοκομμένα προϊόντα πατάτας δεν προτείνεται να διατηρούνται σε υψηλές θερμοκρασίες.

6.5.1.3 Σύσταση τροποποιημένης ατμόσφαιρας της συσκευασίας

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, πραγματοποιείται μέτρηση της σύστασης των αερίων της συσκευασίας προτού υποστούν οποιαδήποτε άλλη μέτρηση. Συγκεκριμένα, όπως αναλύθηκε και στην ενότητα 5.3.13 γίνεται μέτρηση της σύστασης του οξυγόνου (%O₂) καθώς και του διοξειδίου του άνθρακα (%CO₂). Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως μετρήθηκαν για το διάστημα αποθήκευσης των μη επεξεργασμένων δειγμάτων (Διάγραμμα 6.25 - 6.26).



Διάγραμμα 6.25: Μεταβολή % σύστασης O₂ στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) μη επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας (Average value $\pm$ STDEV)



Διάγραμμα 6.26: Μεταβολή % σύστασης CO₂ στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) μη επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας (Average value $\pm$ STDEV)

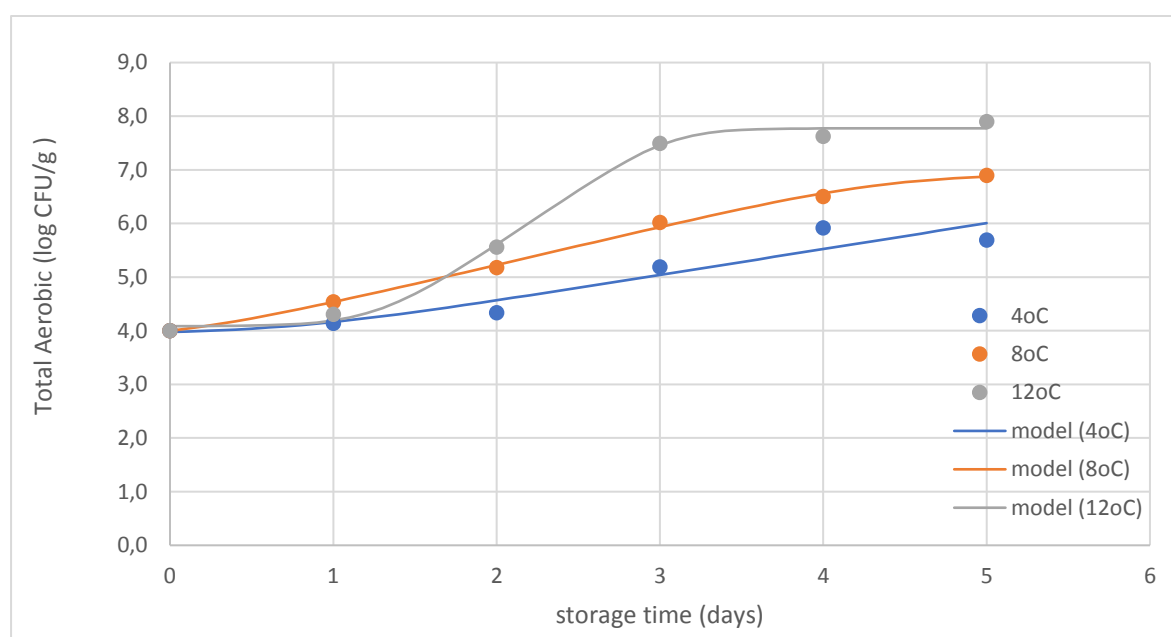
Από το Διάγραμμα 6.25 γίνεται κατανοητό πως η ποσότητα οξυγόνου μειώνεται διαρκώς μέσα στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Επιπλέον, φαίνεται πως και η θερμοκρασία αποθήκευσης επιδρά στη μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο εφόσον στους 12 °C παρατηρείται η μεγαλύτερη μείωση ενώ στους 4 °C η μικρότερη. Συγκεκριμένα, στους 12 °C φαίνεται στις 5 ημέρες να μηδενίζεται η συγκέντρωση του αερίου οξυγόνου. Σχετικά με το διοξείδιο του άνθρακα, παρατηρείται αρχικά μια μεγάλη μείωση σε σχέση με την ημέρα 0, ενώ στη συνέχεια διατηρείται σχεδόν σταθερό παρουσιάζοντας μικρή αύξηση κυρίως στους 8 και στους 12 °C. Στους 12 °C φαίνεται να παρουσιάζονται οι υψηλότερες τιμές της ποσότητας CO₂. Βιβλιογραφικά έχει βρεθεί πως η αποθήκευση σε χαμηλές τιμές οξυγόνου και υψηλές τιμές διοξειδίου του άνθρακα μειώνει την οξύτητα στα προϊόντα πατάτας, άρα και το pH αυξάνεται (Angós et al., 2008).

6.5.1.4 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5, η μικροβιολογική μελέτη εστίασε στην ανάπτυξη τόσο των αερόβιων όσο και των αναερόβιων μικροοργανισμών. Η δειγματοληψία πραγματοποιείται καθημερινώς και για τις τρεις θερμοκρασίες πραγματοποιώντας τις κατάλληλες αραιώσεις. Η μικροβιολογική μελέτη αποτελεί μια σημαντική ένδειξη για την ασφάλεια και την ποιότητα ενός προϊόντος. Παρακάτω, παρατίθενται τα αποτελέσματα για κάθε μικροοργανισμό που μελετήθηκε ξεχωριστά σύμφωνα με το Κεφάλαιο 5 (Διαγράμματα 6.27, 6.29, 6.31 και 6.32).

Ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο

Για το ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο χρησιμοποιείται το υπόστρωμα PCA και οι μετρήσεις λαμβάνονται μετά από 48h. Βάσει των μετρήσεων από τις καλλιέργειες που αναπτύχθηκαν εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.27).



Διάγραμμα 6.27: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αερόβιων μικροοργανισμών σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) (προσαρμογή τιμών στο μοντέλο Baranyi)

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.27) τα δεδομένα έχουν μοντελοποιηθεί σύμφωνα με το μικροβιολογικό μοντέλο των Baranyi-Roberts. Γενικότερα παρατηρείται αύξηση του ολικού αερόβιου μικροβιολογικού φορτίου κατά την αποθήκευση των δειγμάτων σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Σε αυτή την περίπτωση φαίνεται πως η θερμοκρασία αποθήκευσης επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών με τους 12 °C να παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τιμή στις 5 ημέρες (logCFU/g = 7,90). Σχετικά με την εφαρμογή του μοντέλου Baranyi-Roberts, στους 12 °C φαίνεται να ακολουθείται η σιγμοειδής καμπύλη όπως αναλύθηκε στην ενότητα 5.4.7 εκτός της φάσης θανάτου. Σε αντίθεση, στους 4 °C παρόλο που η ανάπτυξη είναι μικρότερη φαίνεται στο τέλος των 5 ημερών να μη σταθεροποιείται, ενώ στους 8 °C φαίνεται να παρουσιάζεται μικρή τιμή λανθάνουσας φάσης. Τα αποτελέσματα του μοντέλου Baranyi παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 6.17).

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα με εφαρμογή μοντέλου Baranyi-Roberts για ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο

Δείγμα (ανά θερμοκρασία)	$\mu_{\max}$ (d ⁻¹)	Lag phase - λ (d)	R ²
4 °C	0,483	0,801	0,839
8 °C	0,718	0,293	0,995
12 °C	2,0626	1,267	0,990

Βάσει του Πίνακα 6.17 επαληθεύεται ό,τι παρατηρείται οπτικά στο Διάγραμμα 6.27, δηλαδή πως στους 12 °C υπάρχει ο μεγαλύτερος ρυθμός ανάπτυξης και στους 4 °C ο μικρότερος. Επιπλέον, η λανθάνουσα φάση στους 8 °C παρουσιάζει μικρή διάρκεια.

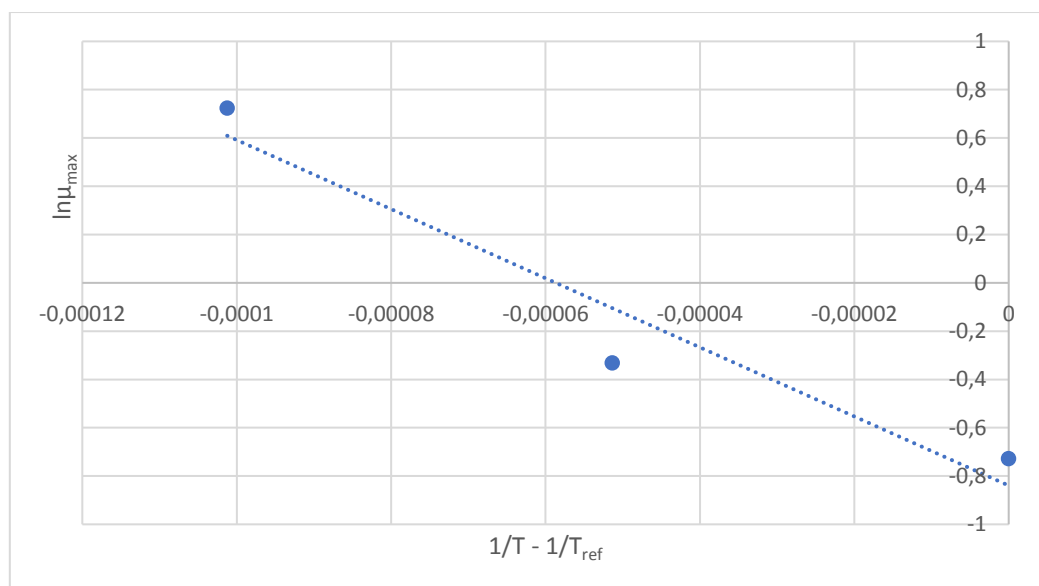
Μελέτη εξάρτησης ρυθμού ανάπτυξης από τη θερμοκρασία για τους ολικούς αερόβιους μικροοργανισμούς

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 5.4.8 η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του μικροβιακού φορτίου. Άλλωστε αυτό επαληθεύεται και με τα αποτελέσματα του Διαγράμματος 6.27 με τη μεγαλύτερη ανάπτυξη να εμφανίζεται στους 12 °C. Για την εξάρτηση της θερμοκρασίας από τη μικροβιακή ανάπτυξη χρησιμοποιείται η εξίσωση Arrhenius (Εξίσωση 5.9) προσαρμοσμένη στη μορφή:

$$\ln \mu_{\max} = -\frac{E_a}{R} * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right) + \ln \mu_{\text{ref}} \quad (\text{Εξίσωση 6.6})$$

Όπου $\ln \mu_{\max}$: ο ρυθμός ανάπτυξης από Baranyi και T_{ref} : η θερμοκρασία αναφοράς που επιλέγεται στους 4 °C και $R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.

Σύμφωνα με την Εξίσωση 6.6 και τα δεδομένα του Πίνακα 6.17 για το ρυθμό ανάπτυξης $\mu_{\max}$ σχεδιάζεται η εξίσωση Arrhenius για τις τρεις θερμοκρασίες με θερμοκρασία αναφοράς τους 4 °C (Διάγραμμα 6.28).



Διάγραμμα 6.28: Εξίσωση Arrhenius για το ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

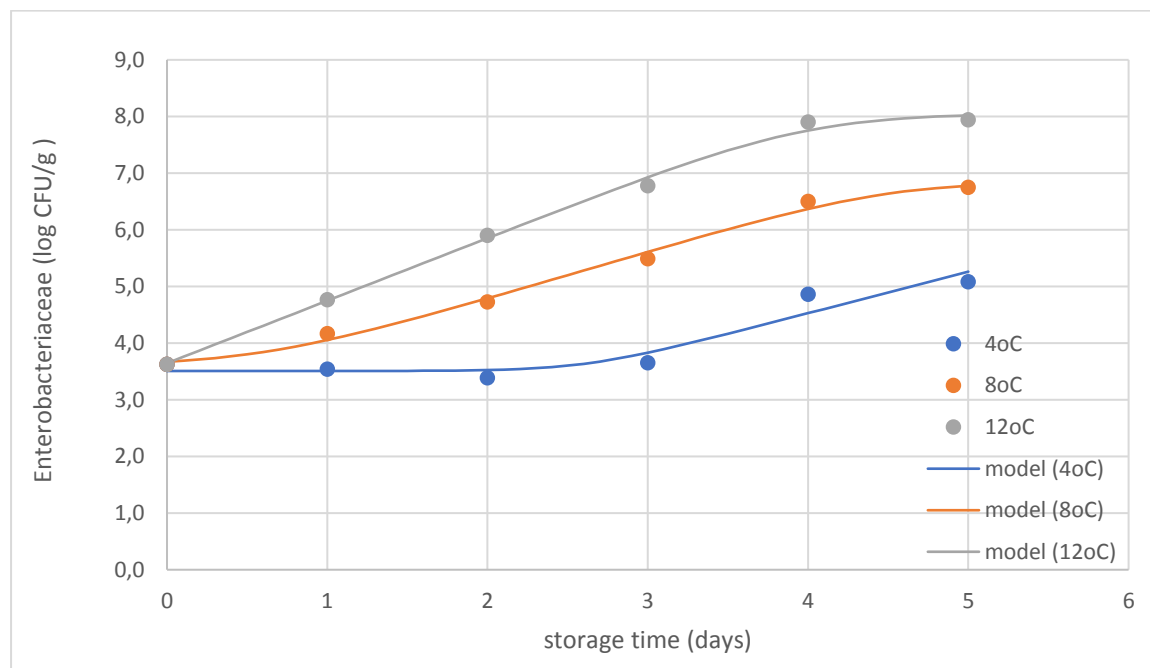
Βάσει του παραπάνω διαγράμματος (Διάγραμμα 6.28) και σύμφωνα με την Εξίσωση 6.6 εξάγονται τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 6.18):

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα εφαρμογής εξίσωσης Arrhenius στην ανάπτυξη ολικού αερόβιου μικροβιακού φορτίου σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

$-E_a/R$	E_a (kJ)	$\ln \mu_{ref}$	μ_{ref}	R^2
14309	118,96	-0,8394	0,4319	0,9317

Εντεροβακτήρια

Για την περίπτωση των εντεροβακτηρίων χρησιμοποιείται το υπόστρωμα VRBG και οι αποικίες μετρούνται μετά από 24h. Τα αποτελέσματα που εξάγονται από την πειραματική διαδικασία παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.29).



Διάγραμμα 6.29: Μικροβιακή ανάπτυξη εντεροβακτηρίων σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) (προσαρμογή τιμών στο μοντέλο Baranyi)

Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.29) γίνεται κατανοητό πως και στην περίπτωση των εντεροβακτηρίων η θερμοκρασία αποθήκευσης παίζει σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη τους. Στις 5 ημέρες αποθήκευσης παρατηρείται ότι πιο επιβαρυνμένα μικροβιακά είναι τα δείγματα που αποθηκεύονται στους 12 °C (logCFU/g = 7,95), στη συνέχεια εκείνα που αποθηκεύονται στους 8 °C (logCFU/g = 6,75) και τελικώς εκείνα που αποθηκεύονται στους 4 °C (logCFU/g = 5,09). Όπως και στην περίπτωση των ολικών αερόβιων μικροοργανισμών έτσι και στα εντεροβακτήρια γίνεται εφαρμογή του μοντέλου Baranyi-Roberts. Φαίνεται πως η λανθάνουσα φάση διαρκεί περισσότερο στους 4 °C ενώ στους 12 °C δεν υφίσταται καν. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 6.19).

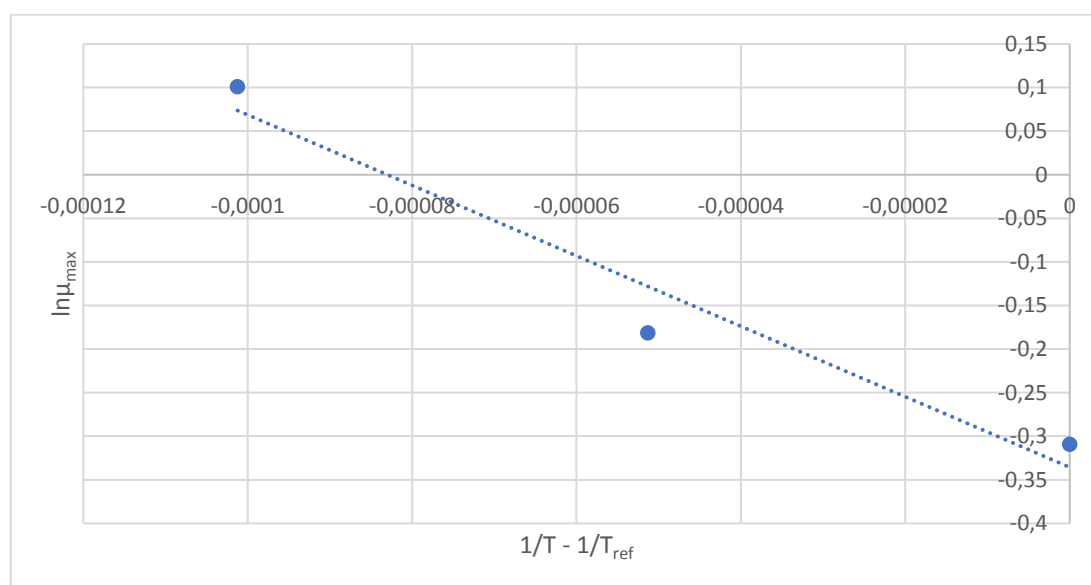
Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα με εφαρμογή μοντέλου Baranyi-Roberts για εντεροβακτήρια

Δείγμα ανά θερμοκρασία	μ_{max} (d ⁻¹)	Lag phase - λ (d)	R^2
4°C	0,734	2,593	0,876
8°C	0,834	0,668	0,984
12°C	1,106	-	0,994

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.19 φαίνεται να επαληθεύεται η μικροβιακή ανάπτυξη που παρατηρείται στο Διάγραμμα 6.29 με τους 12 °C να παρουσιάζουν την υψηλότερη τιμή ρυθμού.

Μελέτη εξάρτησης ρυθμού ανάπτυξης από τη θερμοκρασία για τα εντεροβακτήρια

Όπως και στην περίπτωση του ολικού αερόβιου μικροβιακού φορτίου έτσι και στα εντεροβακτήρια εφαρμόζεται η σχέση Arrhenius για την εξάρτηση της θερμοκρασίας από τη μικροβιακή ανάπτυξη. Σύμφωνα με την Εξίσωση 6.6 που χρησιμοποιείται για την ίδια θερμοκρασία αναφοράς και βάσει των αποτελεσμάτων για το ρυθμό ανάπτυξης του Πίνακα 6.19 προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα για τις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης (Διάγραμμα 6.30).



Διάγραμμα 6.30: Εξίσωση Arrhenius για τα εντεροβακτήρια για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

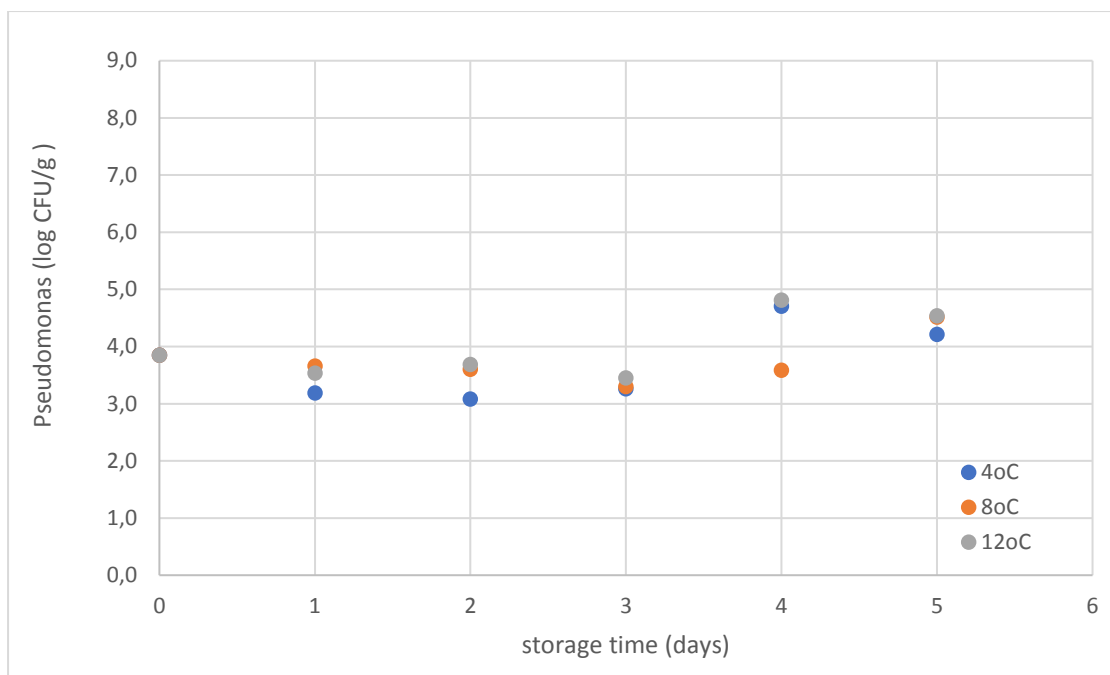
Βάσει του παραπάνω διαγράμματος (Διάγραμμα 6.30) και σύμφωνα με την Εξίσωση 6.6 εξάγονται τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 6.20):

Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα εφαρμογής εξίσωσης Arrhenius στην ανάπτυξη εντεροβακτηρίων σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

$-E_a/R$	E_a (kJ)	$\ln \mu_{ref}$	μ_{ref}	R^2
4042,7	33,61	-0,3356	0,7149	0,9513

Ψευδομονάδες

Στην περίπτωση των ψευδομονάδων χρησιμοποιείται το υπόστρωμα CFC και οι αποικίες μετριοούνται μετά από 48-72h. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.31).



Διάγραμμα 6.31: Μικροβιακή ανάπτυξη ψευδομονάδων σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP)

Παρατηρείται πως κατά την διάρκεια της αποθήκευσης των 5 ημερών οι ψευδομονάδες δεν αναπτύσσονται στα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας. Φαίνεται ότι έχει αναπτυχθεί ως ένα βαθμό στο χρόνο 0 ($N = 3,85 \log\text{CFU/g}$) και με την πάροδο του χρόνου διατηρείται σε σχετικά σταθερά επίπεδα ($N < 5 \log\text{CFU/g}$) ανεξαρτήτως της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιών και λόγω της χαμηλής ανάπτυξης δε μοντελοποιείται μέσω της σχέσης του Baranyi-Roberts.

Ζύμες & Μύκητες

Κατά την διάρκεια αποθήκευσης των μη επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας χρησιμοποιήθηκε το υπόστρωμα RBC όπως αναφέρεται στην ενότητα 5.3.14 για τη μέτρηση των ζυμών και των μυκήτων. Η μέτρηση των αποικιών πραγματοποιείται μετά από 72h. Τα αποτελέσματα για τις τρεις θερμοκρασίες που ερευνήθηκαν παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.21-6.23.

Πίνακας 6.21: Τιμές μικροβιακού φορτίου N ($\log\text{CFU/g}$) ανά δειγματοληψία για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας σε θερμοκρασία αποθήκευσης 4 °C

Time (days)	N ($\log\text{CFU/g}$)
0	N.D.
1	N.D.
2	2,00
3	2,30
4	2,30
5	2,83

N.D.: NOT DETECTED

Πίνακας 6.22: Τιμές μικροβιακού φορτίου N (logCFU/g) ανά δειγματοληψία για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας σε θερμοκρασία αποθήκευσης 8 °C

Time (days)	N (logCFU/g)
0	N.D.
1	N.D.
2	2,30
3	2,39
4	3,26
5	3,46

N.D.: NOT DETECTED

Πίνακας 6.23: Τιμές μικροβιακού φορτίου N (logCFU/g) ανά δειγματοληψία για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας σε θερμοκρασία αποθήκευσης 12 °C

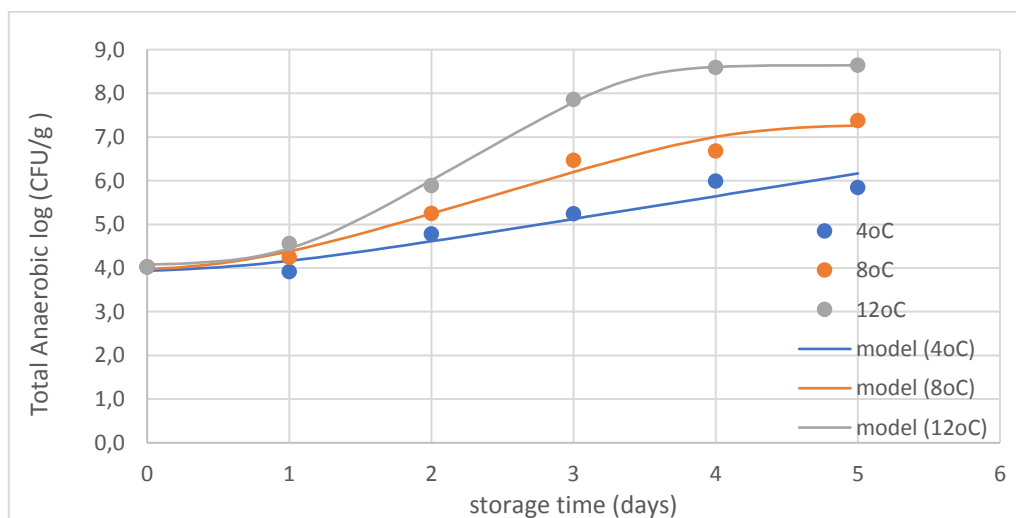
Time (days)	N (logCFU/g)
0	N.D.
1	2,00
2	2,24
3	2,30
4	2,39
5	3,27

N.D.: NOT DETECTED

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα στους παραπάνω Πίνακες (Πίνακες 6.21-6.23) η ανάπτυξη των ζυμών και μυκήτων είναι πολύ μικρή κατά το χρονικό διάστημα αποθήκευσης των δειγμάτων. Φαίνεται πως η θερμοκρασία αποθήκευσης δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των συγκεκριμένων μικροοργανισμών καθώς παρουσιάζεται μικρός ρυθμός ανάπτυξης.

Ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο

Στην περίπτωση του ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου χρησιμοποιείται το υπόστρωμα SPS, αποθηκεύονται σε αναερόβιες συνθήκες και η μέτρηση των αποικιών πραγματοποιείται μετά από 48h. Τα αποτελέσματα όπως εξάγονται παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.32).



Διάγραμμα 6.32: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αναερόβιων μικροοργανισμών σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) (προσαρμογή τιμών στο μοντέλο Baranyi)

Στην περίπτωση του ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.32) πως η μεγαλύτερη μικροβιακή ανάπτυξη πραγματοποιείται στην υψηλότερη θερμοκρασία αποθήκευσης (στις 5 ημέρες $\log\text{CFU/g} = 8,64$) όπως συμβαίνει και στους υπόλοιπους μικροοργανισμούς που αναλύθηκαν. Ομοίως, πραγματοποιείται εφαρμογή του μοντέλου Baranyi-Roberts και στις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Στο διάστημα των 5 ημερών που διαρκεί η αποθήκευση, φαίνεται στους 4 °C να παρατηρείται γραμμική αύξηση χωρίς να προσεγγίζεται η φάση στασιμότητας σε αντίθεση με τους 8 και 12 °C. Γενικότερα, από όλους τους μικροοργανισμούς που μελετώνται το ολικό αναερόβιο φορτίο φαίνεται να παρουσιάζει το υψηλότερο μικροβιακό φορτίο στα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης την 5^η ημέρα. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου Baranyi-Roberts στα αποτελέσματα (Πίνακας 6.24).

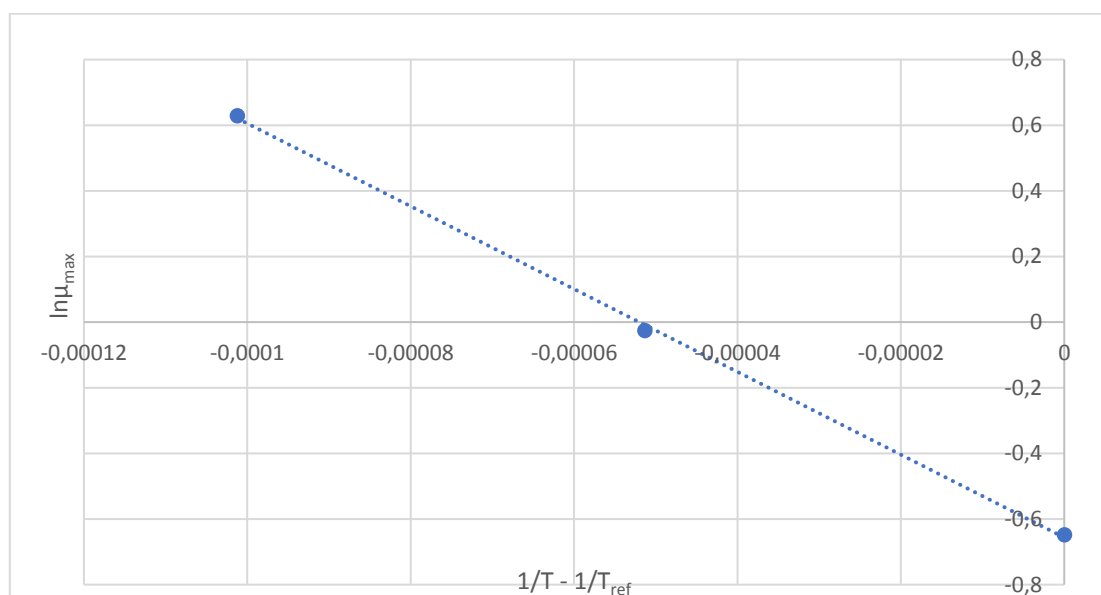
Πίνακας 6.24: Αποτελέσματα με εφαρμογή μοντέλου Baranyi-Roberts για ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο

Δείγμα ανά θερμοκρασία	$\mu_{\max} (\text{d}^{-1})$	Lag phase – $\lambda (\text{d})$	R^2
4°C	0,523	0,727	0,858
8°C	0,975	0,703	0,944
12°C	1,876	0,982	0,996

Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 6.24 επιβεβαιώνεται πως στους 12 °C παρατηρείται ο υψηλότερος ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης.

Μελέτη εξάρτησης ρυθμού ανάπτυξης από τη θερμοκρασία για τους ολικούς αναερόβιους μικροοργανισμούς

Ακριβώς όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, εφαρμόζεται η Εξίσωση 6.6 για την ένδειξη της θερμοκρασιακής εξάρτησης από τη μικροβιακή ανάπτυξη. Ομοίως χρησιμοποιούνται οι 4 °C ως θερμοκρασία αναφοράς και τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.24 για το ρυθμό ανάπτυξης.



Διάγραμμα 6.33: Εξίσωση Arrhenius για το ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

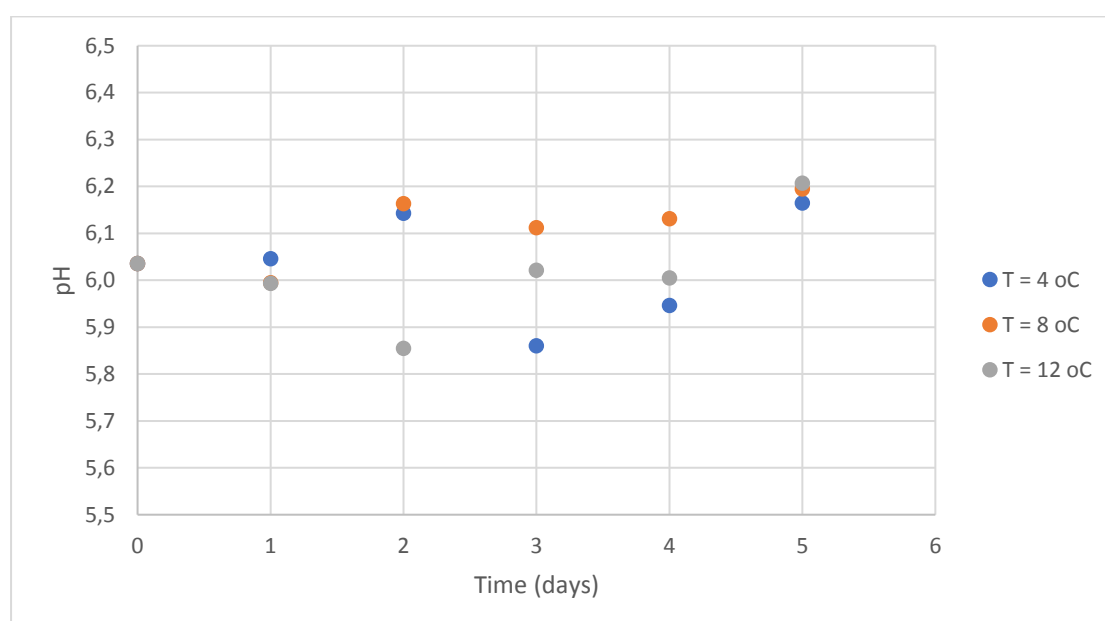
Βάσει του παραπάνω διαγράμματος (Διάγραμμα 6.33) και σύμφωνα με την Εξίσωση 6.6 εξάγονται τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 6.25).

Πίνακας 6.25: Αποτελέσματα εφαρμογής εξίσωσης Arrhenius στην ανάπτυξη ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

$-E_a/R$	E_a (kJ)	$\ln \mu_{ref}$	μ_{ref}	R^2
12616	104,89	-0,6564	0,5187	0,9995

Μελέτη μεταβολής pH

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το pH είναι ένας βασικός παράγοντας για την μικροβιακή ανάπτυξη. Χρησιμοποιείται κατά την διατήρηση των τροφίμων καθώς η αύξηση του συνδέεται με τη μικροβιολογική ανάπτυξη. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για τα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.34).



Διάγραμμα 6.34: Μεταβολή pH κατά την αποθήκευση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων παρατηρείται πως οι τιμές του pH έχουν αυξομειώσεις ανάλογα την δειγματοληψία. Ωστόσο, μετά το πέρας των 3 ημερών φαίνεται να υπάρχει μια αυξητική τάση της τιμής και για τις τρεις θερμοκρασίες προσεγγίζοντας την τιμή 6,2. Γενικά, η τιμή του pH στα συγκεκριμένα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας που μελετώνται φαίνεται να μην υφίσταται μεγάλη μεταβολή καθώς κυμαίνεται από τιμές 5,85-6,2 κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Παρόλα αυτά η μικροβιολογική ανάπτυξη που υφίστανται τα δείγματα κατά την διάρκεια αποθήκευσης δικαιολογεί την αύξηση του pH.

6.5.1.5 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση

Κατά την διαδικασία της αποθήκευσης ανά δειγματοληψία πραγματοποιείται και οργανοληπτική αξιολόγηση. Η αξιολόγηση γίνεται στα ωμά φρεσκοκομμένα προϊόντα καθώς και στα τηγανισμένα. Αξιολογούνται ποιοτικά χαρακτηριστικά σχετικά με τη γεύση, την υφή και το χρώμα των δειγμάτων με βαθμολογία από 1: καθόλου ένταση έως 9: πολύ υψηλή ένταση και στο τηγανισμένο προϊόν αξιολογείται η αρέσκεια από 1: πολύ κακό έως 9: πολύ καλό. Συγκεκριμένα, για τα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας η αξιολόγηση

πραγματοποιήθηκε για τρεις ημέρες δεδομένου ότι έπειτα απορρίφθηκαν. Για την αξιολόγηση συμμετείχαν 5 άτομα από το προσωπικό του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

Φρεσκοκομμένα ωμά δείγματα πατάτας

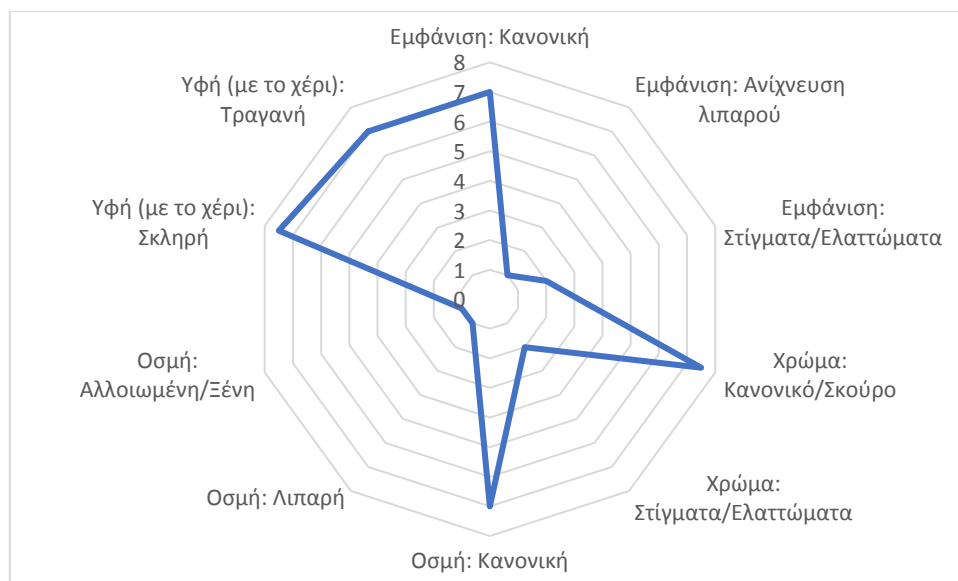
Για τα ωμά δείγματα πατάτας πραγματοποιείται οργανοληπτική αξιολόγηση ελέγχοντας την εμφάνιση, την υφή και την οσμή. Ενδεικτικά, για την ημέρα 0 και την ημέρα 3 κατασκευάζονται τα παρακάτω αραχνοδιαγράμματα για τη σύγκριση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Διάγραμμα 6.35-6.38). Τα υπόλοιπα διαγράμματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα.



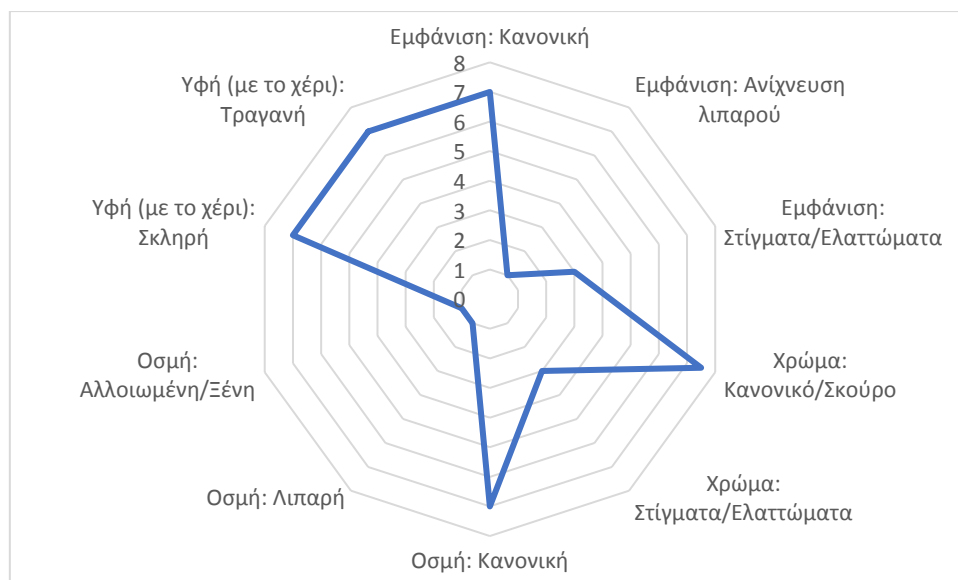
Διάγραμμα 6.35: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία (Ημέρα 0)



Διάγραμμα 6.36: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 4 °C (Ημέρα 3)



Διάγραμμα 6.37: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 8 °C (Ημέρα 3)



Διάγραμμα 6.38: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 12 °C (Ημέρα 3)

Όπως φαίνεται από τα αραχνοδιαγράμματα 6.35-6.38 συνολικά τα δείγματα δεν έχουν δεχθεί μεγάλες μεταβολές στα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Στην εμφάνιση, το χρώμα έχει βαθμολογηθεί ελαφρώς πιο υψηλά γεγονός που παρατηρείται και με τον δείκτη αμαύρωσης BI αλλά και οπτικά (Εικόνες 6.2-6.4). Από την άλλη, η υφή φαίνεται να διατηρείται σε μια σταθερή υψηλή βαθμολογία (στο χαρακτηριστικό της σκληρότητας) όπως και η οσμή σε κανονικά επίπεδα. Γενικότερα, παρατηρήθηκε πως την 3^η ημέρα τα δείγματα εμφανίζουν χρωματική αλλοίωση αλλά και φαίνονται πιο «ξερά» όπως σχολιάστηκε από τους βαθμολογητές. Αποφασίστηκε ομόφωνα να απορριφθούν, δεδομένου κιόλας και του αυξημένου μικροβιακού τους φορτίου. Τέλος, η θερμοκρασία αποθήκευσης φαίνεται να μην έπαιξε σημαντικό ρόλο στην οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων λόγω του ότι δεν παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές στη βαθμολογία.

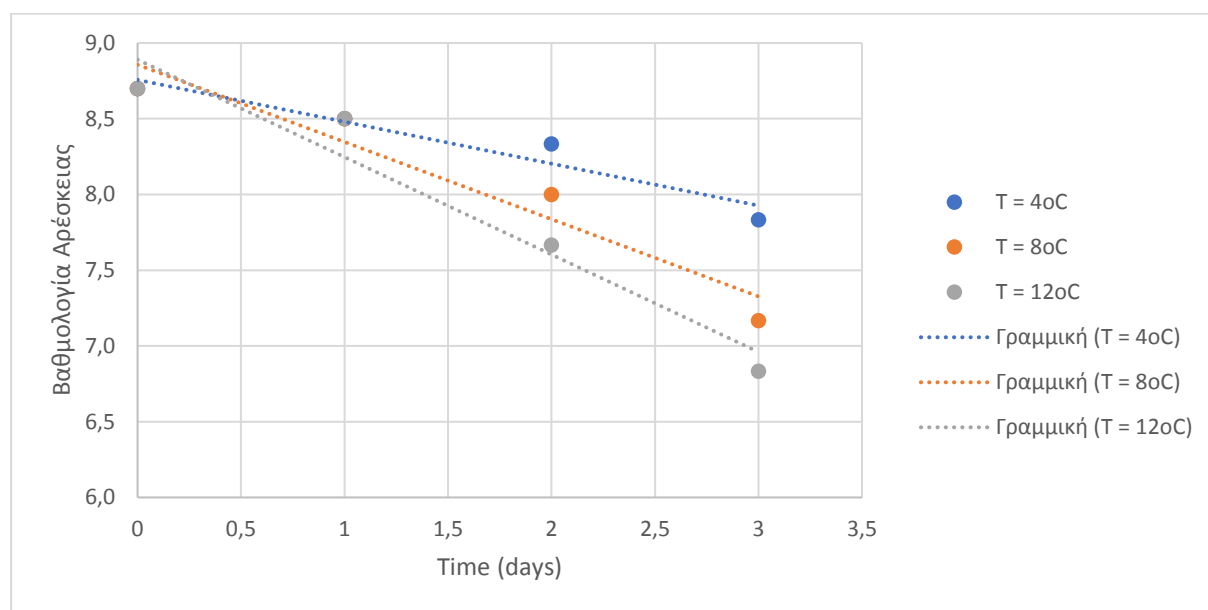
Τηγανισμένα δείγματα πατάτας

Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία πραγματοποιείται και οργανοληπτική αξιολόγηση των τηγανισμένων δειγμάτων. Συγκεκριμένα, οι δοκιμαστές που συμμετείχαν δοκίμασαν και αξιολόγησαν τα δείγματα τις τρεις πρώτες ημέρες αποθήκευσης εφόσον όπως αναλύθηκε παραπάνω έπειτα απορρίφθηκαν. Για τη συσχέτιση της θερμοκρασίας αποθήκευσης χρησιμοποιείται η εξίσωση Arrhenius (Εξίσωση 6.6) παραλλαγμένη ως:

$$\ln k_s = -\frac{E_a}{R} * \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) + \ln k_{ref} \quad (\text{Εξίσωση 6.7})$$

όπου το k_s (ή αλλιώς $k_{sensory}$) είναι ο ρυθμός υποβάθμισης του προϊόντος και υπολογίζεται από τη γραμμική προσέγγιση στο διάγραμμα συνολικής αρέσκειας με το χρόνο για κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης και σαν T_{ref} χρησιμοποιούνται ομοίως οι 4 °C.

Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.39):



Διάγραμμα 6.39: Μεταβολή συνολικής αρέσκειας με το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 4, 8 και 12 °C

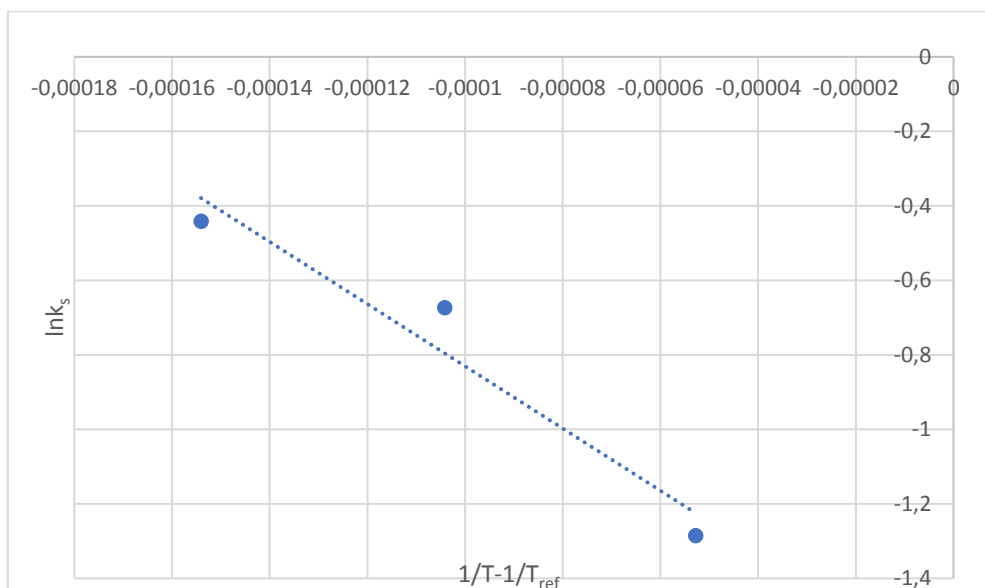
Στο παραπάνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.39) φαίνεται πως η βαθμολογία συνολικής αρέσκειας των τηγανισμένων προϊόντων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου αλλά δε φτάνει σε βαθμολογία που να θεωρείται απαγορευτική. Συνολικά στην αξιολόγηση παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην υφή των προϊόντων καθώς το δείγμα φαίνεται να μαλακώνει και στην εμφάνιση στιγμάτων δεδομένου ότι η πατάτα αλλοιώνεται (ενζυμικό μαύρισμα). Σχετικά με το θέμα της οσμής δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ των βαθμολογιών των δοκιμαστών ούτε επίσης με τη γεύση και με τη λιπαρότητα των δειγμάτων. Η θερμοκρασία αποθήκευσης φαίνεται να επηρεάζει σε ένα μικρό βαθμό την τελική αξιολόγηση των προϊόντων.

Από το παραπάνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.39) και με γραμμική προσέγγιση των σημείων λαμβάνονται οι τιμές για το k_s ως η κλίση των ευθειών που προκύπτουν με θετικό πρόσημο (Πίνακας 6.26).

Πίνακας 6.26: Αποτελέσματα γραμμικής προσέγγισης των σημείων για τη βαθμολογία αρέσκειας μη επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας

Δείγμα	k_s (d ⁻¹)	$\ln k_s$	R^2
4 °C	0,2767	-1,2848	0,9291
8 °C	0,5100	-0,6733	0,9284
12 °C	0,6433	-0,4411	0,9450

Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 6.26 και σύμφωνα με την Εξίσωση 6.7 προκύπτει η εξής ανάλυση (Διάγραμμα 6.40).



Διάγραμμα 6.40: Εφαρμογή εξίσωσης Arrhenius για το βαθμό αρέσκειας μη επεξεργασμένων δειγμάτων αποθηκευμένων σε θερμοκρασίες 4, 8 και 12 °C σε MAP συσκευασία

Από το παραπάνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.40) και βάσει της Εξίσωσης 6.7 προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 6.27).

Πίνακας 6.27: Αποτελέσματα εφαρμογής εξίσωσης Arrhenius σε οργανοληπτική αξιολόγηση μη επεξεργασμένων δειγμάτων αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

E_a/R	E_a (kJ)	$\ln k_{ref}$	k_{ref} (d ⁻¹)	R^2
8351,6	69,44	-1,6658	0,1890	0,9408

6.5.2 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και διατηρησιμότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας (μόνο με ωσμωτική αφυδάτωση)

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα 6.5.1 επιλέγεται ως τελικό ωσμωτικό διάλυμα το εξής:

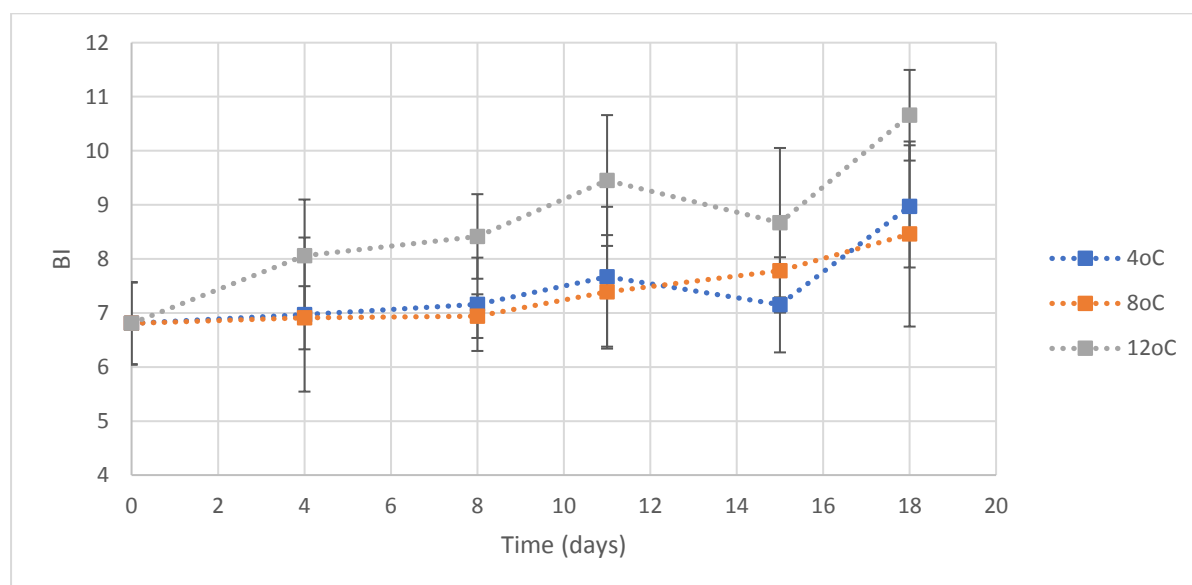
- 20% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ και 74% νερό

Βάσει αυτού πραγματοποιείται η ωσμωτική αφυδάτωση σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας και μελετάται η διατηρησιμότητά τους και η μεταβολή των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών. Αναλυτικά, μελετώνται οι δείκτες ποιότητας όπως ακριβώς αναφέρθηκαν για την πειραματική διαδικασία των μη επεξεργασμένων δειγμάτων (υπό-ενότητα 6.5.1). Επίσης, μελετώνται ακριβώς οι ίδιες συνθήκες αποθήκευσης σε συσκευασία

τροποποιημένης ατμόσφαιρας MAP (0,188% O₂, 12,2% CO₂) στους ίδιους θαλάμους θερμοκρασίας 4, 8 και 12 °C αντίστοιχα. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται μέχρι να απορριφθούν οργανοληπτικά τα δείγματα όπως ακριβώς και στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων. Τα δείγματα κατηγοριοποιούνται βάσει της θερμοκρασίας αποθήκευσης ή με συμβολισμό OD και τη θερμοκρασία αποθήκευσης (π.χ. OD4).

6.5.2.1 Μεταβολή χρώματος

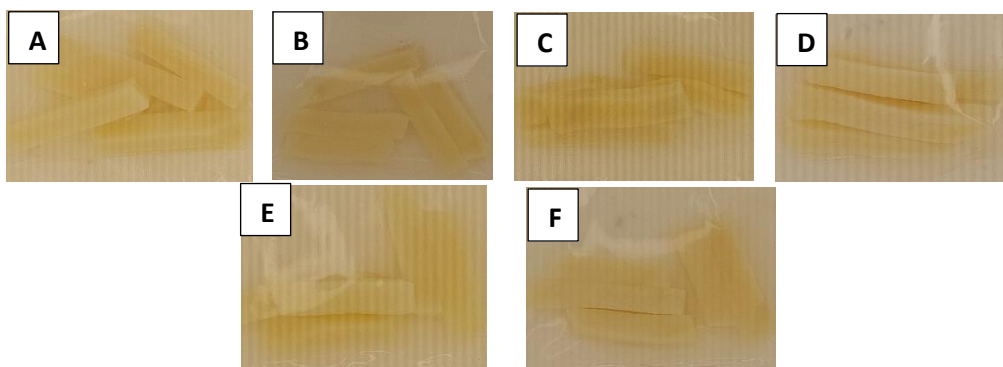
Στην περίπτωση των ωσσωμένων δειγμάτων πατάτας χρησιμοποιείται σαν δείκτης μέτρησης της μεταβολής του χρώματος ο δείκτης αμαύρωσης (BI) όπως ακριβώς και στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.41).



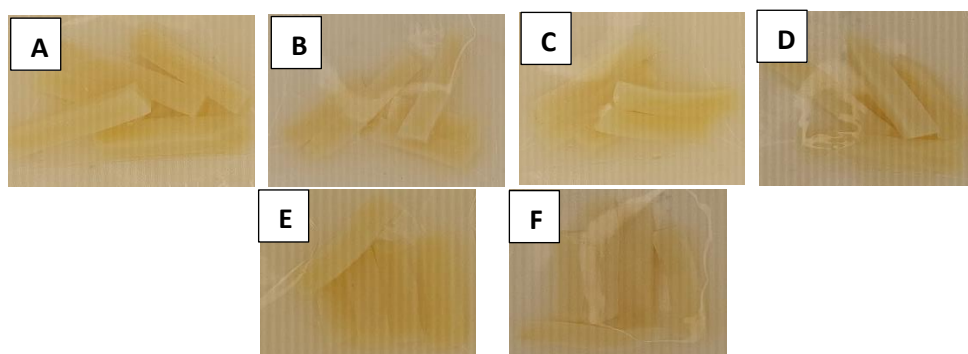
Διάγραμμα 6.41: Μεταβολή ενζυμικού μαυρίσματος για επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα κατά την αποθήκευσή τους σε MAP συσκευασία (Average value ± STDEV)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.41) φαίνεται πως η μεταβολή του δείκτη BI ομοίως και στην περίπτωση των επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων δεν παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση. Ωστόσο, οι τιμές του δείκτη BI σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα είναι πολύ χαμηλότερες όπως άλλωστε φαίνεται ήδη από την ημέρα 0 όπου $L = 51,20$, $a = -0,79$ και $b = 4,00$ και $BI = 6,81$. Συγκριτικά με τις θερμοκρασίες αποθήκευσης φαίνεται πως στους 12 °C παρουσιάζεται ένα πιο αυξημένο εύρος τιμών (6,81-10,66) γεγονός που αποδεικνύει πως η θερμοκρασία επιδρά στην διατήρηση των προϊόντων. Ωστόσο, οι τιμές σε όλα τα δείγματα δε μπορούν να συγκριθούν με τα μη επεξεργασμένα δείγματα καθώς είναι πολύ μικρότερες. Σύμφωνα με έρευνα σε φρούτα, έχει όντως αποδειχθεί πως η ωσμωτική αφυδάτωση διατηρεί το χρώμα των προϊόντων κατά την αποθήκευσή τους σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Pereira et al., 2006).

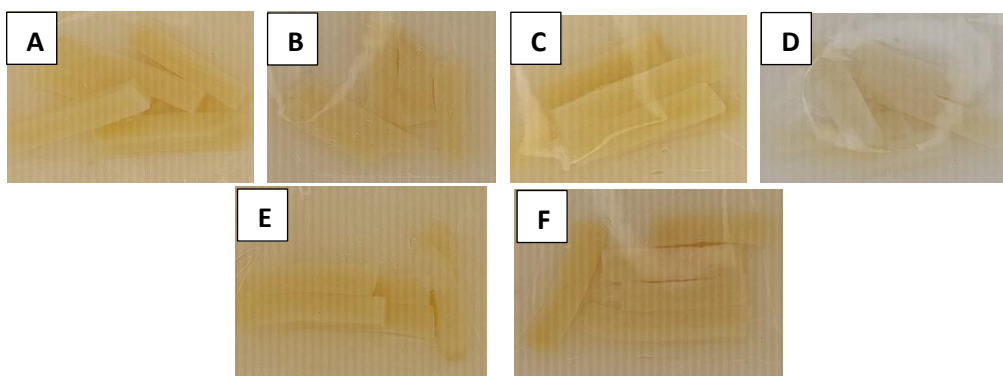
Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες από την εξέλιξη της πειραματικής διαδικασίας όπου φαίνεται πως διατηρείται το ανοιχτό χρώμα τους κατά την διάρκεια των 18 ημερών (Εικόνα 6.5-6.7).



Εικόνα 6.5: Τεμαχισμένες επεξεργασμένες-ωσσωμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 4 °C. Στην εικόνα: A: ημέρα 0, B: ημέρα 4, C: ημέρα 8, D: ημέρα 11, E: ημέρα 15, F: ημέρα 18



Εικόνα 6.6: Τεμαχισμένες επεξεργασμένες-ωσσωμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 8 °C. Στην εικόνα: A: ημέρα 0, B: ημέρα 4, C: ημέρα 8, D: ημέρα 11, E: ημέρα 15, F: ημέρα 18

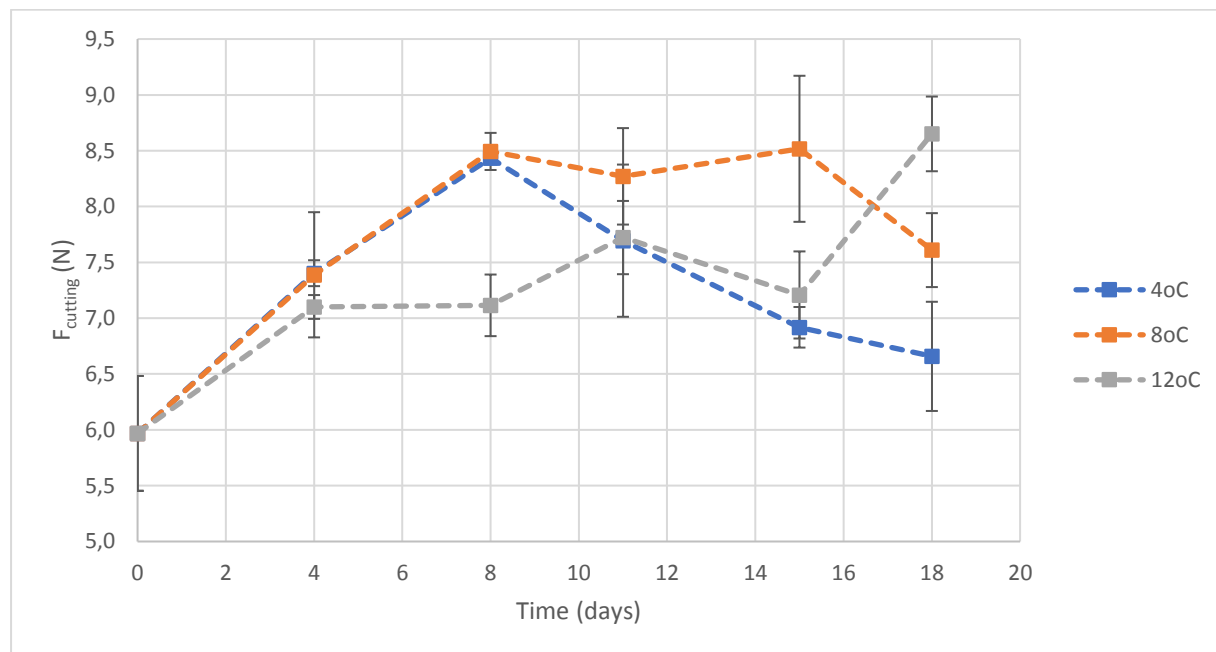


Εικόνα 6.7: Τεμαχισμένες επεξεργασμένες-ωσσωμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 12 °C. Στην εικόνα: A: ημέρα 0, B: ημέρα 4, C: ημέρα 8, D: ημέρα 11, E: ημέρα 15, F: ημέρα 18

Από την οπτική παρατήρηση των εικόνων (Εικόνες 6.5-6.7) φαίνεται πως το χρώμα τους παραμένει ανοιχτό με μικρές αλλοιώσεις. Παρόλα αυτά η εικόνα τους είναι καλή και δε δύνανται να αποκλειστούν οργανοληπτικά από την εμφάνιση. Συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα δείγματα, τα ωσσωμένα δείγματα διατηρούν το χρώμα τους και φυσικά καταφέρνουν να διατηρούνται για πάνω από δύο εβδομάδες χωρίς να έχουν υποστεί κάποια σοβαρή χρωματική αλλοίωση.

6.5.2.2 Μεταβολή υφής

Η παράμετρος της υφής είναι ένα σημαντικό οργανοληπτικό στοιχείο ενός προϊόντος. Για αυτό το λόγο εξετάζεται η μεταβολή της υφής των προϊόντων με την πάροδο του χρόνου, όπως ακριβώς αναλύθηκε για τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.42).

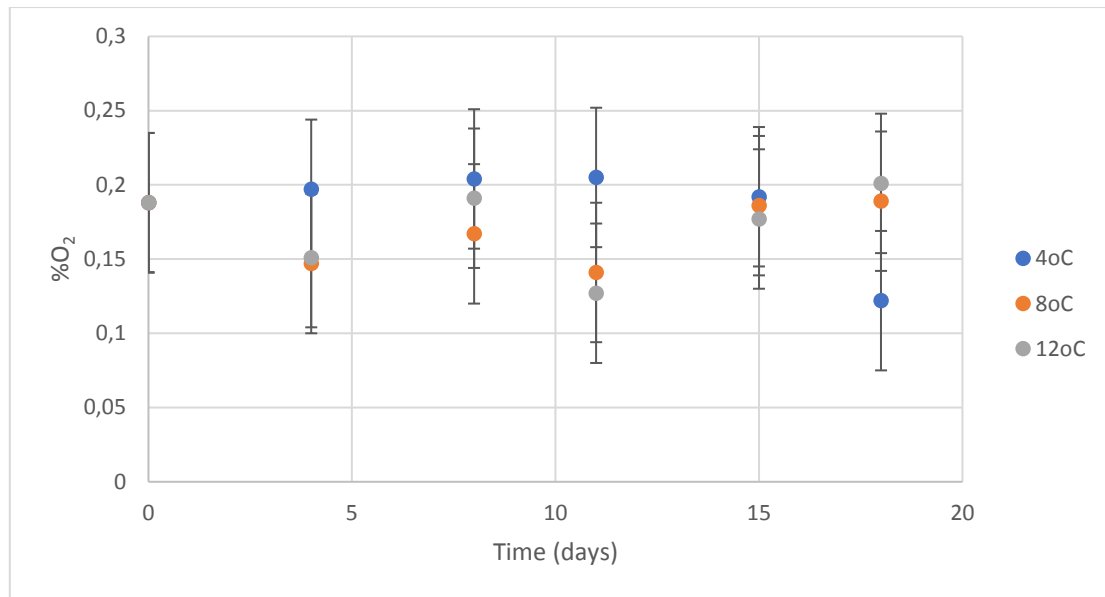


Διάγραμμα 6.42: Μεταβολή υφής (σκληρότητας) για επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας κατά την αποθήκευση σε MAP συσκευασία

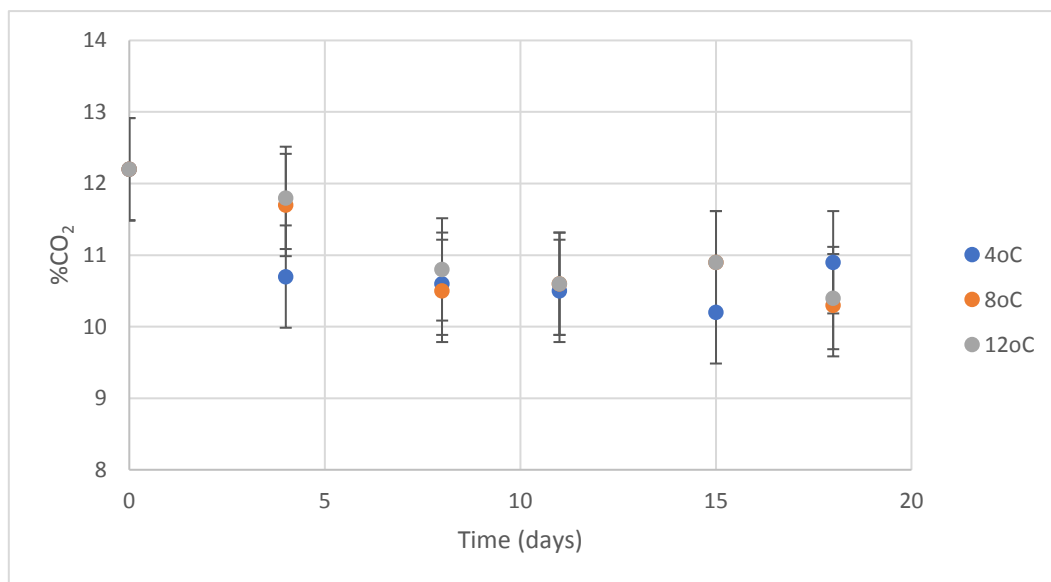
Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.42) παρατηρείται πως η υφή των προϊόντων διατηρείται σχεδόν σταθερή κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Αρχικά, φαίνεται να υπάρχει μια αύξηση σε όλες τις θερμοκρασίες όπως ακριβώς και στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων (Διάγραμμα 6.24). Με την πάροδο του χρόνου η σκληρότητα μειώνεται εφόσον μειώνεται η δύναμη κοψίματος, εκτός από τους 12 °C που διατηρείται σταθερή και αυξάνεται μετά τις 15 ημέρες. Γενικότερα, η υφή αποτελεί μια οργανοληπτική παράμετρο που δε φαίνεται να μεταβάλλεται ιδιαίτερα όταν το προϊόν διατηρείται.

6.5.2.3 Σύσταση τροποποιημένης ατμόσφαιρας της συσκευασίας

Όπως αναλύθηκε στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων, έτσι και στα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πραγματοποιούνται μετρήσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης στη σύσταση των αερίων της συσκευασίας. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για την % περιεκτικότητα σε O₂ και CO₂ παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.43 – 6.44).



Διάγραμμα 6.43: Μεταβολή % σύστασης O₂ στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων πατάτας (Average value $\pm$ STDEV)



Διάγραμμα 6.44: Μεταβολή % σύστασης CO₂ στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων πατάτας (Average value $\pm$ STDEV)

Από τα παραπάνω Διαγράμματα (Διάγραμμα 6.43-6.44) παρατηρείται μια γενική εικόνα σταθερότητας της σύστασης των αερίων. Σε αντίθεση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας, τα επεξεργασμένα-ωσμωνένα δείγματα φαίνεται να διατηρούν σχετικά την ποσότητα οξυγόνου στη συσκευασία εφόσον ισχύει %O₂ > 0,122% με αρχική ποσότητα 0,188%. Ομοίως, το ίδιο συμβαίνει και σχετικά με την ποσότητα του CO₂ η οποία αρχικά μειώνεται ενώ στη συνέχεια φαίνεται να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα με μικρές αυξομειώσεις.

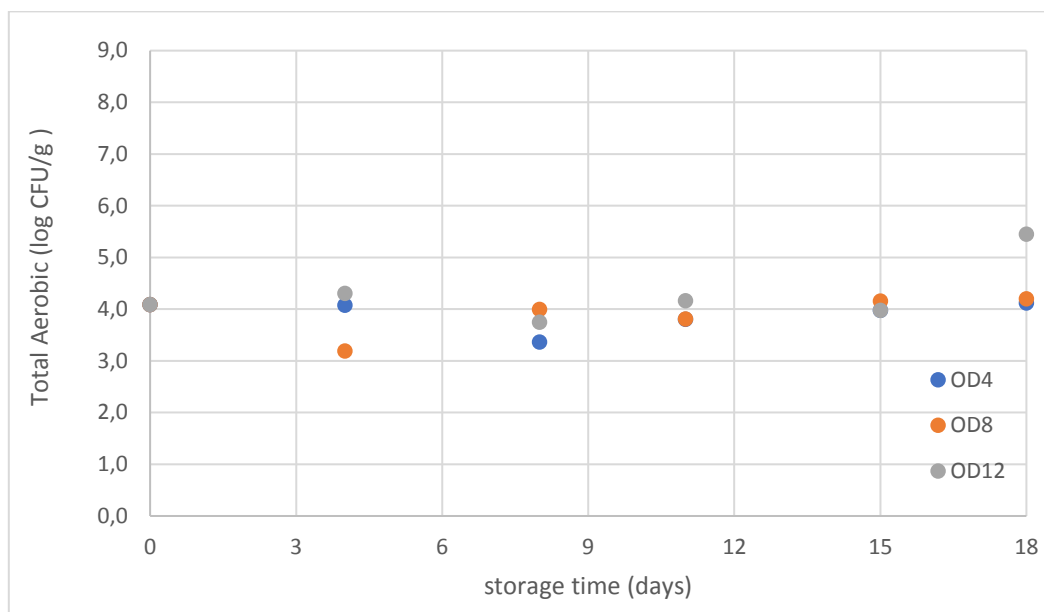
6.5.2.4 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH

Η μικροβιολογική ανάλυση πραγματοποιείται όπως ακριβώς και για τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Η κατηγοριοποίηση γίνεται βάσει του μικροοργανισμού που αναπτύσσεται. Στη συγκεκριμένη μελέτη διατηρησιμότητας πραγματοποιήθηκε έλεγχος και για την ανάπτυξη

των εντεροβακτηρίων, των ζυμών και μυκήτων και των ψευδομονάδων χωρίς ωστόσο να υπάρξει ανάπτυξη κανενός μικροοργανισμού. Επομένως, στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων όπως προέκυψαν για το ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο και το ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο.

Ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο

Οι ολικοί αερόβιοι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε τρυβλία υποστρώματος PCA όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 5. Από τα αποτελέσματα προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.45).

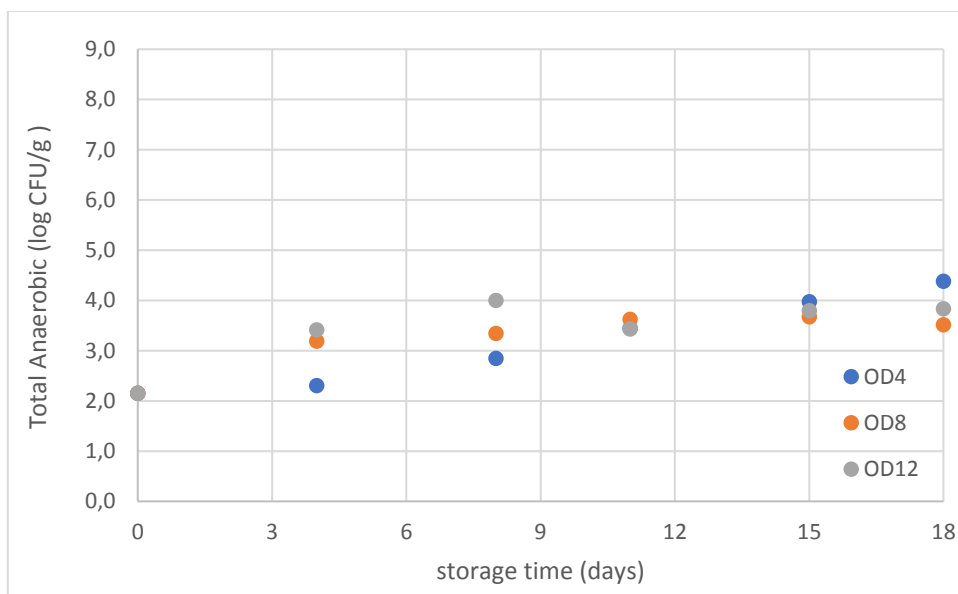


Διάγραμμα 6.45: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αερόβιων μικροοργανισμών σε επεξεργασμένα-ωσμημένα δείγματα αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP)

Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.45) γίνεται κατανοητό πως κατά την διάρκεια της αποθήκευσης τα ωσμη-αφυδατωμένα δείγματα δεν αναπτύσσουν μικροβιακό φορτίο. Συγκεκριμένα, δε φαίνεται να αναπτύσσονται αερόβιοι μικροοργανισμοί στις 18 ημέρες του πειράματος. Στους 12 °C παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας όπως ήταν αναμενόμενο. Γενικότερα, φαίνεται πως η μείωση της τιμής της ενεργότητας του νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και σε συνδυασμό με το pH συνέβαλλε στη σταθερότητα του μικροβιακού φορτίου. Από τη βιβλιογραφία, σε μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί σε ωσμη-αφυδατωμένα δείγματα πατάτας έχει ομοίως παρατηρηθεί καθυστέρηση στη μικροβιακή ανάπτυξη κατά την αποθήκευση στους 5 °C (Mitrakas et al., 2008).

Ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο

Οι ολικοί αναερόβιοι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε τρυβλία υποστρώματος SPS. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα όπως αυτά εξήχθησαν κατά την πειραματική διαδικασία (Διάγραμμα 6.46).

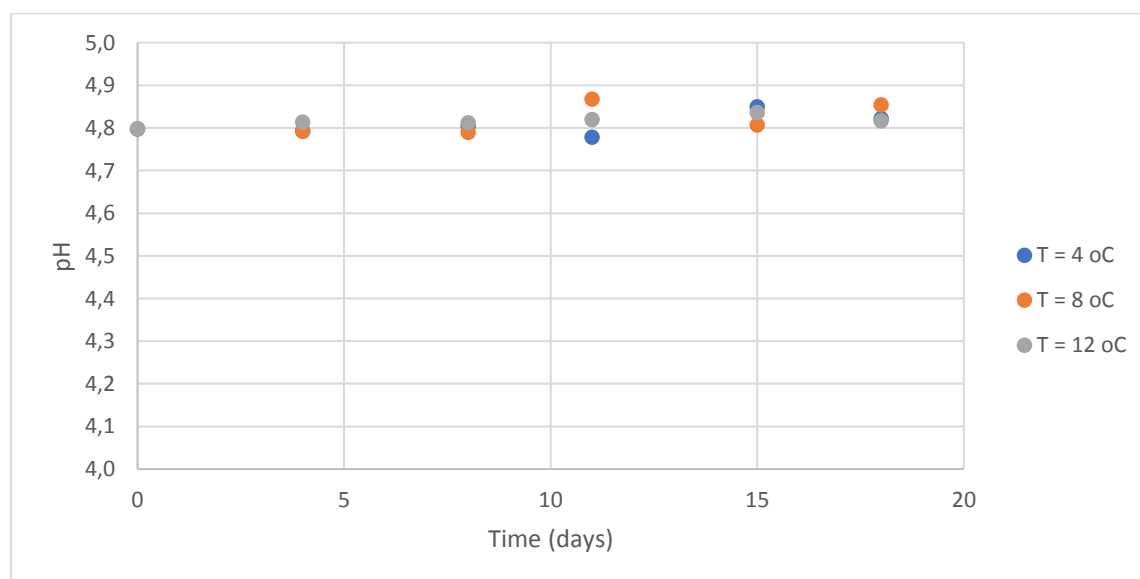


Διάγραμμα 6.46: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αναερόβιων μικροοργανισμών σε επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP)

Όπως φαίνεται και στην περίπτωση των αναερόβιων μικροοργανισμών η ανάπτυξη παραμένει χαμηλή. Φαίνεται ομοίως να μην αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί με αυξανόμενο ρυθμό και να διατηρείται μία ισορροπία στο μικροβιακό φορτίο. Επιπλέον και εδώ φαίνεται η θερμοκρασία να μην έχει μεγάλη επίδραση στην ανάπτυξη. Ενώ ενδεχομένως να αναμενόταν πιο αυξημένη ανάπτυξη στους 12 °C στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.46) δεν παρατηρείται κάτι τέτοιο, ούτε ακόμα στο τέλος της αποθήκευσης (18 ημέρες). Αντί αυτού φαίνεται το τελικό μικροβιακό φορτίο να είναι σχεδόν το ίδιο για όλες τις θερμοκρασίες.

Μελέτη μεταβολής pH

Στην περίπτωση των επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων τα αποτελέσματα για τις τιμές του pH παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.47).



Διάγραμμα 6.47: Μεταβολή pH κατά την αποθήκευση των επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία

Από τα παραπάνω αποτελέσματα του Διαγράμματος 6.47 γίνεται κατανοητό πως το pH κατά το πείραμα διατηρησιμότητας των ωσσωμένων δειγμάτων δε μεταβάλλεται. Παρατηρείται μια μικρή αυξητική τάση μετά τις 10 ημέρες αλλά με μικρές αυξομειώσεις που φαίνεται να διατηρούν τη σταθερότητά του. Άλλωστε αυτό μπορεί να φανεί και από το εύρος των τιμών που λαμβάνουν (4,778-4,868).

6.5.2.5 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση

Για την περίπτωση των επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων πραγματοποιείται οργανοληπτική αξιολόγηση ακριβώς όπως και στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Δηλαδή, ανά δειγματοληψία 5 βαθμολογητές-δοκιμαστές του προσωπικού του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ αξιολογούν τα ωμά δείγματα και εν συνεχεία δοκιμάζουν τα τηγανισμένα προϊόντα. Τα τηγανισμένα δείγματα αξιολογούνται τέσσερις φορές όσες και τα μη επεξεργασμένα δείγματα παρόλο που δεν αποκλείονται οργανοληπτικά την τελευταία ημέρα δοκιμής ενώ τα ωμά μέχρι να απορριφθούν. Βαθμολογούνται ποιοτικά χαρακτηριστικά που αφορούν την εμφάνιση, την οσμή και τη γεύση με βαθμολογία ομοίως από 1: καθόλου ένταση έως 9: πολύ υψηλή ένταση και στο τηγανισμένο προϊόν επιπλέον βαθμολογείται η αρέσκεια ομοίως από 1: πολύ κακό έως 9: πολύ καλό.

Φρεσκοκομμένα ωμά δείγματα πατάτας

Τα δείγματα αξιολογούνται ανά δειγματοληψία για τις τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την Ημέρα 0 και την Ημέρα 15 (ημέρα απόρριψης) της αξιολόγησης (Διάγραμμα 6.48-6.51). Τα υπόλοιπα διαγράμματα παρουσιάζονται στο Παράρτημα.



Διάγραμμα 6.48: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία (Ημέρα 0)



Διάγραμμα 6.49: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 4 °C (Ημέρα 15)



Διάγραμμα 6.50: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 8 °C (Ημέρα 15)

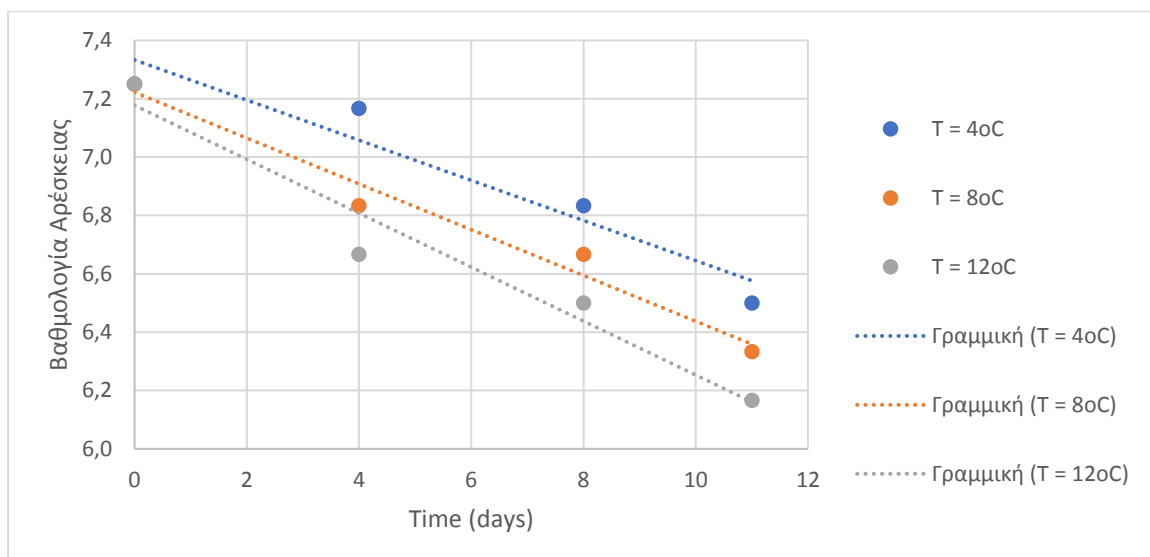


Διάγραμμα 6.51: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 12 °C (Ημέρα 15)

Από τα παραπάνω Διαγράμματα (Διάγραμμα 6.48-6.51) γίνεται κατανοητή η μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων. Συγκεκριμένα φαίνεται πως μειώνεται η βαθμολογία της εμφάνισης χωρίς όμως να επηρεάζεται το χρώμα. Η μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζεται στην οσμή και συγκεκριμένα το προϊόν αξιολογείται από τους βαθμολογητές πως έχει «αλλοιωμένη-ξένη» οσμή. Με το άνοιγμα της συσκευασίας των προϊόντων υπήρχε έντονη μυρωδιά αλλά όχι της πατάτας. Η αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης φαίνεται να επιφέρει ελαφρώς χειρότερα αποτελέσματα στο σύνολο των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Η έντονη οσμή που παρατηρήθηκε αποτέλεσε και το λόγο απόρριψης των προϊόντων την 15^η ημέρα αποθήκευσης.

Τηγανισμένα δείγματα πατάτας

Ομοίως με την οργανοληπτική αξιολόγηση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων, χρησιμοποιείται η τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius (Εξίσωση 6.7). Κατασκευάζεται το διάγραμμα βαθμολογίας αρέσκειας σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης (Διάγραμμα 6.52). Στο διάγραμμα αυτό εφαρμόζεται η γραμμική προσέγγιση για την εύρεση του ρυθμού υποβάθμισης του προϊόντος (k_s).



Διάγραμμα 6.52: Μεταβολή συνολικής αρέσκειας με το χρόνο αποθήκευσης των επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε θερμοκρασίες 4, 8 και 12 °C

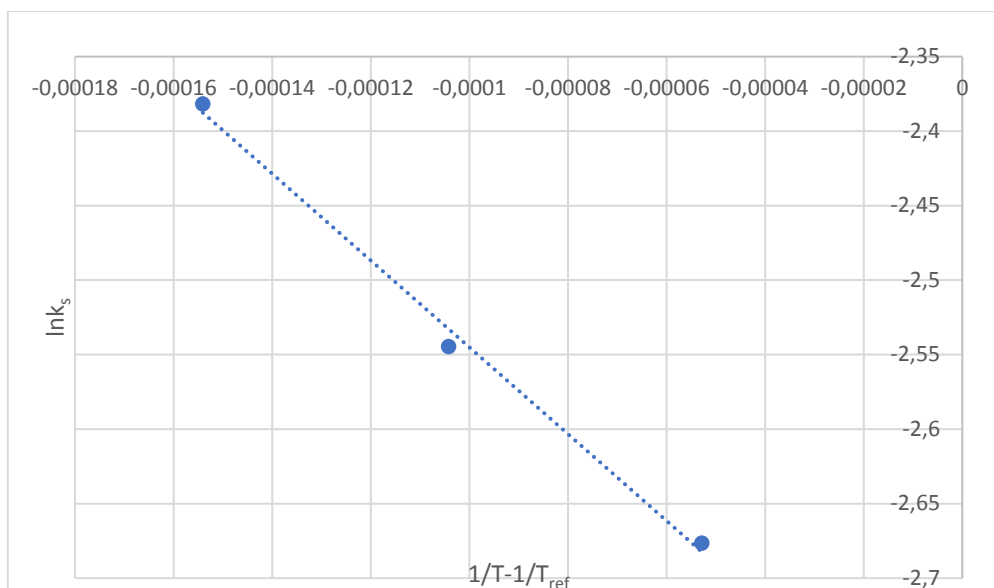
Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.52) παρατηρείται πως η θερμοκρασία αποθήκευσης επιδρά μερικώς και στη συνολική αρέσκεια του τηγανισμένου προϊόντος. Συγκεκριμένα, φαίνεται πως η αύξηση στη θερμοκρασία αποθήκευσης επιφέρει μικρότερη βαθμολογία συνολικά. Τα συγκεκριμένα δείγματα χαρακτηρίζονται βάσει βαθμολογίας με κολλώδη υφή, ελαφρώς γλυκιά γεύση αφήνοντας μια σχετικά κανονική μετάγευση. Με την πάροδο του χρόνου φαίνεται η υφή να μη μεταβάλλεται και η σκληρότητα να παραμένει στα ίδια επίπεδα. Η διαφορά της βαθμολογίας οφείλεται στην εμφάνιση των προϊόντων όπου λόγω του χρώματος και της ύπαρξης στιγμάτων βαθμολογούνται χαμηλά. Φαίνεται πως και στη βαθμολόγηση αυτή των δοκιμαστών η θερμοκρασία έπαιξε ρόλο, ενδεχομένως αλλοιώνοντας τα δείγματα σε θέματα εμφάνισης και υφής βάσει βαθμολογίας.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.52) και τη γραμμική προσέγγιση εξάγονται τα εξής (Πίνακας 6.28).

Πίνακας 6.28: Αποτελέσματα γραμμικής προσέγγισης των σημείων για τη βαθμολογία αρέσκειας επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων πατάτας

Δείγμα	k_s (d ⁻¹)	$\ln k_s$	R^2
4 °C	0,0688	-2,6765	0,9230
8 °C	0,0785	-2,5446	0,9718
12 °C	0,0924	-2,3816	0,9529

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων (Πίνακας 6.28) και σύμφωνα με την τροποποιημένη εξίσωση Arrhenius (Εξίσωση 6.7) κατασκευάζεται το διάγραμμα που συσχετίζει τη θερμοκρασία με το ρυθμό υποβάθμισης (Διάγραμμα 6.53).



Διάγραμμα 6.53: Εφαρμογή εξίσωσης Arrhenius για το βαθμό αρέσκειας επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων αποθηκευμένων σε θερμοκρασίες 4,8 και 12 °C σε MAP συσκευασία

Από το παραπάνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.53) προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 6.29).

Πίνακας 6.29: Αποτελέσματα εφαρμογής εξίσωσης Arrhenius σε οργανοληπτική αξιολόγηση ωσμωνένων-επεξεργασμένων δειγμάτων αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

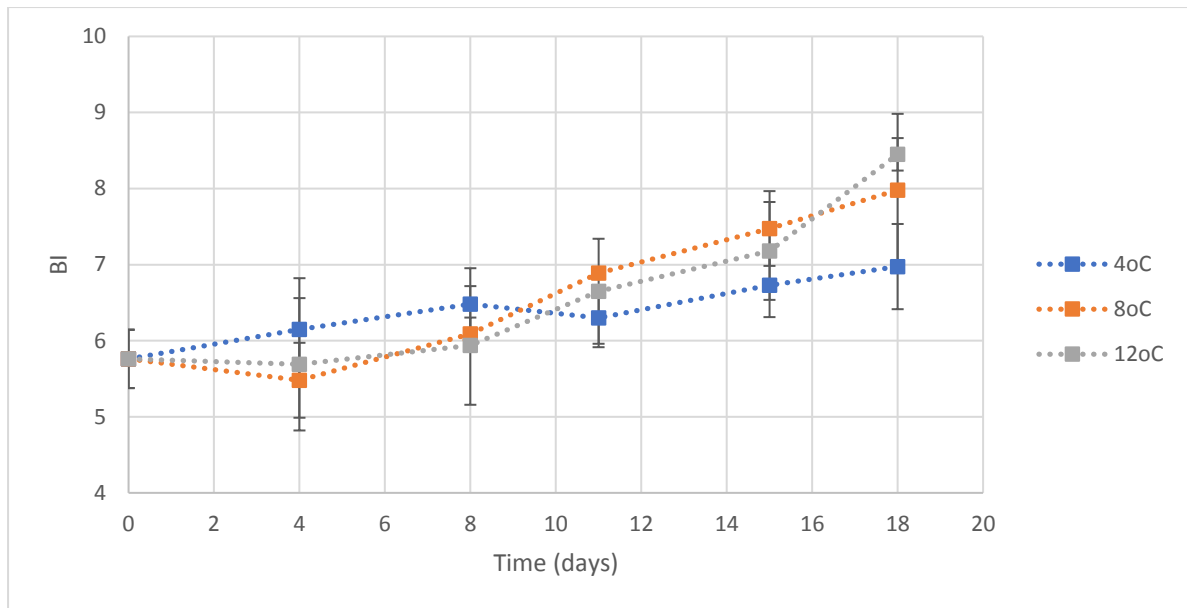
$-E_a/R$	E_a (kJ)	$\ln k_{ref}$	k_{ref} (d ⁻¹)	R^2
2911,8	24,21	-2,8362	0,0586	0,9952

6.5.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και διατηρησιμότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας (προ-επεξεργασία με ΠΗΠ και ωσμωνική αφυδάτωση)

Δεδομένου ότι επιλέχθηκε ένα συγκεκριμένο ωσμωνικό διάλυμα που αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα (20% γλυκερόλη, 5% χλωριούχο νάτριο, 1% ασκορβικό οξύ και 74% νερό) ο σκοπός της έρευνας είναι η σύγκριση των μεθόδων επεξεργασίας και αν επηρεάζονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του δείγματος κατά την αποθήκευση. Η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις βέλτιστες συνθήκες που αναφέρονται στην Ενότητα 5.2.2. Ομοίως με τα μη επεξεργασμένα και τα επεξεργασμένα-ωσμωνικά δείγματα η αξιολόγηση διαρκεί μέχρι την οργανοληπτική απόρριψη των προϊόντων. Μελετώνται επίσης οι δείκτες ποιότητας χρώματος και υφής, η μικροβιολογική ανάπτυξη, η συσκευασία, το pH και η μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Οι συνθήκες συσκευασίας και αποθήκευσης είναι ακριβώς οι ίδιες (0,188% O₂ και 12,2% CO₂) σε θερμοκρασίες 4,8 και 12 °C. Τα δείγματα κατηγοριοποιούνται βάσει της θερμοκρασίας αποθήκευσης ή με συμβολισμό PEFOD και τη θερμοκρασία αποθήκευσης (π.χ. PEFOD4 για το δείγμα που αποθηκεύεται στους 4 °C).

6.5.3.1 Μεταβολή χρώματος

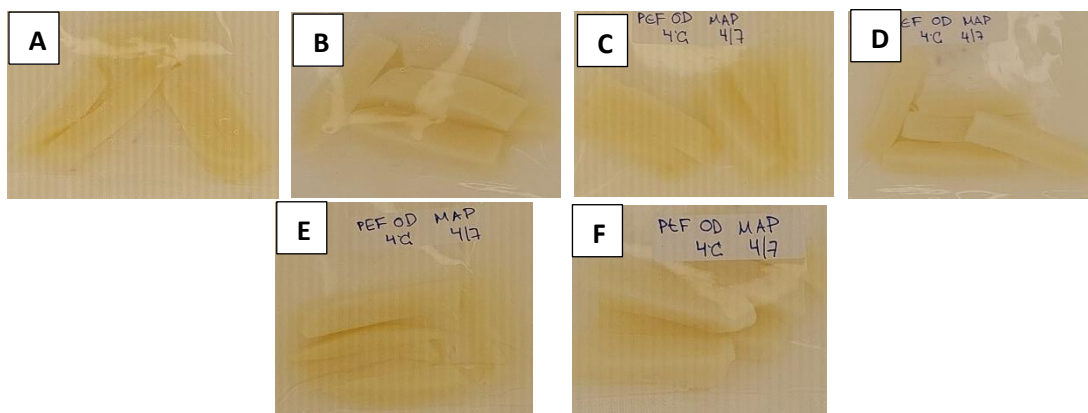
Όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις έτσι και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνικά δείγματα χρησιμοποιείται ο δείκτης αμαύρωσης (BI) για τη μέτρηση της μεταβολής του χρώματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.54).



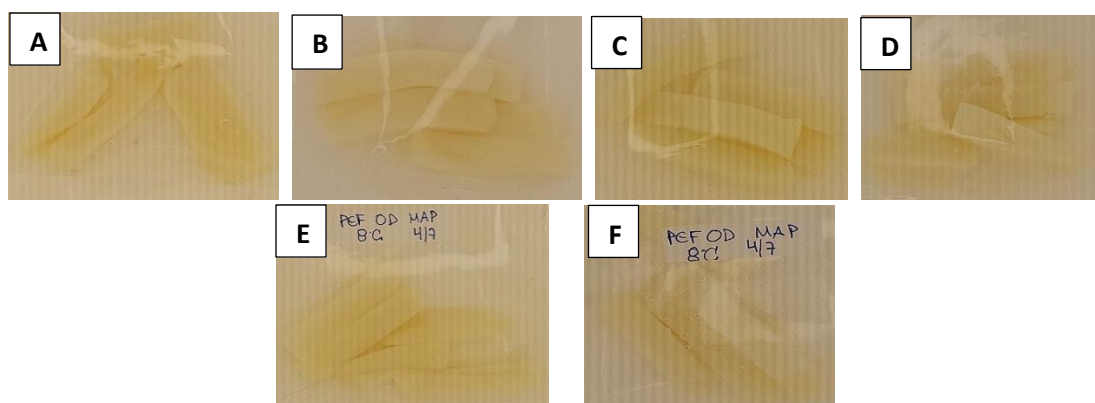
Διάγραμμα 6.54: Μεταβολή ενζυμικού μαυρίσματος για ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας κατά την αποθήκευσή τους σε MAP συσκευασία (Average value $\pm$ STDEV)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.54) φαίνεται πως και στην περίπτωση των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων η τιμή του δείκτη αμαύρωσης διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Ενδεικτικά, στην ημέρα 0 οι τιμές που προκύπτουν είναι: $L = 56,36$, $a = -0,81$, $b = 3,80$ και $BI = 5,76$. Μάλιστα σύμφωνα με τα συγκεκριμένα αποτελέσματα φαίνεται πως η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ προσδίδει ένα πιο ανοιχτό χρώμα στα τελικά ωσσωμένα δείγματα πράγμα που φαίνεται να διατηρείται και με το πέρασμα των ημερών. Ο δείκτης BI δε φαίνεται να μεταβάλλεται σε μεγάλο ποσοστό κατά την διάρκεια του πειράματος (5,76-8,45). Τα αποτελέσματα μάλιστα δείχνουν ακόμα και ένα πιο ανοιχτό χρώμα σε σχέση με τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα. Πράγματι, έχει αποδειχθεί πως η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ σε πατάτες πριν την ωσμωτική αφυδάτωση βοηθάει ακόμα περισσότερο στη βελτίωση και διατήρηση του χρώματος (Katsouli et al., 2024).

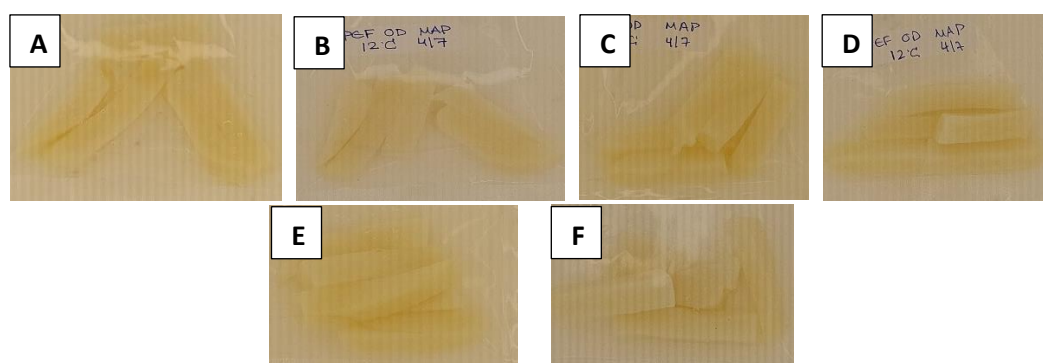
Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες που λήφθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία για κάθε θερμοκρασία ανά δειγματοληψία (Εικόνα 6.8-6.10).



Εικόνα 6.8: Τεμαχισμένες ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσσωμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 4 °C. Στην εικόνα: A: ημέρα 0, B: ημέρα 4, C: ημέρα 8, D: ημέρα 11, E: ημέρα 15, F: ημέρα 18



Εικόνα 6.9: Τεμαχισμένες ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμωμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 8 °C. Στην εικόνα: Α: ημέρα 0, Β: ημέρα 4, C: ημέρα 8, D: ημέρα 11, Ε: ημέρα 15, F: ημέρα 18

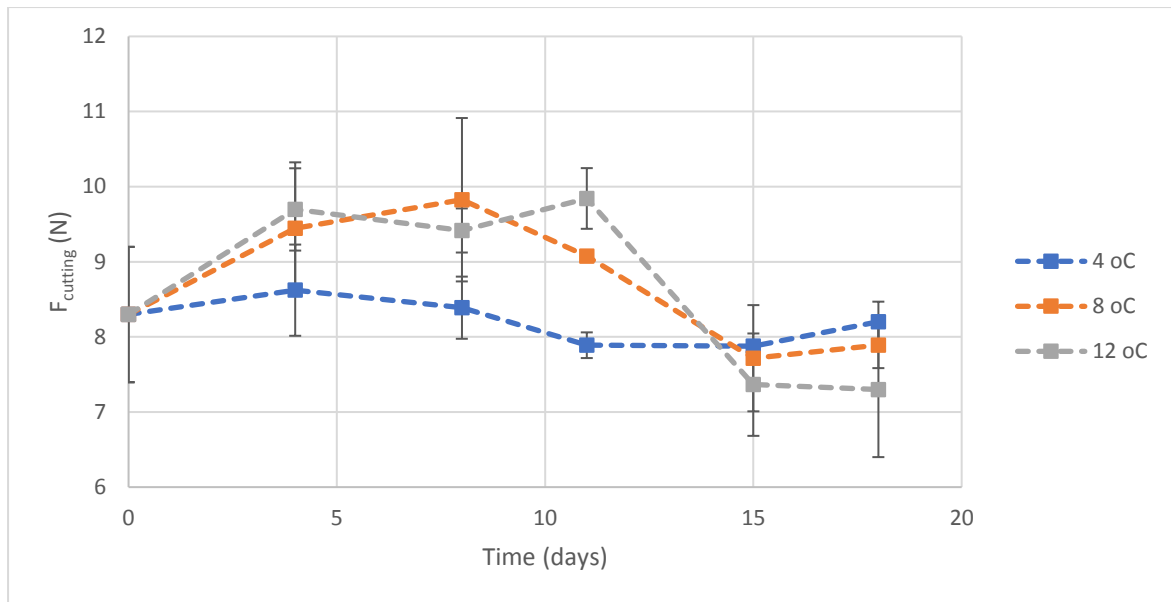


Εικόνα 6.10: Τεμαχισμένες ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμωμένες πατάτες αποθηκευμένες στους 12 °C. Στην εικόνα: Α: ημέρα 0, Β: ημέρα 4, C: ημέρα 8, D: ημέρα 11, Ε: ημέρα 15, F: ημέρα 18

Βάσει της οπτικής παρατήρησης των Εικόνων 6.8-6.10 επιβεβαιώνονται πράγματι τα αποτελέσματα των τιμών του BI. Το χρώμα των δειγμάτων φαίνεται να διατηρείται κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές και χωρίς να επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Ταυτόχρονα, το ενζυμικό μαύρισμα φαίνεται να έχει επιβραδυνθεί σε μεγάλο βαθμό.

6.5.3.2 Μεταβολή υφής

Και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα η ανάλυση της υφής αποτελεί σημαντική μελέτη για την τελική ποιότητα του προϊόντος. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.55).

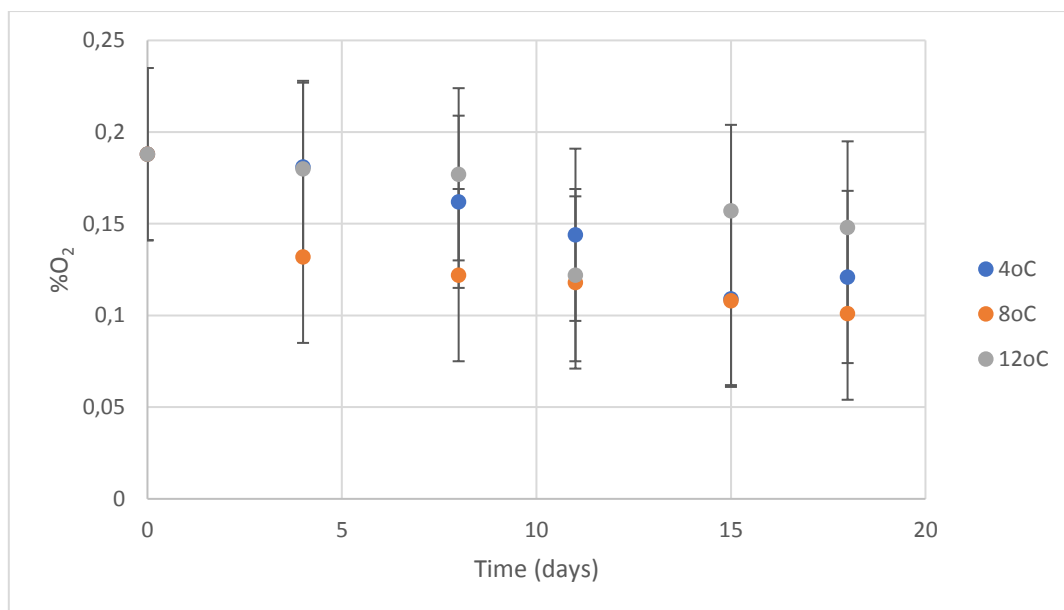


Διάγραμμα 6.55: Μεταβολή υφής (σκληρότητας) για ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας κατά την αποθήκευση σε MAP συσκευασία (Average value $\pm$ STDEV)

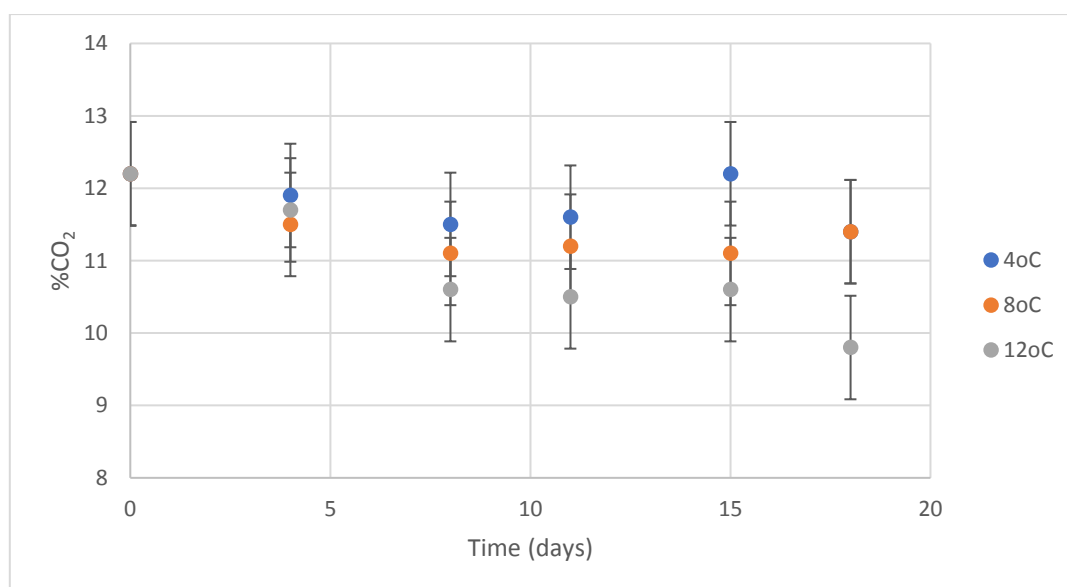
Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων φαίνεται πως με την πάροδο των ημερών η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται. Όπως ακριβώς και στην περίπτωση των υπολοίπων δειγμάτων έτσι και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα η σκληρότητα αυξάνεται τις πρώτες ημέρες και στη συνέχεια μειώνεται. Στους 4 °C παρατηρείται μια σταθερότητα στην τιμή της δύναμης κοψίματος με μικρές αυξομειώσεις. Στους 8 και 12 °C η αύξηση και αντίστοιχα η μείωση των τιμών της δύναμης κοψίματος είναι πιο εμφανείς. Αντίστοιχα, φαίνεται πως στις 18 ημέρες το δείγμα που αποθηκεύεται στους 12 °C είναι πιο μαλακό από τα υπόλοιπα χωρίς ωστόσο να υπάρχουν μεγάλες διαφορές.

6.5.3.3 Σύσταση τροποποιημένης ατμόσφαιρας της συσκευασίας

Όπως πραγματοποιείται μέτρηση στα μη επεξεργασμένα και στα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας, πραγματοποιείται και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας. Μετρείται η % περιεκτικότητα σε O_2 και CO_2 στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 6.56 - 6.57).



Διάγραμμα 6.56: Μεταβολή % σύστασης O₂ στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων πατάτας (Average value $\pm$ STDEV)



Διάγραμμα 6.57: Μεταβολή % σύστασης CO₂ στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων πατάτας (Average value $\pm$ STDEV)

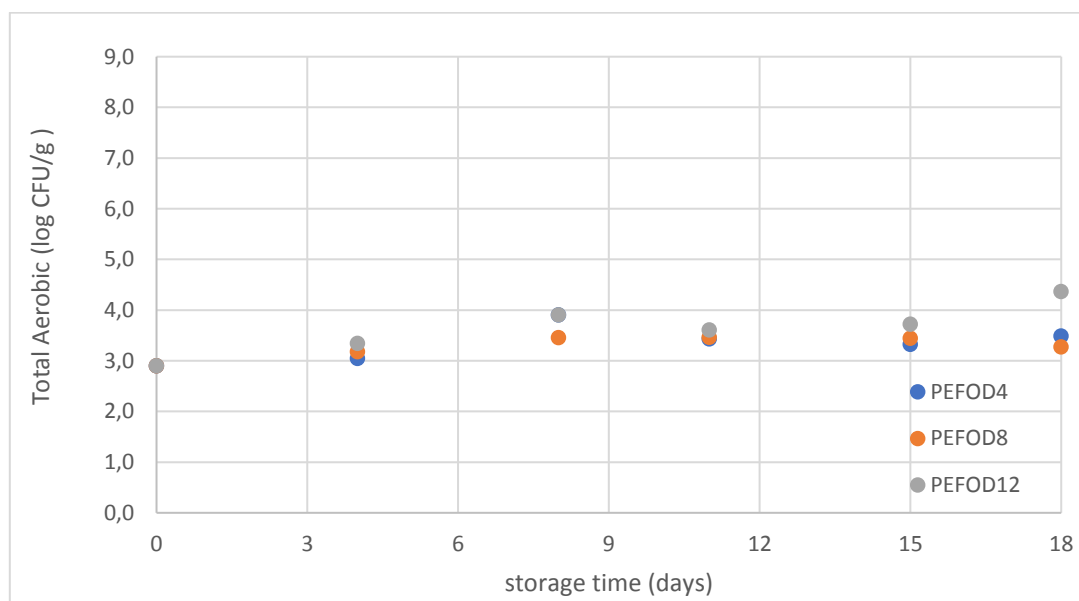
Από τα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 6.56-6.57) δε φαίνεται να παρατηρείται ιδιαίτερη μεταβολή στη σύσταση των αερίων όπως ακριβώς φαίνεται και στην περίπτωση των επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων. Στην περιεκτικότητα οξυγόνου παρατηρείται μια μείωση μεγαλύτερη στους 8 °C αλλά και πάλι δε θεωρείται πολύ μεγάλη μεταβολή (%O₂ > 0,101%) σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα (Ημέρα 5, 8 °C: %O₂ = 0,031%). Σχετικά με το διοξείδιο άνθρακα, οι μικρότερες ποσότητες καταγράφονται σε θερμοκρασία αποθήκευσης 12 °C, ενώ στους 4 °C παρατηρείται σταθερότητα στην περιεκτικότητα του αερίου με μικρές αυξομειώσεις.

6.5.3.4 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH

Όπως και στην περίπτωση των επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων, τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα κατά την μικροβιολογική τους μελέτη παρουσίασαν μηδενικό μικροβιακό φορτίο στα εντεροβακτήρια, στους ζύμες και μύκητες και στις ψευδομονάδες. Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία μελετώνται οι ολικοί αερόβιοι μικροοργανισμοί και οι ολικοί αναερόβιοι μικροοργανισμοί που παρατηρήθηκε ανάπτυξη κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάπτυξη των ολικών αερόβιων μικροοργανισμών βάσει των αποικιών που μετρήθηκαν στα τρυβλία PCA (Διάγραμμα 6.58):

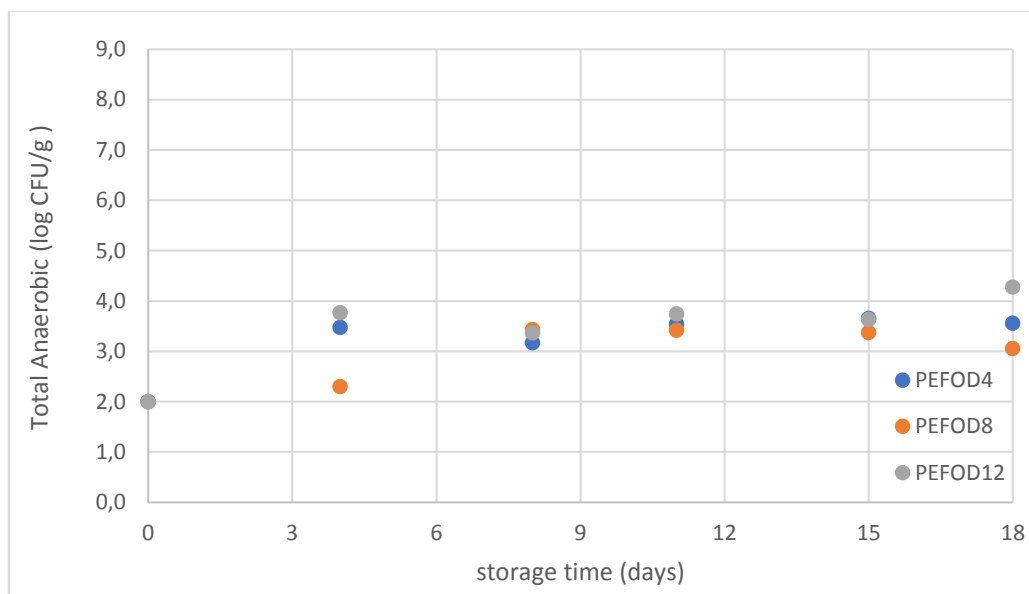


Διάγραμμα 6.58: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αερόβιων μικροοργανισμών σε ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.58) γίνεται εμφανές πως τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα δεν αναπτύσσουν υψηλό φορτίο ολικής μικροβιακής χλωρίδας. Η ανάπτυξη που υφίσταται στην ημέρα 0 φαίνεται ($N = 2,90 \log\text{CFU/g}$) να μεταβάλλεται σε μικρό βαθμό καθ' όλη την διάρκεια της αποθήκευσης ($N_{\max} = 4,36 \log\text{CFU/g}$). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δε δύνανται να μοντελοποιηθούν διότι η αύξηση που παρουσιάζουν είναι πολύ μικρή. Συγκριτικά με τα ωσμωνμένα δείγματα, και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται «σταθερότητα» στο μικροβιακό φορτίο ωστόσο τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα φαίνεται να παρουσιάζονται ελαφρώς λιγότερο επιβαρυμένα μικροβιακά ($3 < \log\text{CFU/g} < 4,36$).

Ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο

Για τους ολικούς αναερόβιους μικροοργανισμούς χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα που εξάγονται από τις μετρήσεις των αποικιών των τρυβλίων SPS (Διάγραμμα 6.59).

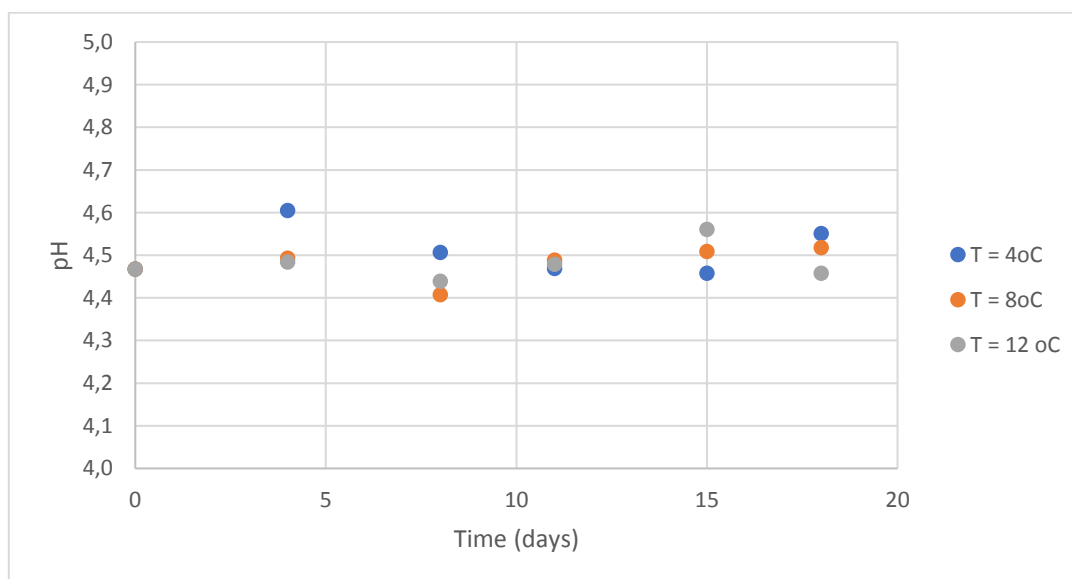


Διάγραμμα 6.59: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αναερόβιων μικροοργανισμών σε ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα αποθηκευμένα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP)

Στην περίπτωση των ολικών αναερόβιων μικροοργανισμών από το Διάγραμμα 6.59 φαίνεται επίσης να μην παρατηρείται σημαντική μικροβιακή αύξηση όπως ακριβώς συμβαίνει και στους αερόβιους. Ενδεχομένως η συγκεκριμένη αύξηση να είναι πιο εμφανής δεδομένου και του αρχικού μικροβιακού φορτίου, παρόλα αυτά φαίνεται «σταθεροποιείται». Για το λόγο αυτό ομοίως τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δε μπορούν να μοντελοποιηθούν μέσω της εξίσωσης Baranyi. Σε σύγκριση με τα ωσσωμένα δείγματα, η αύξηση φαίνεται να είναι παρόμοια.

Μελέτη μεταβολής pH

Για τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα η μελέτη του pH πραγματοποιήθηκε από όπου προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.60).



Διάγραμμα 6.60: Μεταβολή pH κατά την αποθήκευση των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία

Στην περίπτωση αυτή φαίνεται το pH να αυξομειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο οι αυξομειώσεις αυτές κυμαίνονται μεταξύ ενός μικρού εύρους τιμών (4,408-4,605) δηλαδή θεωρητικά το pH διατηρείται σχετικά σταθερό. Σε σύγκριση με τα ωσσωμένα δείγματα φαίνεται να εμφανίζει μικρότερη τιμή στο σύνολο των μετρήσεων αλλά ομοίως με μικρή διαφορά. Η σταθερότητα της τιμής του pH ενδέχεται να είναι απόρροια της ελάχιστης μικροβιακής ανάπτυξης των δειγμάτων που προκύπτει πολύ χαμηλή, καθώς όπως έχει επισημανθεί η ανάπτυξη των μικροοργανισμών συνδέεται άρρηκτα με την τιμή του pH.

6.5.3.5 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων πραγματοποιείται με την ίδια διαδικασία όπως και στα μη επεξεργασμένα και επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα που αναλύθηκαν στις υπό-ενότητες 6.5.1.5 και 6.5.2.5. Ταυτόχρονα με τους άλλους δύο οργανοληπτικούς ελέγχους, οι ίδιοι βαθμολογητές αξιολογούν τα συγκεκριμένα ωμά φρεσκοκομμένα δείγματα ως προς τους δείκτες ποιότητας (χρώμα, υφή και οσμή) και αντίστοιχα τα τηγανισμένα προϊόντα ως προς αρέσκεια (εμφάνιση, υφή, χρώμα, οσμή, γεύση και μετάγευση).

Φρεσκοκομμένα ωμά δείγματα πατάτας

Τα δείγματα όπως έχει αναφερθεί αξιολογούνται έως την ημέρα απόρριψής τους. Ενδεικτικά, για τα ωμά ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα παρουσιάζεται η μεταβολή των χαρακτηριστικών τους από την ημέρα 0 έως την ημέρα 15 για τις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης (Διάγραμμα 6.61-6.64). Τα υπόλοιπα διαγράμματα επισυνάπτονται στο Παράρτημα.



Διάγραμμα 6.61: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-ωσσωμένων- επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία (Ημέρα 0)



Διάγραμμα 6.62: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 4 °C (Ημέρα 15)



Διάγραμμα 6.63: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 8 °C (Ημέρα 15)

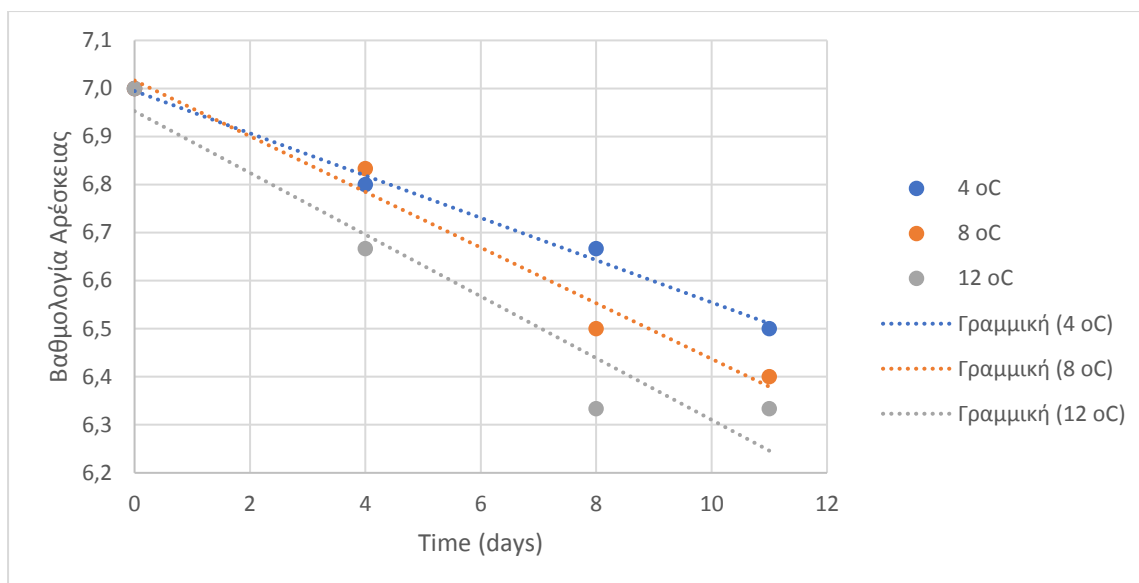


Διάγραμμα 6.64: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία αποθηκευμένα στους 12 °C (Ημέρα 15)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται πως και στην περίπτωση των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων η οσμή είναι και ο λόγος που τα δείγματα απορρίπτονται. Συγκεκριμένα, η βαθμολογία στο χαρακτηρισμό Αλλοιωμένη-Ξένη είναι υψηλή (7/9) γεγονός που καθιστά τα δείγματα οργανοληπτικά μη αποδεκτά. Αντίθετα, όπως παρατηρείται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της εμφάνισης, του χρώματος αλλά και της υφής δεν υφίστανται πολύ μεγάλη μεταβολή κατά την διαδικασία αποθήκευσης. Η θερμοκρασία επιπλέον, φαίνεται να μην επηρεάζει την οργανοληπτική αξιολόγηση δεδομένου ότι παρουσιάζει μικρές διαφορές στην εμφάνιση.

Τηγανισμένα δείγματα πατάτας

Τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα πατάτας τηγανίζονται με την ίδια διαδικασία όπως και τα υπόλοιπα αποθηκευμένα δείγματα. Στα δείγματα αυτά πραγματοποιείται και δοκιμή και βαθμολογούνται ποιοτικά χαρακτηριστικά και η συνολική αρέσκεια. Για την αρέσκεια, πραγματοποιείται ανάλυση για την εύρεση του ρυθμού υποβάθμισης μέσω γραμμικοποίησης των δεδομένων. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.65).



Διάγραμμα 6.65: Μεταβολή συνολικής αρέσκειας με το χρόνο αποθήκευσης των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε θερμοκρασίες 4, 8 και 12 °C

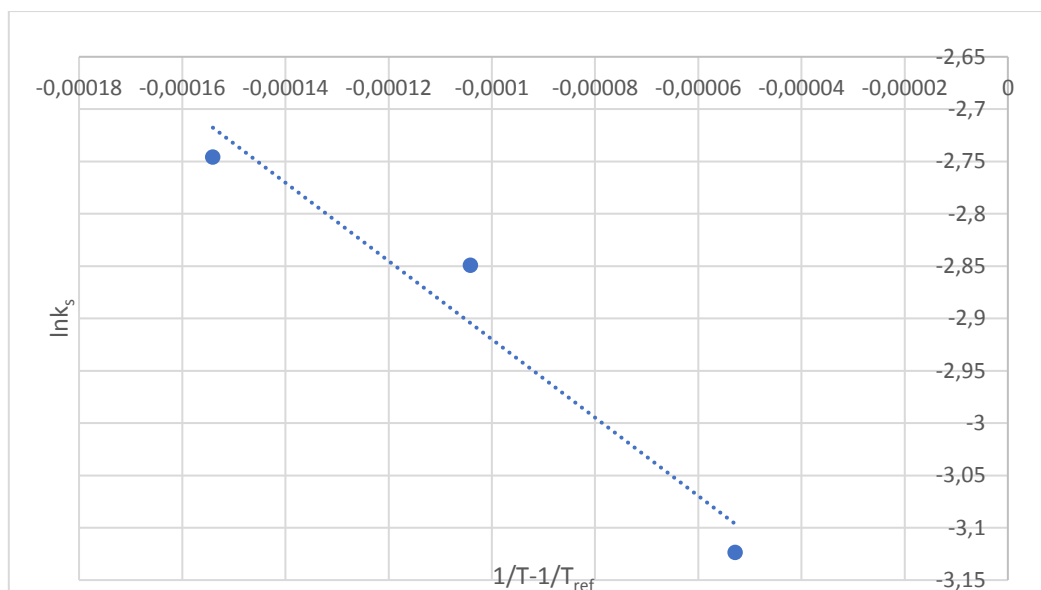
Σύμφωνα με την αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε στα συγκεκριμένα τηγανητά προϊόντα φαίνεται να μην υφίσταται μεγάλη μεταβολή στη συνολική αρέσκεια των δειγμάτων. Κυρίως παρατηρούνται διαφορές σε γευστικά χαρακτηριστικά και σε χαρακτηριστικά εμφάνισης λιπαρού. Συγκριτικά με τις θερμοκρασίες αποθήκευσης, δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά στη συνολική βαθμολόγηση αλλά και στα επιμέρους χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν. Σε θέμα υφής και τραγανότητας παρατηρείται μείωση στη βαθμολογία κατά την διάρκεια αποθήκευσης κυρίως στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Ομοίως με τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα, τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα χαρακτηρίστηκαν με κολλώδη υφή και αλλοιωμένο/ξένο άρωμα όμως σε ελαφρώς μικρότερο βαθμό.

Από το παραπάνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.65) εξάγονται τα εξής αποτελέσματα σχετικά με το ρυθμό υποβάθμισης (Πίνακας 6.30).

Πίνακας 6.30: Αποτελέσματα γραμμικής προσέγγισης των σημείων για τη βαθμολογία αρέσκειας ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων πατάτας

Δείγμα	k_s (d ⁻¹)	$\ln k_s$	R^2
4 °C	0,0440	-3,1236	0,9920
8 °C	0,0579	-2,8490	0,9752
12 °C	0,0642	-2,7458	0,9286

Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 6.30 και σύμφωνα με την εξίσωση Arrhenius (Εξίσωση 6.7) προκύπτει το αντίστοιχο Διάγραμμα εξάρτησης του ρυθμού υποβάθμισης με τη θερμοκρασία (Διάγραμμα 6.66).



Διάγραμμα 6.66: Εφαρμογή εξίσωσης Arrhenius για το βαθμό αρέσκειας ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων αποθηκευμένων σε θερμοκρασίες 4,8 και 12 °C σε MAP συσκευασία

Από το παραπάνω διάγραμμα και σύμφωνα με την Εξίσωση 6.7 προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Πίνακας 6.31).

Πίνακας 6.31: Αποτελέσματα εφαρμογής εξίσωσης Arrhenius σε οργανοληπτική αξιολόγηση ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

$-E_a/R$	E_a (kJ)	$\ln k_{ref}$	k_{ref} (d ⁻¹)	R^2
3740,1	31,10	-3,2939	0,0371	0,9399

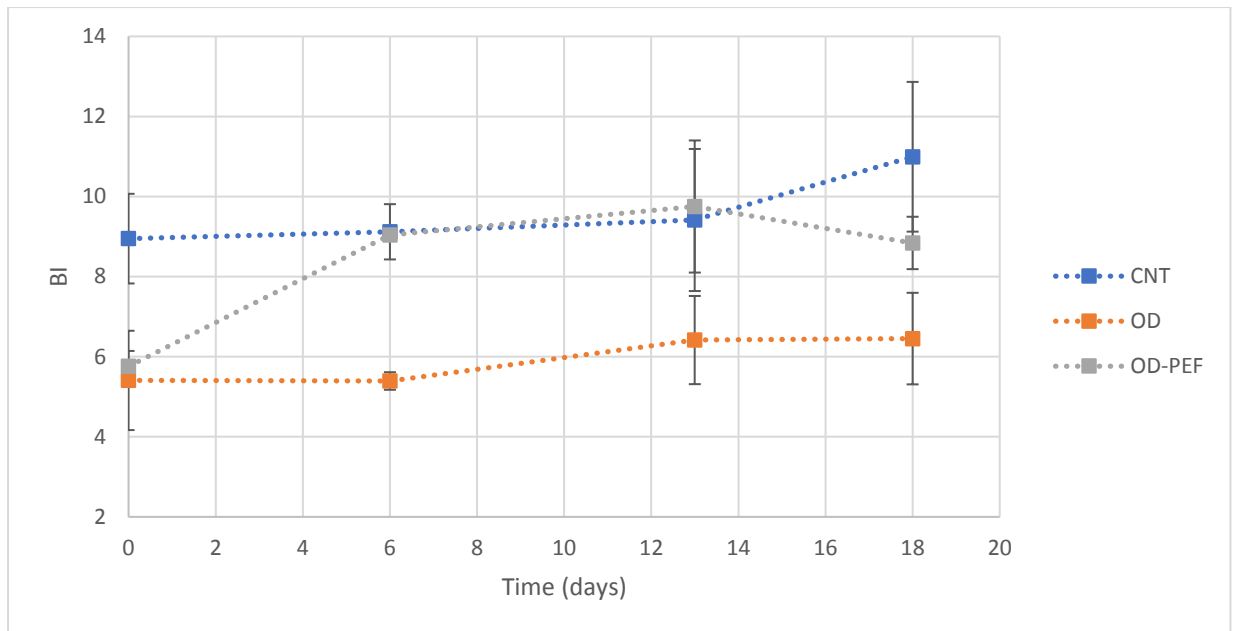
6.6 Επίδραση της ωσμοτικής αφυδάτωσης και των ΠΗΠ στην ποιότητα και διατηρησιμότητα των δειγμάτων πατάτας σε συσκευασία υπό κενό (Vacuum)

Με την ίδια επιλογή δειγμάτων και ταυτόχρονα με το πείραμα της διατηρησιμότητας σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας πραγματοποιείται ενδεικτική πειραματική διαδικασία αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό. Συγκεκριμένα, επιλέγεται η θερμοκρασία αποθήκευσης των 4 °C ως η πιο ρεαλιστική προσέγγιση και εξετάζονται τα μη επεξεργασμένα δείγματα, τα επεξεργασμένα ωσμωνμένα δείγματα και τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα με τις ίδιες συνθήκες ωσμοτικού διαλύματος όπως ακριβώς και στο πείραμα της συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Εξετάζονται ομοίως οι δείκτες ποιότητας (χρώμα, υφή), η μικροβιακή ανάπτυξη, το pH και η μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων. Η αξιολόγηση διαρκεί μέχρι τα δείγματα να απορριφθούν οργανοληπτικά. Τα δείγματα κατηγοριοποιούνται βάσει επεξεργασίας:

- Μη επεξεργασμένα: Control (CNT)
- Επεξεργασμένα-ωσμωνμένα: Osmotic Dehydration (OD)
- ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα: PEF Osmotic Dehydration (OD-PEF)

6.6.1 Μεταβολή χρώματος

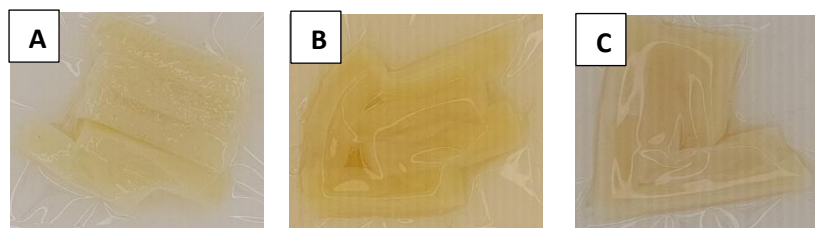
Όπως ακριβώς και στην περίπτωση της συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας, στην διατηρησιμότητα σε συσκευασία υπό κενό μετريέται ο δείκτης αμαύρωσης (BI) για την ένδειξη του ενζυμικού μαυρίσματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.67).



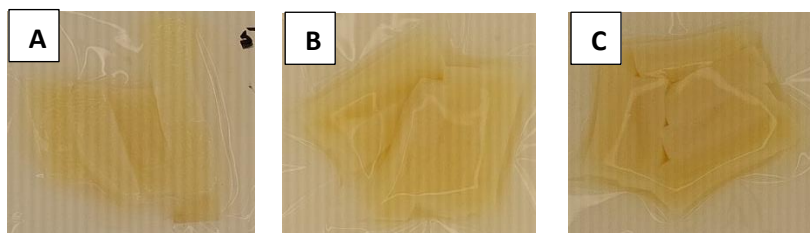
Διάγραμμα 6.67: Μεταβολή ενζυμικού μαυρίσματος για μη επεξεργασμένα δείγματα, για επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα και για ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα κατά την αποθήκευσή τους σε συσκευασία υπό κενό στους 4 °C (Average value $\pm$ STDEV)

Βάσει του παραπάνω διαγράμματος (Διάγραμμα 6.67) φαίνεται πως κατά την αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό τα επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα διατηρούν το χρώμα τους πιο ανοιχτό σε σύγκριση με τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα που αυξάνουν τον δείκτη BI με την πάροδο του χρόνου. Τα μη επεξεργασμένα δείγματα φαίνεται να διατηρούν το χρώμα τους κατά την διάρκεια της αποθήκευσης (BI: 8,95-9,41), ωστόσο μετά από δύο εβδομάδες φαίνεται να αυξάνεται η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης (BI: 9,41-10,99). Συνολικά, η μεγαλύτερη αύξηση του δείκτη αμαύρωσης παρατηρείται στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα (BI: 5,76-9,75) ενώ στα επεξεργασμένα-ωσμομένα διατηρείται σταθερός (BI: 5,41-6,45).

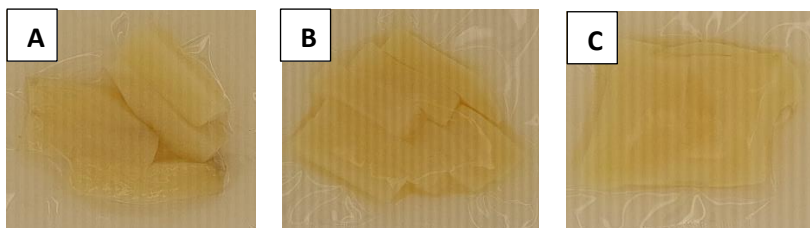
Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας για οπτική παρατήρηση των δειγμάτων (Εικόνα 6.11-6.14).



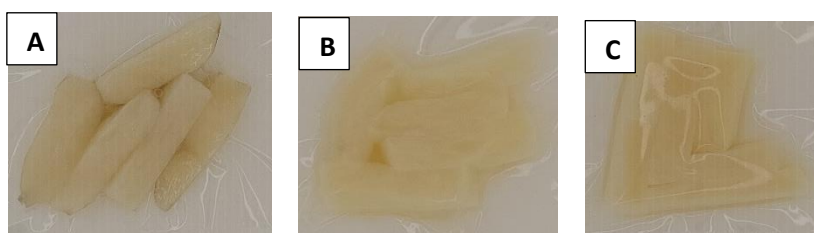
Εικόνα 6.11: Τεμαχισμένες πατάτες σε συσκευασία υπό κενό (Ημέρα 0). Στην εικόνα: A: μη επεξεργασμένες (CNT), B: επεξεργασμένες-ωσμομένες (OD), C: ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμομένες (OD-PEF)



Εικόνα 6.12: Τεμαχισμένες πατάτες σε συσκευασία υπό κενό (Ημέρα 6). Στην εικόνα: A: μη επεξεργασμένες (CNT), B: επεξεργασμένες-ωσμωμένες (OD) , C: ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμωμένες (OD-PEF)



Εικόνα 6.13: Τεμαχισμένες πατάτες σε συσκευασία υπό κενό (Ημέρα 13). Στην εικόνα: A: μη επεξεργασμένες (CNT), B: επεξεργασμένες-ωσμωμένες (OD) , C: ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμωμένες (OD-PEF)

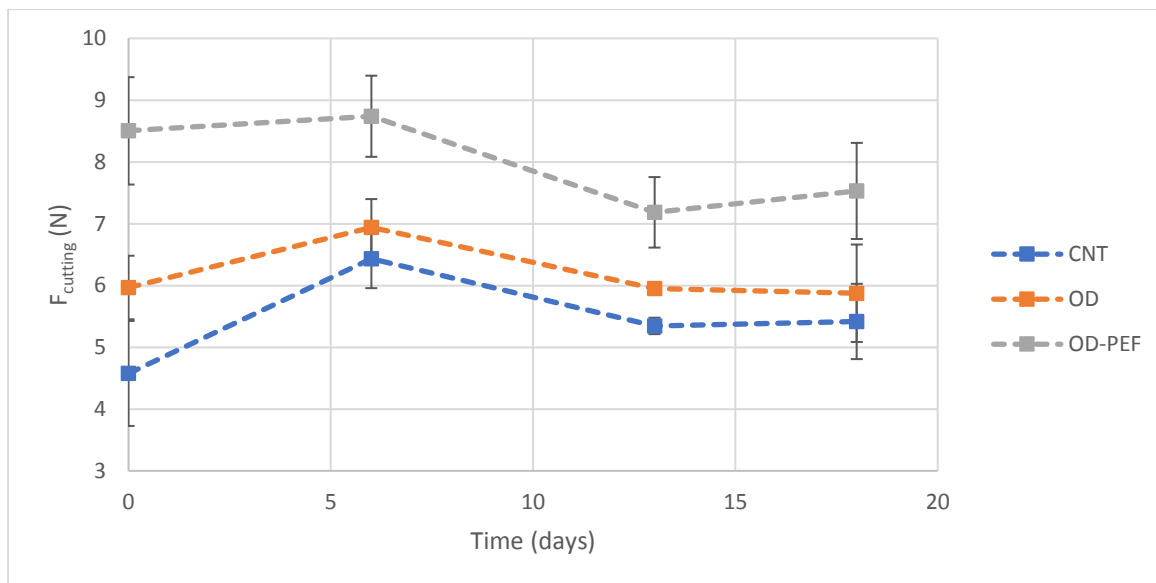


Εικόνα 6.14: Τεμαχισμένες πατάτες σε συσκευασία υπό κενό (Ημέρα 18). Στην εικόνα: A: μη επεξεργασμένες (CNT), B: επεξεργασμένες-ωσμωμένες (OD) , C: ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμωμένες (OD-PEF)

Από τις παραπάνω εικόνες (Εικόνα 6.11-6.14) παρατηρείται μια χρωματική αλλοίωση στα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας με την εμφάνιση μαύρων στιγμάτων στις άκρες. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνει και την αύξηση του BI που φαίνεται να υπάρχει μετά τις 14 ημέρες. Σχετικά με τις επεξεργασμένες-ωσμωμένες και ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμωμένες πατάτες φαίνεται να διατηρούν το χρώμα τους.

6.6.2 Μεταβολή υφής

Η υφή στην περίπτωση των δειγμάτων πατάτας εξετάζεται βάσει της σκληρότητας. Συγκεκριμένα και στην περίπτωση της συσκευασίας υπό κενό η μεταβολή της υφής αναλύεται μέσω της δύναμης κοψίματος. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.68).



Διάγραμμα 6.72: Μεταβολή υφής για μη επεξεργασμένα δείγματα, για επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα και για ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα πατάτας κατά την αποθήκευσή τους σε συσκευασία υπό κενό (Average value $\pm$ STDEV)

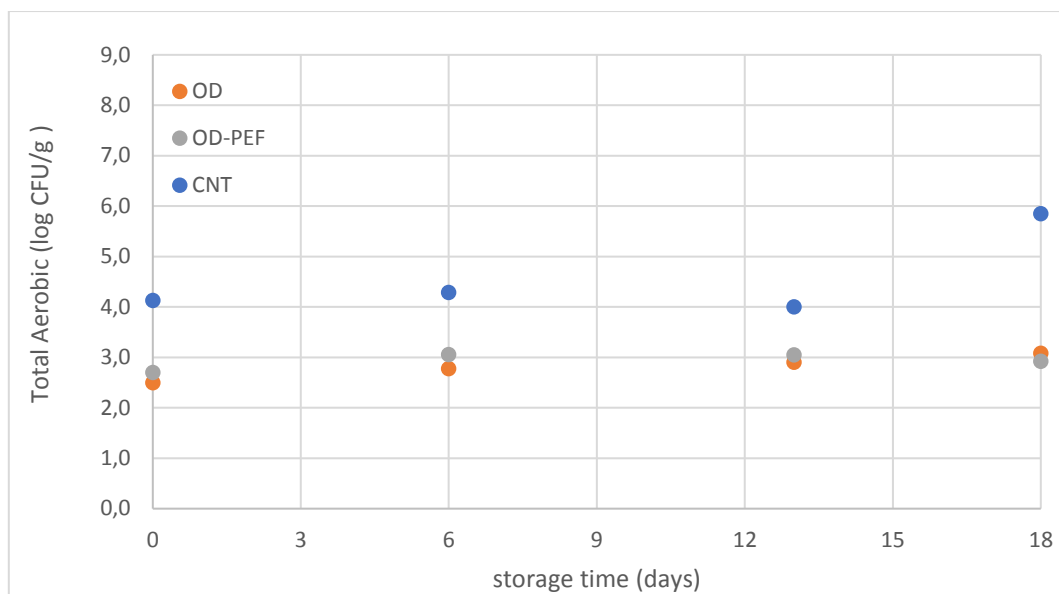
Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.68) φαίνεται πως και στην περίπτωση της αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό η σκληρότητα αυξάνεται ελαφρώς τις πρώτες ημέρες αποθήκευσης και στη συνέχεια μειώνεται. Μεγαλύτερη αύξηση φαίνεται να παρουσιάζουν τα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας. Τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα πατάτας φαίνεται να παρουσιάζουν την μεγαλύτερη μείωση στη σκληρότητα (F_{cutting} : 8,504 – 7,531) χωρίς ωστόσο να θεωρείται σημαντική. Επιπλέον, και στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία φαίνεται να επιβεβαιώνεται το γεγονός πως η ώσμωση προκαλεί αύξηση στη σκληρότητα των δειγμάτων και ιδίως στα δείγματα που προ-επεξεργάζονται με ΠΗΠ.

6.6.3 Μικροβιακή ανάπτυξη και μέτρηση μεταβολής pH

Κατά την αποθήκευση σε υπό κενό συσκευασία (vacuum) στους 4 °C γίνεται μικροβιακή ανάλυση ακριβώς για τους ίδιους μικροοργανισμούς που μελετώνται και στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Ομοίως, χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα υποστρώματα που αναφέρονται στην Ενότητα 5.3.14.

Ολικό αερόβιο μικροβιακό φορτίο

Οι αποικίες των ολικών αερόβιων μικροοργανισμών αναπτύσσονται στα υποστρώματα PCA όπως έχει αναλυθεί. Για τα δείγματα που ερευνήθηκαν προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.69).

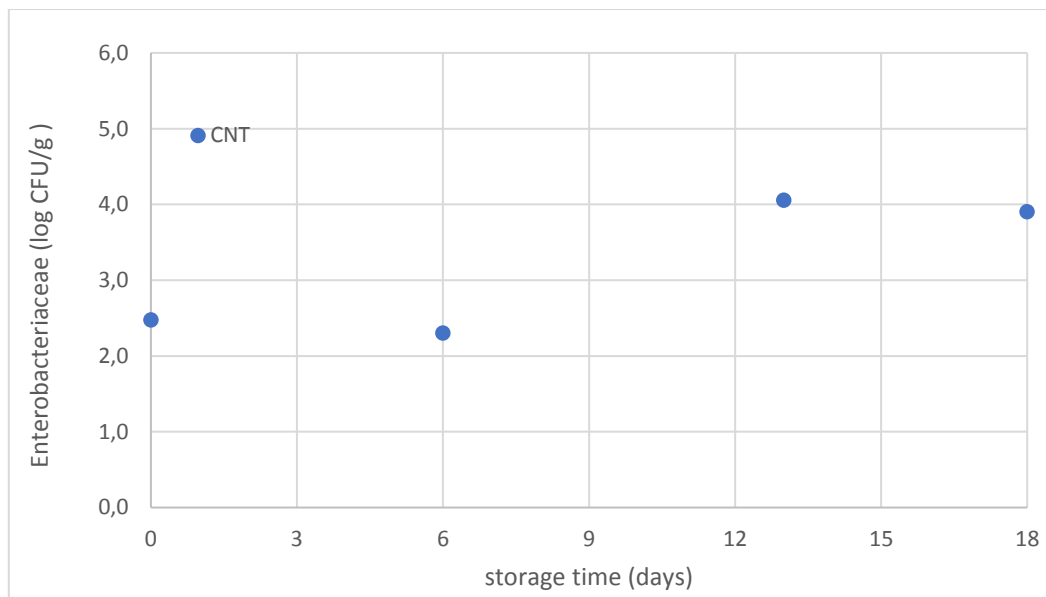


Διάγραμμα 6.69: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αερόβιων μικροοργανισμών σε μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσμημένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμημένα δείγματα αποθηκευμένα σε συσκευασία υπό κενό (Vacuum)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Διάγραμμα 6.69) συμπεραίνεται το γεγονός πως δεν υφίσταται πρακτικά μικροβιακή ανάπτυξη στα επεξεργασμένα δείγματα κατά την διάρκεια αποθήκευσης σε συσκευασία vacuum. Για τα μη επεξεργασμένα δείγματα παρατηρείται μια αυξημένη τιμή μικροβιακού φορτίου η οποία ωστόσο φαίνεται να διατηρείται σταθερή για τις πρώτες δύο εβδομάδες. Στη συνέχεια, φαίνεται μια αύξηση στο μικροβιακό φορτίο. Γενικότερα και στις τρεις περιπτώσεις δειγμάτων οι ολικοί αερόβιοι μικροοργανισμοί φαίνεται να βρίσκονται σε λανθάνουσα φάση και στα μη επεξεργασμένα δείγματα να αναπτύσσονται μετά την 13^η ημέρα.

Εντεροβακτήρια

Για τη μέτρηση των εντεροβακτηρίων χρησιμοποιείται το υπόστρωμα VRBG όπως έχει αναλυθεί. Στην περίπτωση των επεξεργασμένων δειγμάτων (OD & OD-PEF) κατά την διάρκεια των 18 ημερών της αποθήκευσης δεν παρουσιάστηκαν αποικίες εντεροβακτηρίων στα τρυβλία και συνεπώς δεν είχαν μικροβιολογική ανάπτυξη. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω αφορούν μόνο τα μη επεξεργασμένα δείγματα (CNT) (Διάγραμμα 6.70).

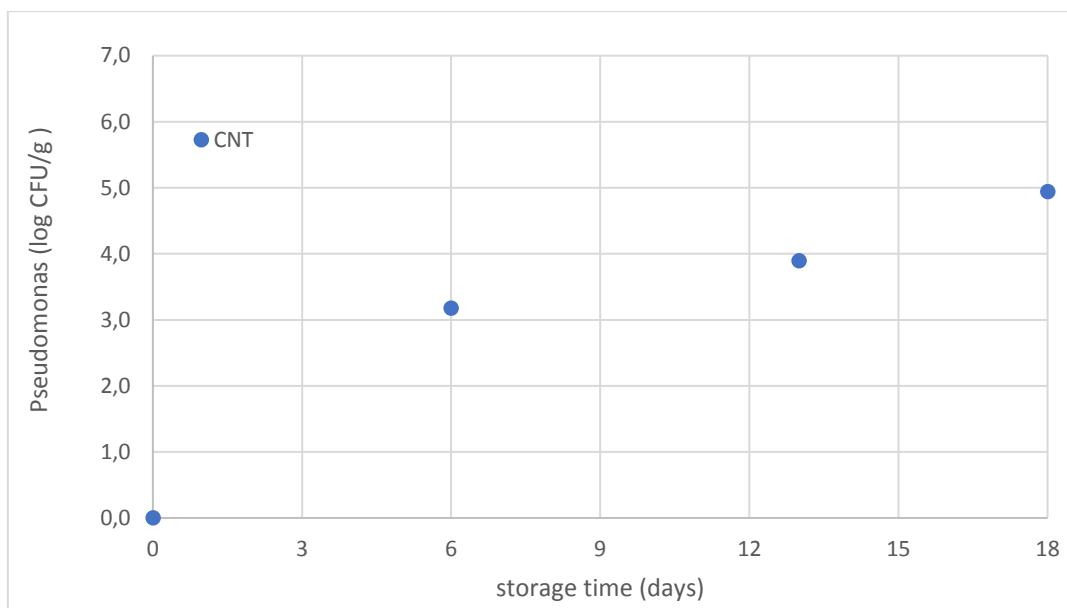


Διάγραμμα 6.70: Μικροβιακή ανάπτυξη εντεροβακτηρίων σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε συσκευασία υπό κενό (Vacuum)

Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.70) φαίνεται να υπάρχει μια αύξηση στο μικροβιακό φορτίο των εντεροβακτηρίων μετά τις 6 ημέρες και στη συνέχεια να διατηρείται σταθερό. Συγκριτικά με τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας οι τιμές του φορτίου είναι ελαφρώς χαμηλότερες στην ίδια θερμοκρασία αποθήκευσης (Διάγραμμα 6.29). Ωστόσο, είναι πολύ διαφορετικός και ο χρόνος αποθήκευσης (5 ημέρες) γεγονός που υποδεικνύει πως η συσκευασία υπό κενό δεν ευνοεί ιδιαίτερα την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Ψευδομονάδες

Για την μέτρηση των αποικιών των ψευδομονάδων χρησιμοποιείται το υπόστρωμα CFC όπως έχει αναλυθεί. Στην περίπτωση των συγκεκριμένων μικροοργανισμών δεν παρατηρήθηκε ανάπτυξη στα επεξεργασμένα δείγματα (OD & OD-PEF) κατά το διάστημα της αποθήκευσης των 18 ημερών. Επομένως, παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μη επεξεργασμένων δειγμάτων κατά την αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό (Διάγραμμα 6.71).



Διάγραμμα 6.71: Μικροβιακή ανάπτυξη ψευδομονάδων σε μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας αποθηκευμένα σε συσκευασία υπό κενό (*Vacuum*)

Από το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.71) παρατηρείται πως η ανάπτυξη των ψευδομονάδων έως τις πρώτες 6 ημέρες παρουσιάζει αυξημένο ρυθμό. Στη συνέχεια συνεχίζεται η ανάπτυξη με μικρότερο ρυθμό όμως. Τα μη επεξεργασμένα δείγματα σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε θερμοκρασία αποθήκευσης 4 °C στις 5 ημέρες παρουσιάζουν τιμή φορτίου ψευδομονάδων logCFU/g = 4,21 (Διάγραμμα 6.36) ενώ στις 6 ημέρες σε συσκευασία υπό κενό logCFU/g = 3,18 (Διάγραμμα 6.75). Και στην περίπτωση των ψευδομονάδων φαίνεται πως η συσκευασία υπό κενό δεν ενισχύει τη μικροβιακή ανάπτυξη.

Ζύμες & Μύκητες

Για τη μέτρηση των ζυμών και μυκήτων χρησιμοποιείται το υπόστρωμα RBC όπως έχει αναλυθεί. Κατά την διάρκεια αποθήκευσης των δειγμάτων σε συσκευασία υπό κενό, τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα δεν παρουσίασαν ανάπτυξη των συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Επομένως, η ανάλυση πραγματοποιείται για τα μη επεξεργασμένα δείγματα και για τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα (Πίνακας 6.32-6.33).

Πίνακας 6.32: Τιμές μικροβιακού φορτίου *N* (logCFU/g) ανά δειγματοληψία για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας σε θερμοκρασία αποθήκευσης 4 °C σε συσκευασία υπό κενό (*Vacuum*)

Time (days)	N (logCFU/g)
0	N.D.
6	N.D.
11	2,00
18	2,48

N.D.: NOT DETECTED

Πίνακας 6.33: Τιμές μικροβιακού φορτίου N (logCFU/g) ανά δειγματοληψία για ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας σε θερμοκρασία αποθήκευσης 4 °C σε συσκευασία υπό κενό (Vacuum)

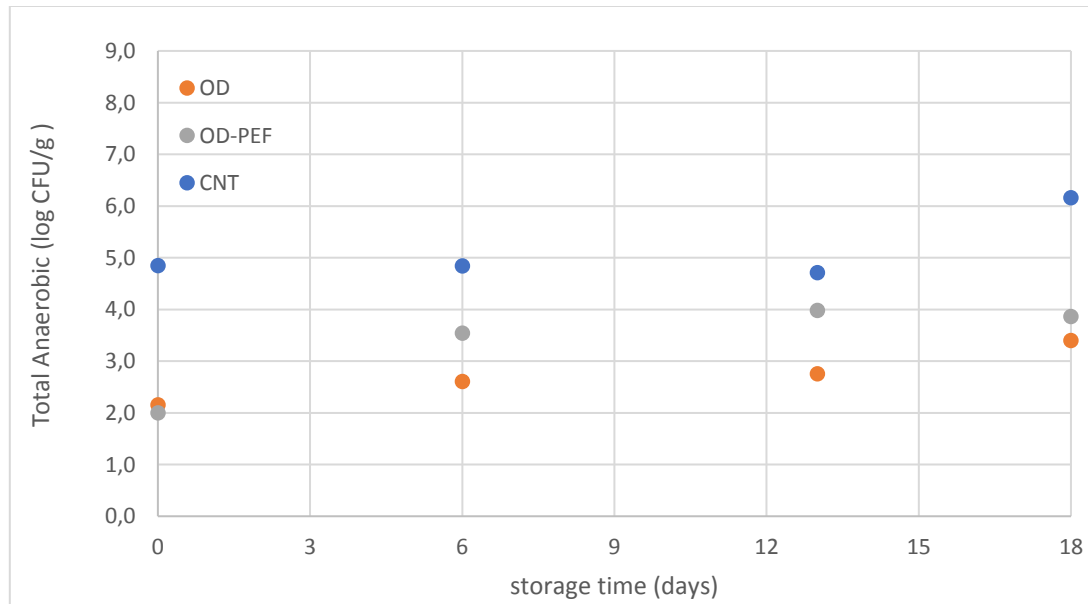
Time (days)	N (logCFU/g)
0	N.D.
6	2,70
11	2,75
18	2,93

N.D.: NOT DETECTED

Τα παραπάνω αποτελέσματα (Πίνακας 6.32-6.33) δείχνουν μια μικρή αύξηση στο μικροβιακό φορτίο κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Στα μη επεξεργασμένα δείγματα η αύξηση αυτή φαίνεται να είναι μικρότερη από ότι στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην οποία σε 5 ημέρες το φορτίο είχε τιμή logCFU = 2,83. Σημαντική παρατήρηση είναι η ύπαρξη ζυμών και μυκήτων στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα. Η αύξηση είναι μεγαλύτερη από ότι στα μη επεξεργασμένα δείγματα ενώ στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας δεν παρατηρήθηκε ανάπτυξη των συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Φαίνεται πως για το συγκεκριμένο δείγμα η συσκευασία υπό κενό ευνοεί μερικώς την ανάπτυξη του μικροβιακού φορτίου των ζυμών και μυκήτων χωρίς ωστόσο να παρατηρείται πολύ μεγάλη αύξηση.

Ολικό αναερόβιο μικροβιακό φορτίο

Για τη μέτρηση των αναερόβιων μικροοργανισμών χρησιμοποιείται το υπόστρωμα SPS όπως έχει αναλυθεί στην Ενότητα 5.3.14. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως έχουν επεξεργαστεί παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.72).



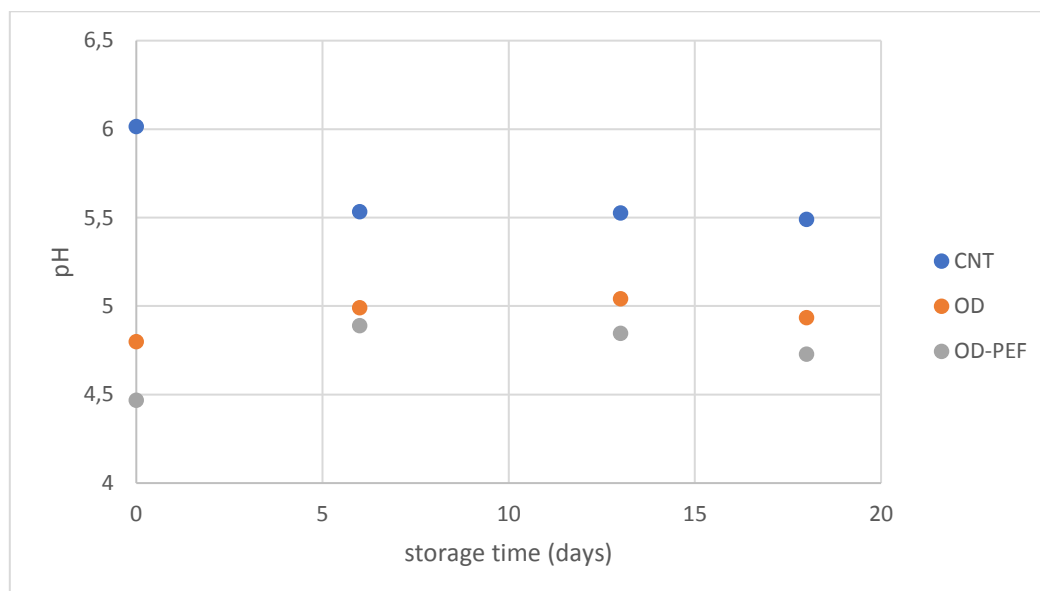
Διάγραμμα 6.72: Μικροβιακή ανάπτυξη ολικών αναερόβιων μικροοργανισμών σε μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσσωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα αποθηκευμένα σε συσκευασία υπό κενό (Vacuum)

Από το παραπάνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.72) φαίνεται πως στην περίπτωση των αναερόβιων μικροοργανισμών υπάρχει μικροβιακή ανάπτυξη σε όλα τα δείγματα. Ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση τα μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας παρουσιάζουν εμφανώς μεγαλύτερο φορτίο σε σχέση με τα επεξεργασμένα. Η συσκευασία υπό κενό φαίνεται να μην

ενισχύει το φαινόμενο της μικροβιακής αλλοίωσης και για το αναερόβιο φορτίο σε σχέση με την τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η τιμή του φορτίου για τα μη επεξεργασμένα δείγματα (CNT) ενδεικτικά στις 6 ημέρες είναι $N = 4,84 \log CFU$ για τη συσκευασία Vacuum ενώ στις 5 ημέρες $N = 5,85 \log CFU$ (Διάγραμμα 6.36) για τη συσκευασία MAP. Αντίστοιχα, τα επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα (OD) φαίνεται να παρουσιάζουν μικρότερες τιμές φορτίου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης σε Vacuum συσκευασία (Διάγραμμα 6.72) από ότι σε MAP (Διάγραμμα 6.46). Μικρή διαφορά φαίνεται να παρουσιάζεται στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα (OD-PEF) όπου και η μικροβιακή αύξηση στη συσκευασία υπό κενό (Διάγραμμα 6.72) είναι σχετικά πιο υψηλή σε σχέση με τη συσκευασία MAP (Διάγραμμα 6.59).

Μελέτη μεταβολής pH

Και στην περίπτωση της συσκευασία υπό κενό, η μελέτη του pH είναι ύψιστης σημασίας για την ένδειξη της μικροβιακής ανάπτυξης των δειγμάτων. Παρακάτω, παρατίθενται τα αντίστοιχα αποτελέσματα όπως προκύπτουν από την ανάλυση (Διάγραμμα 6.73).



Διάγραμμα 6.73: Μεταβολή pH κατά την αποθήκευση των μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσμομένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμομένων δειγμάτων αποθηκευμένα σε συσκευασία υπό κενό (Vacuum)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα για την τιμή του pH των δειγμάτων (Διάγραμμα 6.73) φαίνεται τα επεξεργασμένα δείγματα να παρουσιάζουν πιο μειωμένη αύξηση. Αυτό επιβεβαιώνει και το χαμηλότερο μικροβιακό φορτίο που αναπτύσσεται στα συγκεκριμένα δείγματα σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα. Το pH των μη επεξεργασμένων δειγμάτων φαίνεται να μειώνεται σε σχέση με την πρώτη μέτρηση και να σταθεροποιείται. Το μικροβιακό φορτίο των συγκεκριμένων δειγμάτων σύμφωνα με τις προηγούμενες αναλύσεις ήταν αυξητικό χωρίς ωστόσο να λαμβάνει υψηλές τιμές. Η αυξητική τάση του pH ενδεχομένως να οφείλεται στην ήπια ανάπτυξη του μικροβιακού φορτίου των δειγμάτων. Για τα επεξεργασμένα δείγματα η τιμή του pH φαίνεται να έχει αυξητική τάση με μεγαλύτερες τιμές στα επεξεργασμένα-ωσμομένα δείγματα (OD).

6.6.4 Οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό πραγματοποιήθηκε οργανοληπτικός έλεγχος και αξιολόγηση στα ωμά προϊόντα. Εξετάστηκαν ποιοτικά χαρακτηριστικά των φρεσκοκομμένων δειγμάτων πατάτας που αφορούν την εμφάνιση, την οσμή και την υφή τους. Συμμετείχαν 5 άτομα από το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ για την βαθμολόγηση των ωμών προϊόντων. Η αξιολόγηση που αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά (την εμφάνιση, την οσμή και το χρώμα) βαθμολογείται από 1: καθόλου ένταση έως 9: πολύ υψηλή ένταση. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε στους χρόνους που γινόταν δειγματοληψία (0,6,13 και 18 ημέρες). Τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά παρουσιάζονται σε αραχνοειδή διαγράμματα για τη βέλτιστη παρατήρηση της μεταβολής των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών των προϊόντων.

Δείγμα 1 [Μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας (CNT)]



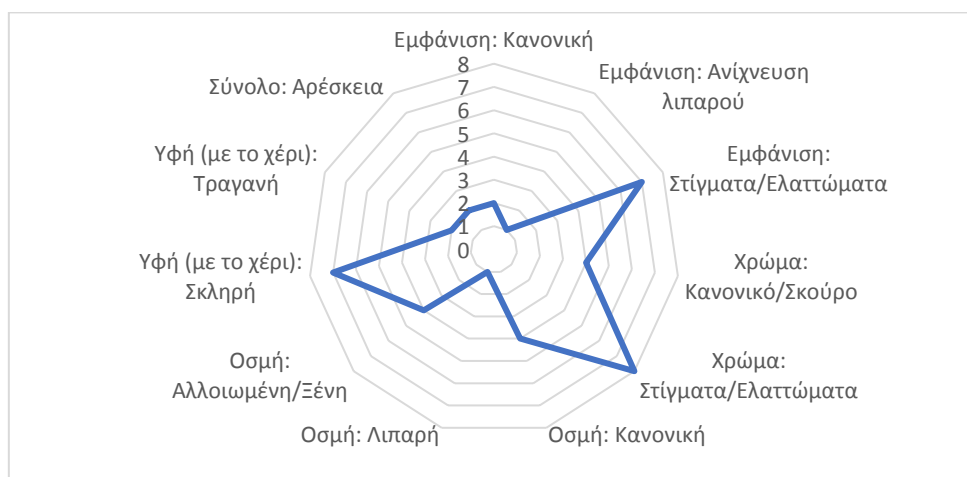
Διάγραμμα 6.74: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων (Ημέρα 0)



Διάγραμμα 6.75: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων (Ημέρα 6)



Διάγραμμα 6.76: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων (Ημέρα 13)



Διάγραμμα 6.77: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων (Ημέρα 18)

Βάσει των αραχοδιαγραμμάτων (Διάγραμμα 6.74-6.77) παρατηρείται πως τα μη επεξεργασμένα δείγματα απορρίπτονται οργανοληπτικά την 13^η ημέρα εφόσον στην αρέσκεια λαμβάνουν βαθμολογία μόλις 4/9. Παρόλα αυτά, ήδη φαίνεται πως από την 6^η μέρα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων έχουν αλλοιωθεί γεγονός που παρατηρείται και οπτικά (Εικόνα 6.12). Επιπλέον, η υφή των δειγμάτων οπτικά έχει μεταβληθεί σε μεγάλο βαθμό καθώς σύμφωνα με σχόλια των βαθμολογητών τα δείγματα παρουσιάζονται «ξερά» και δεν προδιαθέτουν μια ασφαλή κατανάλωση. Επιπλέον, συγκριτικά με τη συσκευασία MAP παρατηρείται μια ανάπτυξη μυρωδιάς που παρουσιάζεται ήδη από την 6^η μέρα σύμφωνα με τη βαθμολογία. Αντίθετα, η συσκευασία MAP την 3^η ημέρα στα χαρακτηριστικά της οσμής (Αλλοιωμένη/Ξένη) λαμβάνει βαθμολογία 1/9. Πράγματι, βιβλιογραφικά έχει αποδειχθεί πως σε συσκευασία υπό κενό τα φρεσκοκομμένα δείγματα πατάτας παράγουν πιο έντονο άρωμα αλλοίωσης σε σχέση με τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Jiang et al., 2023).

Δείγμα 2 [Επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας (OD)]



Διάγραμμα 6.78: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων (Ημέρα 0)



Διάγραμμα 6.79: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων (Ημέρα 6)



Διάγραμμα 6.80: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων (Ημέρα 13)



Διάγραμμα 6.81: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων (Ημέρα 18)

Σύμφωνα με το αραχνοδιάγραμμα (Διάγραμμα 6.81) τα επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα την 18^η ημέρα κρίθηκαν οριακά αποδεκτά με βαθμολογία 5/9 στην αρέσκεια. Σε αυτή την περίπτωση οι βαθμολογητές σχολίασαν την έντονη οσμή των προϊόντων με αρνητικά σχόλια (Αλλοιωμένη/Ξένη: 7). Σε θέμα εμφάνισης, με την πάροδο του χρόνου φαίνεται να αυξανόταν η ανίχνευση λιπαρού υγρού στη συσκευασία (ανίχνευση λιπαρού). Πρόκειται για τον ωσμωτικό παράγοντα που χρησιμοποιείται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και είναι η γλυκερόλη η οποία προφανώς εξέρχεται από το δείγμα. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να διακριθεί και οπτικά στις Εικόνες 6.11-6.14 για τα επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα αλλά και για τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα. Την τελευταία μέρα της πειραματικής αξιολόγησης το ωσμωνένο προϊόν λαμβάνει χαμηλή βαθμολογία και παρόλο που θεωρείται αποδεκτό οργανοληπτικά δε θα μπορούσε να καταναλωθεί χωρίς σκέψη.

Δείγμα 3 [ΠΗΠ-Επεξεργασμένα-ωσμωνένια δείγματα πατάτας (OD-PEF)]



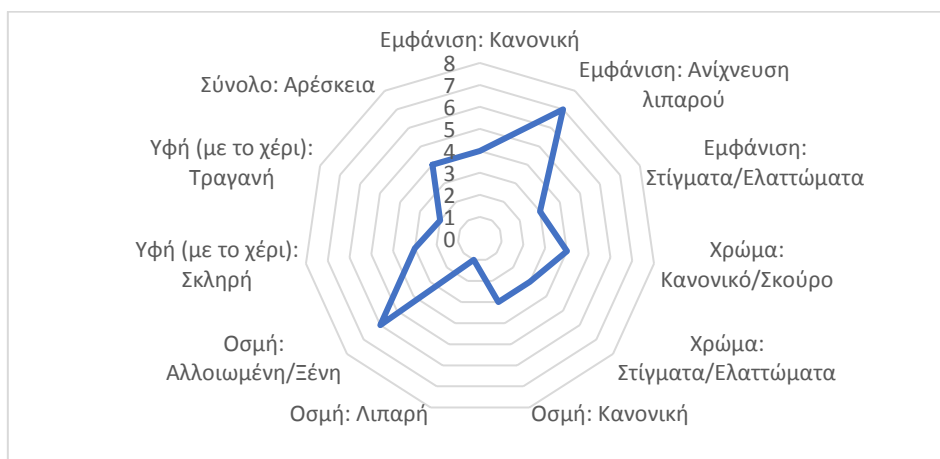
Διάγραμμα 6.82: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων (Ημέρα 0)



Διάγραμμα 6.83: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων (Ημέρα 6)



Διάγραμμα 6.84: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων (Ημέρα 13)



Διάγραμμα 6.85: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων (Ημέρα 18)

Από το παραπάνω αραχνοδιάγραμμα (Διάγραμμα 6.85) φαίνεται πως τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα πατάτας απορρίπτονται οργανοληπτικά την 18^η ημέρα. Η αιτία απόρριψης είναι η μυρωδιά που έχουν τα δείγματα καθώς και η εμφάνισή τους, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τις βαθμολογίες (Αλλοιωμένη/Ξένη: 6 και Ανίχνευση λιπαρού: 7). Και στην περίπτωση των OD-PEF δειγμάτων οι βαθμολογητές σχολίασαν την

περίεργη οσμή καθώς και την ύπαρξη πολλών υγρών εντός της συσκευασίας. Πρόκειται προφανώς και σε αυτή την περίπτωση για τη γλυκερόλη η οποία φαίνεται πως με την πάροδο του χρόνου και τη συμπίεση της συσκευασίας εξέρχεται από το ωσμωμένο προϊόν. Η οσμή όπως παρατηρείται από τα Διαγράμματα (Διάγραμμα 6.82-6.85) λάμβανε υψηλή βαθμολογία στην κατηγορία Αλλοιωμένη/Ξένη ήδη από την 6^η μέρα της πειραματικής διαδικασίας. Στην 18^η ημέρα μάλιστα στην κατηγορία Κανονική βαθμολογήθηκε συνολικά με μόλις 3/9. Λόγω αυτών, απορρίπτεται την 18^η καθώς θεωρήθηκε οριακά αποδεκτή αλλά σε συνδυασμό με την ύπαρξη υγρού περιεχομένου το προϊόν κρίθηκε μη επιθυμητό προς κατανάλωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με την πειραματική διαδικασία και τα αποτελέσματα που εξάγονται προκύπτουν πολλά συμπεράσματα. Όπως αναλύθηκε, η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά στη μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης φρεσκοκομμένης πατάτας (με ή χωρίς προεπεξεργασία με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία), το δεύτερο στη θερμική επεξεργασία (τηγάνισμα) των προϊόντων πατάτας και την οργανοληπτική αξιολόγηση και το τρίτο στην εκτίμηση της διάρκειας ζωής των προϊόντων καθώς και τη μεταβολή των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Επομένως, τα συμπεράσματα μπορούν να συνοψιστούν σε τρεις ενότητες που αφορούν στο κάθε μέρος του πειράματος και σε μία τέταρτη που να συνοψίζει τις προτάσεις με θέματα που μπορούν να ερευνηθούν.

A) Μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης μελετήθηκαν παράμετροι που αφορούν το χρώμα, την υφή, την ενεργότητα του νερού, την απώλεια νερού και την πρόσληψη ολικών στερεών. Η ωσμωτική αφυδάτωση επιλέγεται να πραγματοποιηθεί στους 35 °C, με ήπια ανάδευση. Η κινητική μελέτη διαρκεί συνολικά 3h και ερευνώνται ωσμωτικά διαλύματα με ίδιο ωσμωτικό παράγοντα (γλυκερόλη) αλλά σε διαφορετικές αναλογίες (10%,20% και 30%). Η αναλογία ωσμωτικού διαλύματος - τροφίμου είναι 5:1. Βάσει των αποτελεσμάτων για τα ωσμωτικά διαλύματα που ερευνήθηκαν συμπεραίνονται ότι η ωσμωτική αφυδάτωση φαίνεται να προσδίδει στα προϊόντα ένα πιο ανοιχτό χρώμα. Συγκεκριμένα, μειώνεται ο δείκτης αμαύρωσης (BI) κατά την διάρκεια της επεξεργασίας λόγω μεταφοράς ουσιών από και προς το δείγμα. Το ποσοστό μείωσης του δείκτη αμαύρωσης κυμαίνεται στο 43% της αρχικής τιμής για τα ωσμωμένα δείγματα. Επιπλέον, κατά την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης η σκληρότητα των δειγμάτων αυξάνεται. Αυτό πραγματοποιείται επειδή μεταφέρεται στο δείγμα από το ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλη. Συγκεκριμένα, η αύξηση της σκληρότητας είναι 3,2% για τα δείγματα που ωσμώνονται με 10% γλυκερόλη, 12,2% για 20% γλυκερόλη και 13,6% για 30% γλυκερόλη. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα της τιμής ενεργότητας νερού, πρόσληψης ολικών στερεών και απώλειας νερού για τα τρία ωσμωτικά διαλύματα που εξετάστηκαν στις 2 ώρες ώσμωσης που θεωρήθηκε βέλτιστη συνθήκη (Πίνακας 7.1).

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα ενεργότητας νερού, πρόσληψης ολικών στερεών και απώλειας νερού για μη επεξεργασμένα δείγματα πατάτας με ωσμωτικά διαλύματα με 10%, 20% και 30% γλυκερόλη, 84%, 74% και 64% νερό, 5% χλωριούχο νάτριο και 1% ασκορβικό οξύ στις 2h ωσμωτικής αφυδάτωσης (Average value $\pm$ STDEV)

Ωσμωτικό διάλυμα (Συγκέντρωση γλυκερόλης, Gly % w/w)	Ενεργότητα νερού δείγματος (a_w)	Πρόσληψη ολικών στερεών- SG (g στερεών/ g ξηρού στερεού)	Απώλεια νερού-WL (g νερού/ g ξηρού στερεού μη ωσμωμένο)
10% Gly	0,9600 ($\pm$ 0,0087)	0,55 ($\pm$ 0,32)	2,09 ($\pm$ 0,76)
20% Gly	0,9462 ($\pm$ 0,0004)	0,88 ($\pm$ 0,14)	2,11 ($\pm$ 0,29)
30% Gly	0,9297 ($\pm$ 0,0099)	1,12 ($\pm$ 0,22)	2,74 ($\pm$ 0,31)

Φαίνεται πως η αύξηση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα οδηγεί σε ένα μη γευστικό αποτέλεσμα κατά το τηγάνισμα και για το λόγο αυτό το διάλυμα με 30% γλυκερόλη απορρίπτεται.

Επίδραση Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ)

Η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ στη φρεσκοκομμένη πατάτα επηρεάζει τη χρωματική αλλαγή κατά την ωσμωτική αφυδάτωση καθώς ομοίως παρατηρείται μείωση του δείκτη αμαύρωσης (BI). Συγκεκριμένα, στις 3h ώσμωσης η τιμή του δείκτη αμαύρωσης εμφανίζει μείωση 58% (10%-PEF) και 42,3% (20%-PEF). Η υφή παρουσιάζει αυξημένη σκληρότητα στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα σε σχέση με τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα. Συγκεκριμένα, φαίνεται μια αύξηση 47% για το δείγμα που ωσμώνεται με 10% γλυκερόλη και 30% για το δείγμα που ωσμώνεται με 20% γλυκερόλη. Τα αποτελέσματα για την ενεργότητα του νερού, την πρόσληψη ολικών στερεών, την απώλεια νερού καθώς και τους αντίστοιχους ρυθμούς που εξήχθησαν από μαθηματική μοντελοποίηση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.2) ομοίως για 2 h ώσμωσης.

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα ενεργότητας νερού, πρόσληψης ολικών στερεών και απώλειας νερού για προεπεξεργασμένα με ΠΗΠ δείγματα πατάτας με ωσμωτικά διαλύματα με 10% και 20% γλυκερόλη, 84% και 74% νερό, 5% χλωριούχο νάτριο και 1% ασκορβικό οξύ στις 2h ωσμωτικής αφυδάτωσης (Average value $\pm$ STDEV)

Ωσμωτικό διάλυμα (Συγκέντρωση γλυκερόλης, Gly % w/w)	Ενεργότητα νερού δείγματος (a_w)	Πρόσληψη ολικών στερεών- SG (g στερεών/ g ξηρού στερεού)	Απώλεια νερού- WL (g νερού/ g ξηρού στερεού μη ωσμωνμένο)
10%	0,9761 ($\pm$ 0,0101)	3,81 ($\pm$ 0,21)	6,06 ($\pm$ 0,54)
20%	0,9500 ($\pm$ 0,0019)	4,23 ($\pm$ 0,22)	6,54 ($\pm$ 0,21)

Παρατηρείται πολύ μεγάλη αύξηση στον αριθμό των προσληφθέντων ολικών στερεών όπως και στην απώλεια υγρασίας. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την προεπεξεργασία με ΠΗΠ τα δείγματα παραμένουν σε νερό αποκτώντας κατά αυτό τον τρόπο μια πολύ υψηλή τιμή αρχικής υγρασίας. Με την εμβάπτιση τους στο ωσμωτικό διάλυμα πραγματοποιείται απότομη μεταβολή των χαρακτηριστικών αυτών καθώς αλλάζει σε μεγάλο βαθμό η ισορροπία.

Η πρόσληψη γλυκερόλης από το ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να ευνοείται στην περίπτωση των προεπεξεργασμένων δειγμάτων. Σχετικά με το χλωριούχο νάτριο και το ασκορβικό οξύ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Όλα τα συστατικά που προσλαμβάνονται από τα προϊόντα πατάτας τίθενται εντός νομοθετικού πλαισίου.

Β) Θερμική επεξεργασία τηγανίσματος-Οργανοληπτική αξιολόγηση

Στην διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας μελετήθηκαν η πρόσληψη ελαίου, η ποιοτική υποβάθμιση του ελαίου και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τηγανισμένων δειγμάτων (υφή και υγρασία). Βάσει των αποτελεσμάτων συμπεραίνεται ότι η επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιδρά στην πρόσληψη ελαίου κατά το τηγάνισμα με εμβάπτιση. Συγκεκριμένα, τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα παρουσιάζουν πολύ μικρότερα ποσοστά πρόσληψης ελαίου κατά τη θερμική κατεργασία σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες % ελαίου στα δείγματα στα 10 min τηγανίσματος καθώς και ο ρυθμός πρόσληψης ελαίου μέσω της μαθηματικής μοντελοποίησης (Πίνακας 7.3).

Πίνακας 7.3: Η % περιεκτικότητα σε λιπαρά στα 10 min τηγανίσματος (Average value $\pm$ STDEV) και ο ρυθμός πρόσληψης ελαίου για μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσσωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα πατάτας

Δείγμα	% περιεκτικότητα σε λιπαρά	Ρυθμός πρόσληψης ελαίου – k (min ⁻¹)
CNT	13,36 ($\pm$ 0,31)	0,199
10%	8,77 ($\pm$ 0,42)	0,177
20%	7,95 ($\pm$ 0,30)	0,182
10%-PEF	8,76 ($\pm$ 0,43)	0,174
20%-PEF	8,47 ($\pm$ 0,29)	0,142

Άρα, η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνοντας την ενεργότητα του νερού και επομένως το περιεχόμενο νερό φαίνεται να εμποδίζει το έλαιο να εισχωρήσει στο προϊόν. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται προϊόντα με περιεκτικότητα σε χαμηλά λιπαρά. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε και για την ποιοτική υποβάθμιση του ελαίου κατά το τηγάνισμα. Η έρευνα επικεντρώθηκε στο απορροφημένο έλαιο της πατάτας όπου λαμβάνεται μέσω εκχύλισης αλλά και στο έλαιο της φριτέζας. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των πρωτογενών και δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης μεταξύ των επεξεργασμένων-ωσσωμένων, ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων και μη επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας δεδομένου ότι βρέθηκε στατιστικά τιμή $p < 0,05$.

Στην διαδικασία του τηγανίσματος μελετήθηκαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τηγανισμένων προϊόντων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση υφής για τη μέτρηση της σκληρότητας των δειγμάτων με το αποτέλεσμα να δείχνει πως πιο σκληρά δείγματα είναι τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα με τιμές για 10%-PEF: $F = 9,51$ N και για 20%-PEF: $F = 9,92$ N. Τα φαινόμενα μεταφοράς κατά την ωσμωτική διαδικασία είναι πιο ενισχυμένα στην περίπτωση των δειγμάτων που έχουν υποστεί προ-επεξεργασία με ΠΗΠ (Ade-Omowaye et al., 2001). Επομένως, η απορρόφηση γλυκερόλης ενισχύεται στο προ-επεξεργασμένο δείγμα και με αυτό τον τρόπο το δείγμα αποκτά πιο σκληρή και κολλώδη υφή. Επιπλέον, η αύξηση του ωσμωτικού παράγοντα επηρεάζει την τελική σκληρότητα εφόσον ομοίως με την αύξηση της γλυκερόλης αυξάνεται και η τελική σκληρότητα. Φαίνεται πως τα χαρακτηριστικά της υφής όπως προκύπτουν από τη μελέτη των φρεσκοκομμένων ωμών προϊόντων κατά την ωσμωτική αφυδάτωση έχουν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα και στα τηγανισμένα προϊόντα. Δηλαδή φαίνεται πως η θερμική επεξεργασία τηγανίσματος δεν προσδίδει στο τελικό αποτέλεσμα κάποιο διαφορετικό χαρακτηριστικό σχετικά με τη σκληρότητα. Επιπλέον, ομοίως φαίνεται η διαφορά με τα μη επεξεργασμένα δείγματα ($F = 5,42$ N) ακριβώς όπως και κατά την διαδικασία της ώσμωσης. Σχετικά με την υγρασία, τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα παρουσιάζουν τιμές μικρότερες από τα μη επεξεργασμένα δείγματα ενώ τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα εμφανίζουν μεγαλύτερη τιμή υγρασίας από τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα. Ενδεικτικά, τα μη επεξεργασμένα έχουν 41,35% υγρασία, τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα 17,78% (10%) και 24,94% (20%) και τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα 34,89% (10%-PEF) και 29,89% (20%-PEF). Τέλος, σε οργανοληπτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε η βαθμολόγηση των τηγανισμένων δειγμάτων ανέδειξε πρώτο στη βαθμολογία το μη επεξεργασμένο δείγμα όπως ήταν αναμενόμενο, με συνολική βαθμολογία αρέσκειας 7,7/9 και δεύτερο το επεξεργασμένο-ωσσωμένο δείγμα με 20% γλυκερόλη με βαθμολογία αρέσκειας 7,1/9. Στη συνέχεια ακολούθησαν τα δείγματα επεξεργασμένων-ωσσωμένων με 10% γλυκερόλη πατατών με βαθμολογία 6,9/9, οι ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσσωμένες με 10% γλυκερόλη πατάτες με

βαθμολογία 6,2/9 και τέλος οι ΠΗΠ-επεξεργασμένες-ωσμωμένες με 20% γλυκερόλη πατάτες με βαθμολογία 5,7/9. Κύρια χαρακτηριστικά που συνέβαλαν στην μειωμένη βαθμολογία των επεξεργασμένων δειγμάτων αφορούν τη σκληρότητα (απορρόφηση γλυκερόλης από το ωσμωτικό διάλυμα που καθιστά το δείγμα πιο σκληρό), την υφή (κολλώδης υφή εξαιτίας της γλυκερόλης) και τη γεύση (γλυκιά στην περίπτωση που πραγματοποιήθηκε ώσμωση με 20% γλυκερόλη και αλμυρή στα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση σε διάλυμα με 10% γλυκερόλη). Όλα τα δείγματα θεωρήθηκαν οργανοληπτικά αποδεκτά.

Γ) Διατηρησιμότητα & ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων

Τα μη επεξεργασμένα, επεξεργασμένα-ωσμωμένα και ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα (ώσμωση με διάλυμα συγκέντρωσης 20% γλυκερόλη) αποθηκεύονται σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (0,188% O₂ και 12,2% CO₂) στους 4,8 και 12 °C. Για τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας το πιο σημαντικό συμπέρασμα που εξάγεται αφορά την διάρκεια ζωής. Τα μη επεξεργασμένα δείγματα απορρίπτονται οργανοληπτικά ήδη από την 3^η ημέρα της αποθήκευσής τους καθώς οι δείκτες ποιότητας δεν λαμβάνουν υψηλή βαθμολογία και η μικροβιακή ανάπτυξη παρουσιάζει αυξημένο ρυθμό. Παρατηρούνται αλλοιώσεις στο χρώμα αλλά και στην υφή που δεν επέτρεπαν την περαιτέρω δοκιμή των δειγμάτων. Τα επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα και τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωμένα δείγματα απορρίπτονται στις δύο εβδομάδες λόγω οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Επομένως, η ωσμωτική αφυδάτωση σαν διαδικασία μείωσης ενεργότητας νερού και κατ'επέκταση μείωσης μικροβιολογικής ανάπτυξης επιτυγχάνει ένα αρκετά αξιόλογο αποτέλεσμα στα προϊόντα πατάτας. Πιο αναλυτικά, τα μη επεξεργασμένα δείγματα παρουσιάζουν αύξηση στον δείκτη αμαύρωσης (BI) για τη μεγαλύτερη θερμοκρασία αποθήκευσης (12 °C) από 18,23 σε 24,83 δηλαδή μια αύξηση 26%. Στις υπόλοιπες θερμοκρασίες παρατηρούνται διαφορές αύξησης του BI της τάξεως του 21% για τους 4 °C και 22% για τους 8 °C. Επιπλέον, η σκληρότητα που εκφράζεται από τη δύναμη κοψίματος για τη μεγαλύτερη θερμοκρασία μειώνεται από 5,072 N σε 4,502 N που δείχνει πως τα μη επεξεργασμένα δείγματα κατά την αποθήκευση αποκτούν ελαφρώς πιο μαλακή υφή. Στους 4 °C αντίθετα παρουσιάζει μικρή αύξηση (5,072 N σε 6,37 N) ενώ στους 8 °C ελάχιστη μείωση (από 5,072 N σε 5,306 N). Στη συσκευασία που μελετάται φαίνεται να μειώνεται η περιεκτικότητα του οξυγόνου σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης και μάλιστα στους 12 °C την 5^η ημέρα να μηδενίζει. Το διοξείδιο του άνθρακα φαίνεται να διατηρείται σταθερό με μερική μείωση για όλες τις θερμοκρασίες. Τα αποτελέσματα για τη μικροβιακή ανάπτυξη παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες (Πίνακας 7.4-7.8).

Πίνακας 7.4: Μικροβιακό φορτίο (N) κατά την τελευταία δειγματοληψία (5^η ημέρα), ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης (μ_{max}) και λανθάνουσα φάση (lag phase) από το μοντέλο Baranyi για την ανάπτυξη του ολικού μικροβιακού φορτίου σε μη επεξεργασμένα δείγματα αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)	μ_{max} (d ⁻¹)	Lag phase (d)
4 °C	5,69	0,483	0,801
8 °C	6,89	0,718	0,293
12 °C	7,90	2,0626	1,267

Πίνακας 7.5: Μικροβιακό φορτίο (N) κατά την τελευταία δειγματοληψία (5^η ημέρα), ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης (μ_{max}) και λανθάνουσα φάση (lag phase) από το μοντέλο Baranyi για την ανάπτυξη των εντεροβακτηρίων σε μη επεξεργασμένα δείγματα αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)	μ_{max} (d ⁻¹)	Lag phase (d)
4 °C	5,09	0,734	2,593
8 °C	6,75	0,834	0,668
12 °C	7,95	1,106	-

Πίνακας 7.6: Μικροβιακό φορτίο (N) κατά την τελευταία δειγματοληψία (5^η ημέρα), ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης (μ_{max}) και λανθάνουσα φάση (lag phase) από το μοντέλο Baranyi για την ανάπτυξη του ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου σε μη επεξεργασμένα δείγματα αποθηκευμένα σε MAP συσκευασία

Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)	μ_{max} (d ⁻¹)	Lag phase (d)
4 °C	5,85	0,523	0,727
8 °C	7,38	0,975	0,703
12 °C	8,64	1,876	0,982

Πίνακας 7.7 & 7.8: Μικροβιακό φορτίο (N) για την ανάπτυξη των ψευδομονάδων (αριστερά) και των ζυμών και μυκητών (δεξιά) κατά την τελευταία δειγματοληψία (5^η ημέρα) μη επεξεργασμένων δειγμάτων αποθηκευμένων σε MAP συσκευασία

Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)	Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)
4 °C	4,21	4 °C	2,83
8 °C	4,51	8 °C	3,46
12 °C	4,54	12 °C	3,27

Δεδομένου ότι η μικροβιακή ανάπτυξη συνοδεύεται από μεταβολή pH, πραγματοποιείται μελέτη της παραμέτρου χωρίς οι τιμές να υφίστανται μεγάλες μεταβολές καθώς υπάρχει μικρή αύξηση (5,85-6,2). Τέλος, πραγματοποιείται οργανοληπτική αξιολόγηση όπου τα δείγματα αποκλείονται οργανοληπτικά την 3^η ημέρα λόγω εμφάνισης και δεδομένης της μικροβιακής ανάπτυξης. Παράλληλα, εξετάζονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και των τηγανισμένων προϊόντων με τη συνολική αρέσκεια να υφίσταται μεταβολή: 8,70-7,83/9 (4 °C), 8,70-7,03/9 (8 °C) και 8,70-6,83/9 (12 °C). Για την εύρεση του ρυθμού αλλοίωσης πραγματοποιείται γραμμική προσέγγιση της μείωσης της βαθμολογίας με τιμές 0,2767 d⁻¹ (4 °C), 0,5100 d⁻¹ (8 °C) και 0,6433 d⁻¹ (12 °C). Με εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius έπειτα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης με τιμή 69,44 kJ. Άρα, από τη μελέτη των μη επεξεργασμένων δειγμάτων γίνεται κατανοητό πως η θερμοκρασία αποθήκευσης επηρεάζει τα τελικά χαρακτηριστικά των προϊόντων καθώς και την διάρκεια ζωής τους. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί την μικροβιολογική ανάπτυξη όπως φαίνεται από τα τελικά αποτελέσματα μικροβιακού φορτίου και τους ρυθμούς ανάπτυξης. Επιπλέον, οργανοληπτικά τα τηγανισμένα δείγματα δε φαίνεται να έχουν μεγάλες διαφορές στην αρέσκεια παρόλα αυτά τη χαμηλότερη βαθμολογία τη λαμβάνει το δείγμα που αποθηκεύεται στους 12 °C.

Η μελέτη των επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων επικεντρώνεται ομοίως στους δείκτες ποιότητας και στην διάρκεια ζωής. Συγκεκριμένα, τα δείγματα αυτά απορρίπτονται την 15^η

ημέρα δηλαδή περίπου στις 2 εβδομάδες. Αναλυτικά, στη μεταβολή του χρώματος ο δείκτης αμαύρωσης μεταβάλλεται από 6,81 σε 10,66 στους 12 °C δηλαδή ένα ποσοστό αύξησης της τάξεως του 36%. Για τις υπόλοιπες θερμοκρασίες η μεταβολή του δείκτη BI είναι 24% για τους 4 °C (από 6,81 σε 8,97) και 20% για τους 8 °C (από 8,46 σε 6,81). Αντίστοιχα η υφή υφίσταται μεταβολή της τάξεως του 31% για τους 12 °C, 22% για τους 8 °C και 10% για τους 4 °C. Η μεταβολή αυτή οφείλεται σε αύξηση της σκληρότητας των δειγμάτων δεδομένου ότι αυξάνεται η τιμή της δύναμης που εξετάζεται. Επιπλέον, στη σύσταση της συσκευασίας που μελετάται παρατηρείται μια μικρή μείωση του οξυγόνου (από 0,188% σε 0,127%) στις πρώτες 12 ημέρες για τους 8 και 12 °C ενώ για τους 4 °C υπάρχει μια σταθερότητα και η μείωση φαίνεται να ξεκινάει μετά τις 15 ημέρες. Σχετικά με το διοξείδιο του άνθρακα φαίνεται να παρουσιάζεται επίσης πτωτική πορεία. Αναφορικά με τη μικροβιολογική ανάπτυξη των επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων, δε φαίνεται να αναπτύχθηκαν καθόλου κατά το διάστημα της αποθήκευσης εντεροβακτηρίων, ψευδομονάδων και ζύμες και μύκητες. Τα αποτελέσματα για την τελευταία δειγματοληψία παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 7.9-7.10).

Πίνακας 7.9 & 7.10: Μικροβιακό φορτίο (N) για την ανάπτυξη του ολικού αερόβιου μικροβιακού φορτίου (αριστερά) και του ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου (δεξιά) κατά την τελευταία δειγματοληψία (18^η ημέρα) επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων αποθηκευμένων σε MAP συσκευασία

Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)	Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)
4 °C	4,12	4 °C	4,38
8 °C	4,20	8 °C	3,51
12 °C	5,45	12 °C	3,84

Η μικροβιολογική ανάπτυξη επιδρά και στην παράμετρο του pH το οποίο διατηρείται περίπου σταθερό κατά την διάρκεια της αποθήκευσης λαμβάνοντας τιμές από 4,778 – 4,868. Τέλος, τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα πατάτας απορρίπτονται την 15^η ημέρα μετά από την έντονη μυρωδιά που είχαν καθώς θεωρήθηκε από τους δοκιμαστές μη επιθυμητό προς κατανάλωση. Τα τηγανισμένα προϊόντα που αξιολογούνται έως την 11^η ημέρα υφίστανται μεταβολή στη βαθμολογία αρέσκειας από 7,25-6,50 για τους 4 °C, από 7,25-6,33 για τους 8 °C και από 7,25-6,17 για τους 12 °C. Με γραμμική προσέγγιση των σημείων υπολογίζεται ο ρυθμός αλλοίωσης ίσος με 0,0688 d⁻¹ (4 °C), 0,0785 d⁻¹ (8 °C) και 0,0924 d⁻¹ (12 °C) και με την εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius προκύπτει τιμή για την ενέργεια ενεργοποίησης ίση με 24,21 kJ.

Κατά την διάρκεια αποθήκευσης των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων παρατηρείται ίδια συμπεριφορά με τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα. Δηλαδή ο δείκτης αμαύρωσης (BI) υφίσταται μια αύξηση της τάξεως του 32% για τα δείγματα που αποθηκεύονται στους 12 °C από 5,76 σε 8,45, 28% για τα δείγματα των 8 °C (από 5,76 σε 7,98) και 17% για τα δείγματα των 4 °C (από 5,76 σε 6,97). Αντίθετα με τα επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα η σκληρότητα των δειγμάτων φαίνεται να μειώνεται κυρίως στους 12 °C (από 8,298 N σε 7,299 N). Επιπλέον, στη συσκευασία αποθήκευσης η σύσταση του οξυγόνου φαίνεται να διατηρείται σχετικά σταθερή παρουσιάζοντας μια μικρή μείωση και οι τιμές του διοξειδίου του άνθρακα φαίνεται να έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Ταυτόχρονα και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνμένα δείγματα δεν παρατηρείται μεταβολή του μικροβιακού φορτίου στους μικροοργανισμούς των εντεροβακτηρίων, ψευδομονάδων και

ζυμών και μυκήτων όπου η ανάπτυξη είναι μηδενική. Οι τιμές του μικροβιακού φορτίου κατά την τελευταία δειγματοληψία παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 7.11-7.12).

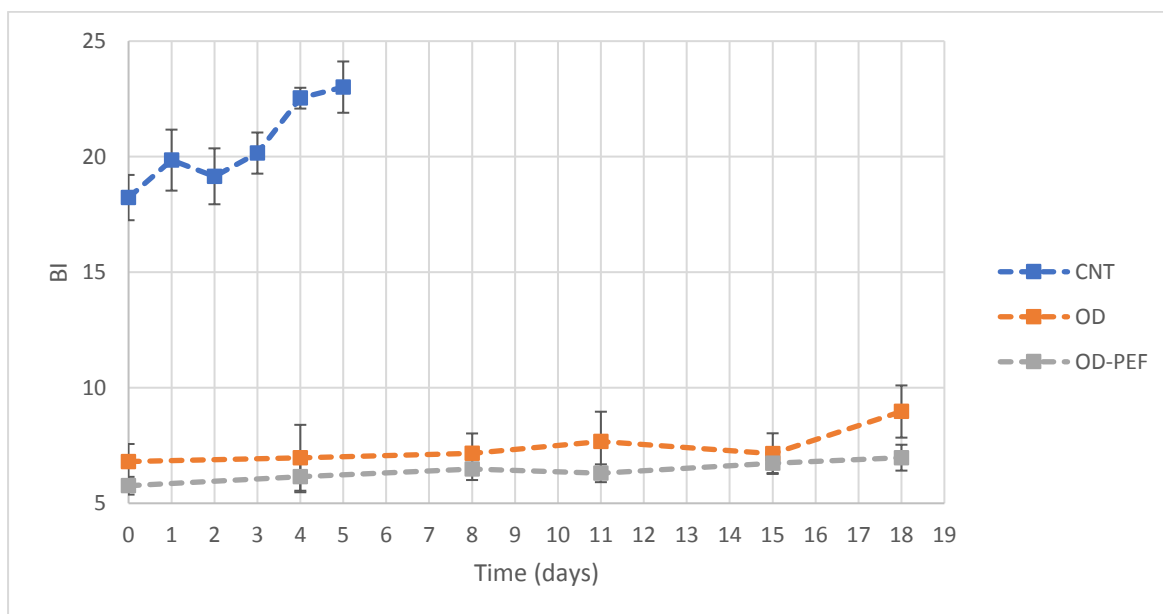
Πίνακας 7.9 & 7.10: Μικροβιακό φορτίο (N) για την ανάπτυξη του ολικού αερόβιου μικροβιακού φορτίου (αριστερά) και του ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου (δεξιά) κατά την τελευταία δειγματοληψία (18^η ημέρα) ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων αποθηκευμένων σε MAP συσκευασία

Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)
4 °C	3,49
8 °C	3,27
12 °C	4,36

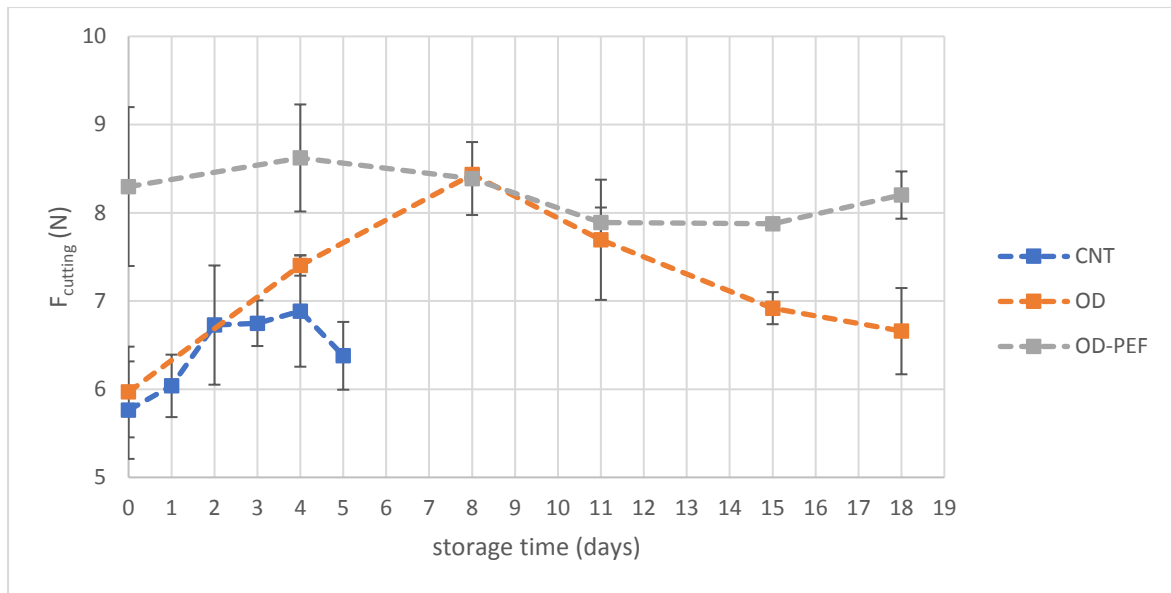
Δείγμα ανά θερμοκρασία	N (logCFU/g)
4 °C	3,56
8 °C	3,06
12 °C	4,28

Το pH διατηρείται σταθερό σε τιμές 4,408-4,605. Τα συγκεκριμένα δείγματα απορρίπτονται ήδη από την 15^η ημέρα λόγω έντονης οσμής. Οι δοκιμαστές ομοίως δοκιμάζουν τα τηγανισμένα δείγματα έως την 11^η ημέρα και η βαθμολογία αρέσκειας μειώνεται από 7,0 σε 6,5 (4 °C), από 7,0 σε 6,4 (8 °C) και από 7,0 σε 6,33 (12 °C). Με γραμμική προσέγγιση των πειραματικών δεδομένων προκύπτουν οι ρυθμοί αλλοίωσης ίσοι με 0,0440 d⁻¹ (4 °C), 0,0579 d⁻¹ (8 °C) και 0,0642 (12 °C) και με εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius προκύπτει ενέργεια ενεργοποίησης ίση με 31,10 kJ.

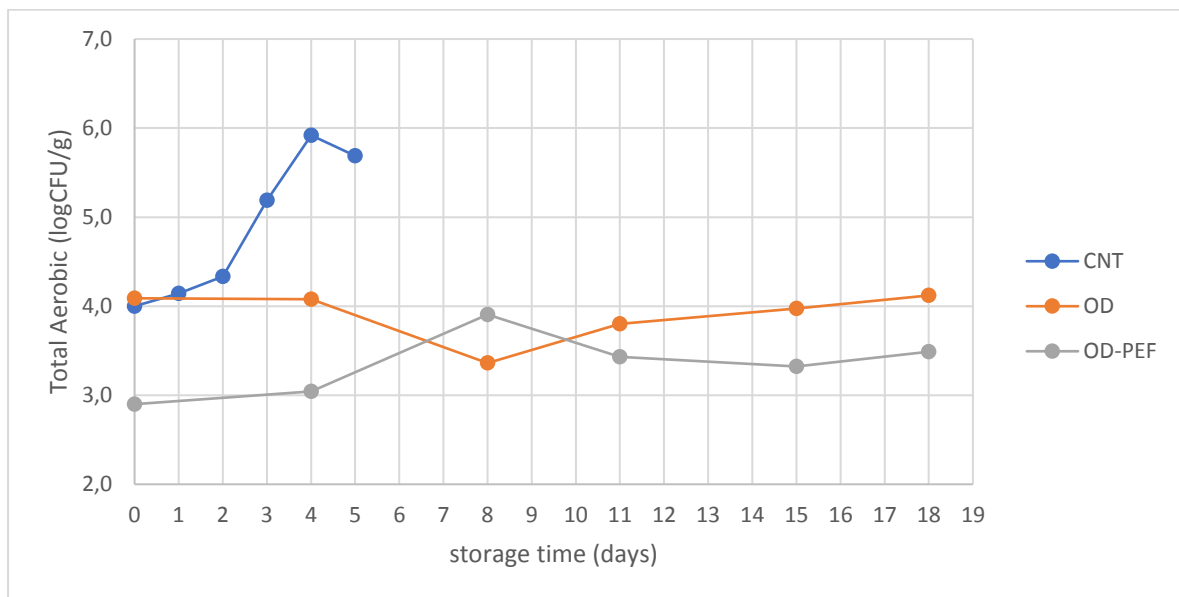
Συνοψίζοντας για το πείραμα διατηρησιμότητας σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας συμπεραίνεται εύκολα πως τα δείγματα που υπόκεινται σε ωσμωτική αφυδάτωση διατηρούνται για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η θερμοκρασία αποθήκευσης στα επεξεργασμένα-ωσμωνένων δείγματα δε φαίνεται να παίζει πάρα πολύ σημαντικό ρόλο σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα που φαίνεται η διαφορά στους δείκτες ποιότητας (χρώμα, υφή) αλλά και μικροβιολογικά. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα οι μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και στο μικροβιακό φορτίο για τους 4 °C (Διάγραμμα 7.1-7.4).



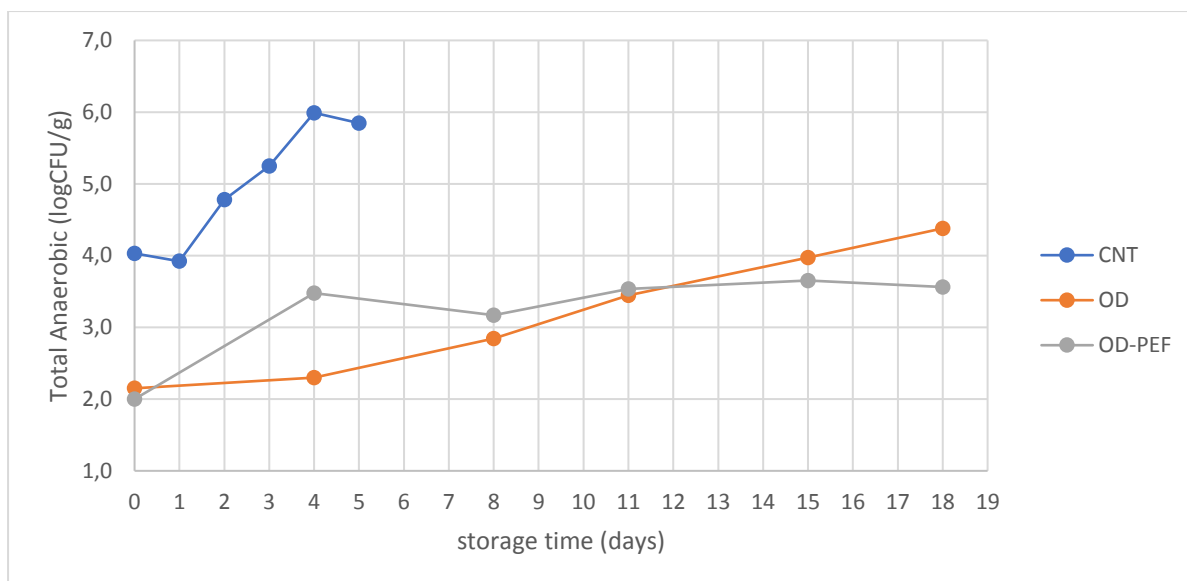
Διάγραμμα 7.1: Μεταβολή δείκτη αμάρωσης BI κατά την αποθήκευση μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσμωνένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων κατά την αποθήκευσή τους σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Average value ± STDEV)



Διάγραμμα 7.2: Μεταβολή υφής κατά την αποθήκευση μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσμωνένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων κατά την αποθήκευσή τους σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Average value $\pm$ STDEV)



Διάγραμμα 7.3: Μεταβολή ολικού αερόβιου μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσμωνένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων κατά την αποθήκευσή τους σε MAP συσκευασία στους 4 °C



Διάγραμμα 7.4: Μεταβολή ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσμωνένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων κατά την αποθήκευσή τους σε MAP συσκευασία στους 4 °C

Όπως φαίνεται, από μικροβιολογική άποψη η ανάπτυξη παρόλο το μικρό χρονικό διάστημα είναι πολύ υψηλότερη στα μη επεξεργασμένα δείγματα σε όλους τους εξεταζόμενους μικροοργανισμούς. Στα επεξεργασμένα δείγματα, φαίνεται οι μικροοργανισμοί να μην αναπτύσσονται σε μεγάλο βαθμό. Σε άποψη οργανοληπτικής αξιολόγησης, τα μη επεξεργασμένα τηγανισμένα δείγματα προφανώς λαμβάνουν υψηλότερη βαθμολογία κατά την πρώτη δοκιμή και στη συνέχεια η βαθμολογία αυτή μειώνεται δεδομένης και της αξιολόγησης του ωμού προϊόντος. Η μείωση φαίνεται να υπάρχει και στα επεξεργασμένα δείγματα βάσει της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Συγκρίνοντας τις ενέργειες ενεργοποίησης φαίνεται και η διαφορά των μη επεξεργασμένων δειγμάτων αφού παρουσιάζουν πολύ υψηλότερη τιμή. Το ίδιο παρατηρείται και στους ρυθμούς αλλοίωσης όπου τα μη επεξεργασμένα δείγματα φαίνεται να μεταβάλλουν τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό. Συγκριτικά μεταξύ τους τα επεξεργασμένα δείγματα δε φαίνεται να παρουσιάζουν ιδιαίτερα σημαντικές μεταβολές.

Αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό

Πραγματοποιείται αποθήκευση δειγμάτων σε συσκευασία υπό κενό στους 4 °C. Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης η μεταβολή του ενζυμικού μαυρίσματος μελετάται ομοίως με το δείκτη αμαύρωσης (BI) που φαίνεται να παρουσιάζει μεταβολή της τάξεως του 18% (από 8,95 σε 10,99) για τα μη επεξεργασμένα δείγματα, 16% (από 5,41 σε 6,45) για τα επεξεργασμένα-ωσμωνένων δείγματα και 35% (από 5,76 σε 8,84) για τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνένων δείγματα. Η μεταβολή της υφής φαίνεται να είναι ελαφρώς αυξητική για τα μη επεξεργασμένα δείγματα (από 4,577 N σε 5,418 N), σχεδόν σταθερή για τα επεξεργασμένα-ωσμωνένων δείγματα (από 5,968 N σε 5,875 N) και μειούμενη για τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνένων δείγματα (από 8,504 N σε 7,531 N). Σχετικά με τη μικροβιακή ανάπτυξη, για το ολικό αερόβιο και αναερόβιο μικροβιακό φορτίο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 7.11-7.12). Για την κατηγορία των μικροοργανισμών των εντεροβακτηρίων δεν παρατηρήθηκε καθόλου ανάπτυξη στα επεξεργασμένα-ωσμωνένων δείγματα καθώς και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσμωνένων δείγματα. Η μοναδική ανάπτυξη παρατηρήθηκε στα μη επεξεργασμένα δείγματα όπου το μικροβιακό φορτίο ανέρχεται από

2,48 logCFU/g (Ημέρα 0) σε 3,90 logCFU/g (Ημέρα 18). Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση των ψευδομονάδων, όπου η μοναδική ανάπτυξη στα μη επεξεργασμένα δείγματα ξεκινάει από 0 logCFU/g και καταλήγει σε 4,94 logCFU/g (Ημέρα 18). Για τους ζύμες και μύκητες παρατηρείται ανάπτυξη εκτός από τα μη επεξεργασμένα δείγματα με τελική τιμή μικροβιακού φορτίου 2,48 logCFU/g και στα ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα με τελική τιμή 2,93 logCFU/g.

Πίνακας 7.11 & 7.12: Μικροβιακό φορτίο (N) για την ανάπτυξη του ολικού αερόβιου μικροβιακού φορτίου (αριστερά) και του ολικού αναερόβιου μικροβιακού φορτίου (δεξιά) κατά την τελευταία δειγματοληψία (18^η ημέρα) μη επεξεργασμένων, επεξεργασμένων-ωσσωμένων και ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων αποθηκευμένων στους 4 °C σε vacuum συσκευασία

Δείγμα	N (logCFU/g)	Δείγμα	N (logCFU/g)
CNT	5,85	CNT	6,16
OD	3,08	OD	3,40
OD-PEF	2,92	OD-PEF	3,86

Παράλληλα, το pH των μη επεξεργασμένων δειγμάτων φαίνεται να μειώνεται και να σταθεροποιείται στη συνέχεια (από 6,014 σε 5,489) ενώ το pH των επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων υφίσταται μικρή αύξηση από 4,798 σε 5,040 όπως και των ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων από 4,468 σε 4,889. Τέλος, τα μη επεξεργασμένα δείγματα φαίνονται να απορρίπτονται την 13^η ημέρα λόγω εμφάνισης μαύρων στιγμάτων και ξηρής υφής ενώ τα επεξεργασμένα δείγματα την 18^η ημέρα λόγω έντονης αλλοιωμένης-ξένης οσμής με βαθμολογίες 7/9 (επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα) και 6/7 (ΠΗΠ-επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα) αλλά και λόγω ανίχνευσης λιπαρού-γλυκερόλης με βαθμολογία 7/9. Τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα μπορούν να θεωρηθούν και οριακά αποδεκτά δεδομένου ότι στη συνολική αρέσκεια λαμβάνουν 5/9.

Συνοψίζοντας, φαίνεται πως και στη συσκευασία υπό κενό οι μεταβολές που υφίστανται τα επεξεργασμένα προϊόντα είναι μικρότερου βαθμού. Η μικροβιολογική ανάπτυξη των μη επεξεργασμένων δειγμάτων ενώ δεν είναι πολύ πιο μεγάλη από των επεξεργασμένων δειγμάτων λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές μικροβιακού φορτίου καθώς και ανάπτυξη μικροοργανισμών που στα υπόλοιπα δείγματα δεν εμφανίζονται καν. Επιπλέον, απορρίπτονται λόγω εμφάνισης πιο σύντομα από τα επεξεργασμένα δείγματα. Σε σύγκριση με την αντίστοιχη θερμοκρασία αποθήκευσης στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα, τα μη επεξεργασμένα δείγματα παρουσιάζουν μια καλύτερη εικόνα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το μικροβιακό φορτίο δεν είναι τόσο ενισχυμένο, η υφή δε μεταβάλλεται ιδιαίτερα και το χρώμα φαίνεται να διατηρείται. Τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα παρουσιάζουν παρόμοια μεταβολή στους δείκτες ποιότητας αλλά μικρότερο μικροβιακό φορτίο το οποίο ομοίως δε φαίνεται να αυξάνεται. Το ίδιο ισχύει και για τα ΠΗΠ-επεξεργασμένα δείγματα με τη μόνη διαφορά πως υπάρχει μικρή ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων. Γενικότερα, ενώ τα επεξεργασμένα-ωσσωμένα δείγματα φαίνεται να διατηρούν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά στη συσκευασία υπό κενό, τα άτομα που αξιολόγησαν τα δείγματα συμφώνησαν ομόφωνα για πιο έντονο ξένο άρωμα σε σχέση με τα δείγματα της συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας καθώς και την ύπαρξη μεγάλης ποσότητας υγρού ωσμωτικού διαλύματος όπως άλλωστε φαίνεται και οπτικά στις Εικόνες 6.11-6.14.

Δ) Προτάσεις

Από τη συγκεκριμένη έρευνα εκτός από τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν προκύπτουν και ερωτήματα για το τελικό προϊόν. Συγκεκριμένα, η έρευνα για την ωσμωτική αφυδάτωση σε πατάτα, την προ-επεξεργασία με ΠΗΠ, το τηγάνισμα και την διάρκεια ζωής του προϊόντος δύναται να επεκταθεί και να μελετηθεί περαιτέρω. Ορισμένα σημεία που θα μπορούσαν να ερευνηθούν:

- Η χρήση του ωσμωτικού διαλύματος καθώς δύναται να εξεταστεί πόσες φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο ωσμωτικό διάλυμα επιφέροντας τα βέλτιστα αποτελέσματα της ώσμωσης.
- Διαφορετική επεξεργασία μαγειρέματος της πατάτας όπως για παράδειγμα τηγάνισμα σε αέρα (air-frying) και μελέτη της συμπεριφοράς των προϊόντων κατά την επεξεργασία αυτή.
- Πειραματική διαδικασία διατηρησιμότητας για τα δείγματα που ωσμώνονται με 10% γλυκερόλη όπου παρόλο που οργανοληπτικά αξιολογήθηκαν χαμηλότερα και θεωρούνται αλμυρά δεν παύουν να έχουν μια καλή συνολική αξιολόγηση.
- Τα υλικά συσκευασίας που χρησιμοποιούνται που ενδεχομένως να επιφέρουν αλλαγή στο συντελεστή διαπερατότητας και τα δείγματα να έχουν την δυνατότητα να διατηρούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- Τεχνικο-οικονομική ανάλυση της χρήσης των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων, δεδομένου ότι στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιείται μόνο για την πατάτα, η αξιολόγηση των δυνατοτήτων των ΠΗΠ και το κατά πόσο συμφέρει την παραγωγή αποτελούν σημαντικά ζητήματα έρευνας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdelgawad G., Khater E., Bahnasawy A. & Mosa, M. (2023). POTATO TUBERS QUALITY AS AFFECTED BY MODIFIED ATMOSPHERIC CONDITIONS AND PACKAGE TYPE DURING STORAGE. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. <https://doi.org/10.21608/mjae.2023.213945.1101>
- Abdullah A. H. D., Chalimah S., Primadona I. & Hanantyo M. H. G. (2018). Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starches. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 160, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/160/1/012003>
- Adams, S. S., & Stevenson, W. R. (1990). Water management, disease development, and potato production. *American Potato Journal*, 67(1), 3–11. <https://doi.org/10.1007/bf02986908>
- Ade-Omowaye B., Angersbach A., Taiwo K. & Knorr D. (2001). Use of pulsed electric field pre-treatment to improve dehydration characteristics of plant based foods. *Trends in Food Science & Technology*, 12(8), 285–295. [https://doi.org/10.1016/s0924-2244\(01\)00095-4](https://doi.org/10.1016/s0924-2244(01)00095-4)
- Alam M.M., Islam M. N. & Islam M.N. (2013). Effect of process parameters on the effectiveness of osmotic dehydration of summer onion. *International Food Research Journal*, 20(1), 391–396. <http://www.ifrj.upm.edu.my/>
- Alvani K., Qi X., Tester R. F. & Snape C. E. (2011). Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chemistry*, 125(3), 958–965. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.088>
- Amami E., Vorobiev E. & Kechaou N. (2006). Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT*, 39(9), 1014–1021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.02.017>
- Ammar J. B., Lanoisellé J., Lebovka N. I., Van Hecke E. & Vorobiev E. (2010). Effect of a pulsed electric field and osmotic treatment on freezing of potato tissue. *Food Biophysics*, 5(3), 247–254. <https://doi.org/10.1007/s11483-010-9167-y>
- Amiot M., Tacchini M., Aubert S. & Nicolas J. (1992). Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science*, 57(4), 958–962. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb14333.x>
- Angersbach A. (2000). Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(2), 135–149. [https://doi.org/10.1016/s1466-8564\(00\)00010-2](https://doi.org/10.1016/s1466-8564(00)00010-2)
- Angós I., Vírseda P. & Fernández T. (2008). Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 422–430. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.10.019>
- Arshad R. N., Abdul-Malek Z., Roobab U., Munir M. A., Naderipour A., Qureshi M. I., Bekhit A. E., Liu Z., & Aadil R. M. (2021). Pulsed electric field: A potential alternative towards a sustainable food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.041>
- Ascherio A. & Willett W. C. (1997). Health effects of trans fatty acids. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66(4), 1006S–1010S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/66.4.1006s>

- Aşkın B. & Kaya Y. (2020). Effect of deep frying process on the quality of the refined oleic/linoleic sunflower seed oil and olive oil. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4716–4725. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04655-4>
- Baranyi J. & Roberts T. A. (1994). A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International Journal of Food Microbiology*, 23(3–4), 277–294. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)90157-0](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)90157-0)
- Beals K. A. (2018). Potatoes, nutrition and health. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 102–110. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09705-4>
- Beaudry C., Raghavan G. S. V. & Rennie T. J. (2003). Microwave finish drying of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology*, 21(9), 1797–1810. <https://doi.org/10.1081/drt-120025509>
- Benkeblia, N. (2012). Postharvest diseases and disorders of potato tuber solanum tuberosum L. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/286231089_Postharvest_diseases_and_disorders_of_potato_tuber_solanum_tuberosum_L
- Bernardi S., Bodini R. B., Marcatti B., Petrus R. R. & Favaro-Trindade C. S. (2009). Quality and sensorial characteristics of osmotically dehydrated mango with syrups of inverted sugar and sucrose. *Scientia Agricola*, 66(1), 40–43. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162009000100005>
- Blakistone B. A. (1998). Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods (pp. 7-9). <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6252-5>
- Blumenthal M. M. & Stier R. F. (1991). Optimization of deep-fat frying operations. *Trends in Food Science & Technology*, 2, 144–148. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(91\)90659-7](https://doi.org/10.1016/0924-2244(91)90659-7)
- Bodbodak S. & Moshfeghifar M. (2016). Advances in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality* (pp. 39–76). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804313-4.00002-5>
- Bouchon P. (2009). Chapter 5 Understanding oil absorption during Deep-Fat Frying. *Advances in Food and Nutrition Research*, 209–234. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(09\)57005-2](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(09)57005-2)
- Bouchon P. & Aguilera J. M. (2001). Microstructural analysis of frying potatoes. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(6), 669–676. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00499.x>
- Bradeen, J. M., & Kole, C. (2016). *Genetics, Genomics and Breeding of potato*. CRC Press, 3-7.
- Brisson D., Vohl M., St-Pierre J., Hudson T. J. & Gaudet D. (2001). Glycerol: a neglected variable in metabolic processes? *BioEssays*, 23(6), 534–542. <https://doi.org/10.1002/bies.1073>
- Bocker R., & Silva E. K. (2022). Pulsed electric field assisted extraction of natural food pigments and colorings from plant matrices. *Food Chemistry X*, 15, 100398. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100398>

- Buchmann L., Bloch R. & Mathys A. (2018). Comprehensive pulsed electric field (PEF) system analysis for microalgae processing. *Bioresource Technology*, 265, 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.010>
- Caliskan M. E., Bakhsh A. & Jabran K. (2022). Potato production worldwide. Academic Press (pp. 3-4).
- Connell, J. J. (1995). *Control of fish quality*. Farnham, Surrey: Fishing News(Books) Ltd.
- Croguennec T. (2016). Non-Enzymatic Browning. *Handbook of Food Science and Technology* 1, 133–157. <https://doi.org/10.1002/9781119268659.ch5>
- Dalrymple D. G. (1969). The development of an agricultural technology: Controlled-Atmosphere storage of fruit. *Technology and Culture*, 10(1), 35–48. <https://doi.org/10.1353/tech.1969.a892313>
- Davis J.R. (1993). Verticillium wilt in potatoes. *Northwest Potato Research Consortium*. <https://www.nwpotatoresearch.com/images/documents/VertWilt.pdf>
- Dermesonlouoglou E. K. & Giannakourou, M. C. (2018). Evaluation and modelling of osmotic pre-treatment of peach using alternative agents in a multiple-component solution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(3), 1240–1249. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9296>
- Dermesonlouoglou E., Zachariou I., Andreou V. & Taoukis, P. (2016). Effect of pulsed electric fields on mass transfer and quality of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.08.009>
- Dijkstra A. (2016). Vegetable Oils: Composition and analysis. *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 357–364). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00708-x>
- Dimopoulos G., Katsimichas A., Balachtsis K., Dermesonlouoglou E. & Taoukis P. (2024). Effect of pulsed electric fields on the shelf stability and sensory acceptability of osmotically dehydrated spinach: a mathematical modeling approach. *Foods*, 13(9), 1410. <https://doi.org/10.3390/foods13091410>
- Doan C. H. & Davidson P. (2000). Microbiology of Potatoes and Potato Products: a review. *Journal of Food Protection*, 63(5), 668–683. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-63.5.668>
- Drewnowski A. & Popkin B. M. (2009). The Nutrition Transition: New trends in the Global Diet. *Nutrition Reviews*, 55(2), 31–43. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01593.x>
- Dunford H. (1976). On the function and mechanism of action of peroxidases. *Coordination Chemistry Reviews*, 19(3), 187–251. [https://doi.org/10.1016/s0010-8545\(00\)80316-1](https://doi.org/10.1016/s0010-8545(00)80316-1)
- Dupuis J. H. & Liu Q. (2019). Potato Starch: a Review of Physicochemical, Functional and Nutritional Properties. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 127–138. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09696-2>
- Eren İ. & Kaymak-Ertekin F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.069>

- Erickson M. D., Yevtushenko D. P. & Lu Z. (2022). Oxidation and Thermal Degradation of Oil during Frying: A Review of Natural Antioxidant Use. *Food Reviews International*, 39(7), 4665–4696. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2039689>
- Fauster T., Schlossnikl D., Rath F., Ostermeier R., Teufel F., Toepfl S. & Jaeger H. (2018). Impact of pulsed electric field (PEF) pretreatment on process performance of industrial French fries production. *Journal of Food Engineering*, 235, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.023>
- Fincan M. & Dejmek, P. (2003). Effect of osmotic pretreatment and pulsed electric field on the viscoelastic properties of potato tissue. *Journal of Food Engineering*, 59(2–3), 169–175. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(02\)00454-5](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(02)00454-5)
- Finn S., Rogers L., Händler K., McClure P., Amézquita A., Hinton J. C. D. & Fanning S. (2015). Exposure of Salmonella enterica Serovar Typhimurium to Three Humectants Used in the Food Industry Induces Different Osmoadaptation Systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(19), 6800–6811. <https://doi.org/10.1128/aem.01379-15>
- Freedman M. R. & Keast D. R. (2011). White potatoes, including french fries, contribute shortfall nutrients to children's and adolescents' diets. *Nutrition Research*, 31(4), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.03.006>
- Ghoshal G. (2023). Comprehensive review on pulsed electric field in food preservation: gaps in current studies for potential future research. *Heliyon*, 9(6), e17532. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17532>
- Giannakourou M. & Taoukis, P. (2003). Kinetic modelling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions. *Food Chemistry*, 83(1), 33–41. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(03\)00033-5](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(03)00033-5)
- Gillatt P. (2001). Flavour and aroma development in frying and fried food. *Frying, Improving Quality* (pp. 266–336). <https://doi.org/10.1533/9781855736429.3.266>
- Golberg A. & Rubinsky B. (2013). Mass transfer phenomena in electroporation. *Transport in Biological Media* (pp. 455–492). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-415824-5.00012-6>
- González-Pérez J. E., Ramírez-Corona N. & López-Malo A. (2021). Mass transfer during osmotic dehydration of fruits and vegetables: *Process Factors and Non-Thermal Methods*. *Food Engineering Reviews*, 13(2), 344–374. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09276-3>
- Goula A. M., Kokolaki M. & Daftsiou E. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioproducts Processing*, 105, 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.008>
- Grabowski S., Mujumdar A., Ramaswamy H. & Strumillo C. (1994). OSMO-CONVECTIVE DRYING OF GRAPES. *Drying Technology*, 12(5), 1211–1219. <https://doi.org/10.1080/07373939408960996>
- Gupta R., Singh B. & Shivhare U. S. (2012). Optimization of osmo-convective dehydration process for the development of honey-ginger candy using response surface methodology. *Drying Technology*, 30(7), 750–759. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.661818>

- Gupta S., Ramesh M. & Kalghatgi A. (2006). Design of Optimized CPW fed Monopole Antenna for UWB Applications. *2005 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/apmc.2005.1606837>
- Haase N. U. (2007). The Canon of Potato Science: 48. Maillard reaction. *Potato Research*, 50(3–4), 407–409. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9062-9>
- Hill K., Ostermeier R., Töpfl S. & Heinz V. (2022). Pulsed electric fields in the potato industry. In *Food engineering series* (pp. 325–332). https://doi.org/10.1007/978-3-030-70586-2_9
- Hironaka K., Kikuchi M., Koaze H., Sato T., Kojima M., Yamamoto K., Yasuda K., Mori M. & Tsuda S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food Chemistry*, 127(3), 1114–1118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.111>
- Holderbaum D. F., Kon T., Kudo T. & Guerra M. P. (2010). Enzymatic Browning, Polyphenol Oxidase Activity, and Polyphenols in Four Apple Cultivars: Dynamics during Fruit Development. *HortScience*, 45(8), 1150–1154. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.8.1150>
- Hooker W. J. (1975). *Compendium of Potato Diseases*. USA, 30-31. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABD692.pdf
- Hubbard L. J. & Farkas B. E. (1999). A method for determining the convective heat transfer coefficient during immersion frying. *Journal of Food Process Engineering*, 22(3), 201–214. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1999.tb00481.x>
- Hunt M. D., Eannetta N. T., Yu H., Newman S. M. & Steffens J. C. (1993). cDNA cloning and expression of potato polyphenol oxidase. *Plant Molecular Biology*, 21(1), 59–68. <https://doi.org/10.1007/bf00039618>
- Inns R. (1987). Modified atmosphere packaging, pp. 36–51. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8592-9_3
- Jain S. K., Verma R. C., Murdia L. K., Jain H. K. & Sharma G. P. (2010). Optimization of process parameters for osmotic dehydration of papaya cubes. *Journal of Food Science and Technology*, 48(2), 211–217. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0161-7>
- Janositz A., Noack A. & Knorr D. (2011). Pulsed electric fields and their impact on the diffusion characteristics of potato slices. *LWT*, 44(9), 1939–1945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.006>
- Jansky S. H. & Thompson D. M. (1990). THE EFFECT OF FLOWER REMOVAL ON POTATO TUBER YIELD. *Canadian Journal of Plant Science*, 70(4), 1223–1225. <https://doi.org/10.4141/cjps90-151>
- Jayanty S., Mir N., Beaudry R., Fishman S. & Ben-Yehoshua, S. (2005). Modified atmosphere packaging and controlled atmosphere storage. *Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality* (pp. 61–112). <https://doi.org/10.1201/9780203500361.ch4>
- Jiang Q., Zhao W., Zhao S., Wang P., Wang Y., Zhao Y., Zhao X. & Wang D. (2023). Comparison between vacuum and modified-atmosphere packaging on dynamic analysis of flavor properties and microbial communities in fresh-cut potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Packaging and Shelf Life*, 39, 101149. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101149>

- Katsouli M., Dermesonlouoglou E., Dimopoulos G., Karafantalou E., Giannakourou M. & Taoukis P. (2024). Shelf-Life enhancement applying pulsed Electric Field and High-Pressure treatments prior to osmotic dehydration of Fresh-Cut potatoes. *Foods*, 13(1), 171. <https://doi.org/10.3390/foods13010171>
- Kawas M. L. & Moreira R. G. (2001). Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. *Journal of Food Engineering*, 47(2), 97–107. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(00\)00104-7](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(00)00104-7)
- Khin M. M., Zhou W. & Perera C. O. (2006). A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77(1), 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.050>
- Kowalczyk D., Kazmierczak W., Zięba E., Mężyńska M., Basiura-Cembala M., Lisiecki S., Karaś M., & Baraniak B. (2018). Ascorbic acid- and sodium ascorbate-loaded oxidized potato starch films: Comparative evaluation of physicochemical and antioxidant properties. *Carbohydrate Polymers*, 181, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.063>
- Krokida M., Oreopoulou V. & Maroulis Z. (2000). Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering*, 44(1), 39–46. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(99\)00163-6](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(99)00163-6)
- Krokida M., Oreopoulou V., Maroulis Z., & Marinos-Kouris D. (2001). Effect of pre-drying on quality of french fries. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 347–354. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(00\)00233-8](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(00)00233-8)
- Kuhn J., Müller H., Salzig D. & Czermak P. (2015). A rapid method for an offline glycerol determination during microbial fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology*, 18(3), 252–255. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2015.01.005>
- Kwaw E., Osaе R., Apaliya M. T., Sackey A. S., Alolga R. N., Kaburi S. A., Hinson M., Bediako G., Botwe A. K. & Pitcher V. M. (2024). Effect of different pre-treatments on the physical properties, frying kinetics and organoleptic physiognomies of fried sweet potato (*Ipomoea batatas*) chips. *Food and Humanity*, 3, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100351>
- Leadley C. E. & Williams A. (2005). Pulsed Electric Field Processing, Power Ultrasound and Other Emerging Technologies. *Food Process Engineering Handbook* (pp. 201–235). <https://doi.org/10.1002/3527607579.ch7>
- Levaj B., Pelaić Z., Galić K., Kurek M., Ščetar M., Poljak M., Hunjek D. D., Pedisić S., Balbino S., Čošić Z., Dujmić F. & Repajić M. (2023). Maintaining the Quality and Safety of Fresh-Cut Potatoes (*Solanum tuberosum*): Overview of Recent Findings and Approaches. *Agronomy*, 13(8), 2002. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082002>
- Lisinska G., & Leszczynski W. (1989). *Potato Science and Technology*. Springer Science & Business Media, 1-5.
- Liu C., Grimi N., Lebovka N. & Vorobiev E. (2019). Impacts of preliminary vacuum drying and pulsed electric field treatment on characteristics of fried potatoes. *Journal of Food Engineering*, 276, 109898. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109898>

- Lu Z., Donner E., Yada R. Y. & Liu Q. (2016). Physicochemical properties and in vitro starch digestibility of potato starch/protein blends. *Carbohydrate Polymers*, 154, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.055>
- Maged E.A. Mohammed. & Ayman H. Amer Eissa (2012). Pulsed electric fields for food processing technology. *Structure and Function of Food Engineering*, 275–304. <https://doi.org/10.5772/48678>
- Marinos-Kouris D., Krokida M. & Oreopoulou, V. (2006). Frying of foods. *Handbook of Industrial Drying*, 1225–1230. <https://doi.org/10.1201/9781420017618.ch52>
- Martínez P., Peña F., Bello-Pérez L. A., Núñez-Santiago C., Yee-Madeira H. & Velezmoro C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry X*, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>
- Matthäus B. & Haase N. U. (2014). Acrylamide – Still a matter of concern for fried potato food?*. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(6), 675–687. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300281>
- Mayer A. M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318–2331. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.08.006>
- Miller K., Reichert C. L., Schmid M., & Loeffler M. (2022). Physical, chemical and Biochemical Modification Approaches of potato (PEEL) constituents for Bio-Based Food Packaging Concepts: A review. *Foods*, 11(18), 2927. <https://doi.org/10.3390/foods11182927>
- Mir, N., & Beaudry, R. M. (2003). Modified atmosphere packaging. *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service*. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/015map.pdf>
- Mitrakas G., Koutsoumanis K. & Lazarides H. (2008). Impact of edible coating with or without anti-microbial agent on microbial growth during osmotic dehydration and refrigerated storage of a model plant material. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 550–555. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.06.001>
- Mokhtar W. M. F. W., Ghawi S. K. & Niranjana K. (2018). Dehydration of potato slices following brief dipping in osmotic solutions: Effect of conditions and understanding the mechanism of water loss. *Drying Technology*, 37(7), 885–895. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1473418>
- Moreira R., Chenlo F., Torres M. & Vázquez G. (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *LWT*, 40(9), 1507–1514. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.00>
- Moreira R. G., Sun X. & Chen Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 31(4), 485–498. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(96\)00088-x](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(96)00088-x)
- Moreno M. C. & Bouchon P. (2008). A Different Perspective to Study the Effect of Freeze, Air, and Osmotic Drying on Oil Absorption during Potato Frying. *Journal of Food Science*, 73(3). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00669.x>
- Mullan M. & McDowell D. (2011). Modified Atmosphere Packaging (pp. 263–294). <https://doi.org/10.1002/9781444392180.ch10>

- Navarre R. & Pavek M. J. (2014). The potato: Botany, Production and Uses. CABI. (pp. 35-37).
- Naliyadhara N., Kumar A., Girisa S., Daimary U. D., Hegde M. & Kunnumakkara A. B. (2022). Pulsed electric field (PEF): Avant-garde extraction escalation technology in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 238–255. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.019>
- Nicolas J. J., Richard-Forget F. C., Goupy P. M., Amiot M. & Aubert S. Y. (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34(2), 109–157. <https://doi.org/10.1080/10408399409527653>
- Nolte P. & Ojala J.C. (1992). Early blight control in potatoes. *Northwest Potato Research Consortium*. <https://nwpotatoresearch.com/images/documents/EarlyBlightControl.pdf>
- Oladejo A. O. & Ma H. (2016). Optimisation of ultrasound-assisted osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomea batatas*) using response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3688–3693. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7552>
- Osae R., Essilfie G., Alolga R. N. Akaba S., Song X., Owusu-Ansah P. & Zhou C. (2020). Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2585–2599. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10284>
- Ostermeier R., Hill K., Dingis A., Töpfl S. & Jäger H. (2021). Influence of pulsed electric field (PEF) and ultrasound treatment on the frying behavior and quality of potato chips. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 67, 102553. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102553>
- Pattanapa K., Therdthai N., Chantrapornchai W. & Zhou W. (2010). Original article: Effect of sucrose and glycerol mixtures in the osmotic solution on characteristics of osmotically dehydrated mandarin cv. (Sai-Namphaung). *International Journal of Food Science & Technology*, 45(9), 1918–1924. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02353.x>
- Perdue R (2009). Vacuum Packaging. in Yam, K L (ed.), *Encyclopedia of Packaging Technology*, Wiley (published 2010)
- Pereira L. M., Ferrari C. C., Mastrantonio S. D. S., Rodrigues A. C. C. & Hubinger M. D. (2006). Kinetic Aspects, Texture, and Color Evaluation of Some Tropical Fruits during Osmotic Dehydration. *Drying Technology*, 24(4), 475–484. <https://doi.org/10.1080/07373930600611968>
- Phillips, C. A. (1996). Review: Modified Atmosphere Packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. *International Journal of Food Science & Technology*, 31(6), 463–479. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1996.00369.x>
- Phisut N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal* 19(1), 7-18. [http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20\(01\)%202011/\(2\)IFRJ-2011-168%20Phisut.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20(01)%202011/(2)IFRJ-2011-168%20Phisut.pdf)
- Pinhero R. G. & Yada R. Y. (2016). Postharvest storage of potatoes. *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 283–314). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800002-1.00010-8>

- Pisalkar P. S., Jain N. K. & Jain S. K. (2010). Osmo-air drying of aloe vera gel cubes. *Journal of Food Science and Technology*, 48(2), 183–189. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0121-2>
- Pollack Susan L. (2001). Consumer Demand for Fruit and Vegetables: The U.S. Example. *Changing Structure of Global Food Consumption and Trade, U.S. Department of Agriculture*, pp 49-54. https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/40303/14983_wrs011_1.pdf?v=1987.2
- Prange R. K., DeLong J. M., Daniels-Lake J. & Harrison P. A. (2005). Innovation in controlled atmosphere technology. *Stewart Postharvest Review*, 1(3), 1–11. <https://doi.org/10.2212/spr.2005.3.9>
- Ramya V. & Jain N. K. (2016). A review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12440>
- Rani L., Kumar M., Kaushik D., Kaur J., Kumar A., Oz F., Proestos C. & Oz E. (2023). A review on the frying process: Methods, models and their mechanism and application in the food industry. *Food Research International*, 172, 113176. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113176>
- Ranjha M. M. A. N., Kanwal R., Shafique B., Arshad R. N., Irfan S., Kieliszek M., Kowalczewski P. Ł., Irfan M., Khalid M. Z., Roobab U. & Aadil R. M. (2021). A critical review on pulsed Electric Field: a novel technology for the extraction of phytoconstituents. *Molecules*, 26(16), 4893. <https://doi.org/10.3390/molecules26164893>
- Rhodes M., & Woollorton L. (1978). Changes in the activity of hydroxycinnamyl CoA:quinat hydroxycinnamyl transferase and in the levels of chlorogenic acid in potatoes and sweet potatoes stored at various temperatures. *Phytochemistry*, 17(8), 1225–1229. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(00\)94561-8](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(00)94561-8)
- Robertson, G. L. (2005b). Food packaging Principles and Practice. <https://doi.org/10.1201/9781420056150>
- Rocha A. M. C. N., Coulon E. C. & Morais A. M. M. B. (2003). Effects of vacuum packaging on the physical quality of minimally processed potatoes. *Food Service Technology*, 3(2), 81–88. <https://doi.org/10.1046/j.1471-5740.2003.00068.x>
- Ruskova M., Aleksandrov S., Bakalov I. Y. & Penov N. (2016). Osmotic dehydration as a preliminary technological process for the production of dried chokeberry (Aronia melanocarpa). *Bulgarian Chemical Communications, Volume 48, Special Issue E* (pp. 412 - 417). https://www.researchgate.net/publication/310370414_Osmotic_dehydration_as_a_preliminary_technological_process_for_the_production_of_dried_chokeberry_Aronia_melanocarpa
- Safari A., Salamat R. & Baik O. (2018). A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors. *Journal of Food Engineering*, 230, 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.022>
- Saguy I. & Dana D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56(2–3), 143–152. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(02\)00243-1](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(02)00243-1)

- Sahin S. & Sumnu S. G. (2008). Advances in Deep-Fat frying of foods (pp. 5-10) <https://doi.org/10.1201/9781420055597>
- Şengül, M., Keleş, F., & Keleş. (2004). The effect of storage conditions (temperature, light, time) and variety on the glycoalkaloid content of potato tubers and sprouts. *Food Control*, 15(4), 281–286. [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(03\)00077-x](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(03)00077-x)
- Shetty Kiran K., Frazier Mary Jo, Kleinkopf Gale E., Nolte Phillip. (1997). SILVER SCURF OF POTATOES. <https://objects.lib.uidaho.edu/uiext/uiext31144.pdf>
- Silva G. H., Chase R. W., Hammerschmidt R., Vitosh M. L., & Kitchen R. B. (1991). Irrigation, nitrogen and gypsum effects on specific gravity and internal defects of Atlantic potatoes. *American Potato Journal*, 68(11), 751–765. <https://doi.org/10.1007/bf02853806>
- Singh B., Suri K., Shevkani, K., Kaur A., Kaur A. & Singh N. (2018). Enzymatic browning of fruit and vegetables: a review. *Springer eBooks*, 63–78. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1933-4_4
- Shewry P. R. (2003). Tuber storage proteins. *Annals of Botany*, 91(7), 755–769. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg084>
- Shingh S. & Rani R. (2019). Vacuum packaging: a method of maximizing shelf life of dairy and food products. *Advances in Agricultural and Rural Development* (pp.118-122. https://www.researchgate.net/publication/343334889_VACUUM_PACKAGING_A_METHOD_OF_MAXIMIZING_SHELF_LIFE_OF_DAIRY_AND_FOOD_PRODUCES
- Smith, A. F. (2012). *Potato: A Global History*. Reaktion Books.
- Solomon E. I., Baldwin M. J. & Lowery M. D. (1992). Electronic structures of active sites in copper proteins: contributions to reactivity. *Chemical Reviews*, 92(4), 521–542. <https://doi.org/10.1021/cr00012a003>
- Sruthy G. N., Sandhya K. R., Kumkum C. R., Mythri R. & Sharma, M. (2022). Thermal processing technologies for food. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Advances in Food Engineering* (pp. 263–264). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91158-0.00014-4>
- Stevens L. H. & Davelaar E. (1996). Isolation and characterization of blackspot pigments from potato tubers. *Phytochemistry*, 42(4), 941–947. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(96\)00088-x](https://doi.org/10.1016/0031-9422(96)00088-x)
- Syed Q. A. (2017). Pulsed Electric Field Technology in Food Preservation: a review. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 6(6). <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2017.06.00219>
- Taranto F., Pasqualone A., Mangini G., Tripodi P., Miazzi M., Pavan S. & Montemurro C. (2017). Polyphenol oxidases in crops: biochemical, physiological and genetic aspects. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(2), 377. <https://doi.org/10.3390/ijms18020377>
- Toepfl S., Heinz V. & Knorr D. (2007). High intensity pulsed electric fields applied for food preservation. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 46(6), 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.07.011>
- Töpfl S. (2006). Doctoral Thesis. Pulsed Electric Fields (PEF) for permeabilization of cell membranes in food- and bioprocessing – applications, process and equipment design and cost analysis. <https://doi.org/10.14279/depositonce-1441>

- Torreggiani D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26(1), 59–68. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(93\)90106-s](https://doi.org/10.1016/0963-9969(93)90106-s)
- Tortoe C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science* Vol. 4(6), 303 – 324. <http://www.academicjournals.org/ajfs>
- Vasanthan T., Bergthaller W., Driedger D., Yeung J. & Sporns P. (1999). Starch from Alberta potatoes: wet-isolation and some physicochemical properties. *Food Research International*, 32(5), 355–365. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(99\)00096-4](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(99)00096-4)
- Wan Azelee, N. I., Ramli, A. N. M., Abdul Manas, N. H., Salamun, N., Che Man, R., & El Enshasy, H. 2019. Glycerol in food, cosmetics, and pharmaceuticals. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 8, ISSUE 12*, pp. 553-558. <http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/27866/>
- Whitaker J. R. & Lee C. Y. (1995). Recent advances in chemistry of enzymatic browning. *In ACS symposium series* (pp. 2–7). <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0600.ch001>
- Xu Z., Leong S. Y., Farid M., Silcock P., Bremer P. & Oey I. (2020). Understanding the Frying Process of Plant-Based Foods Pretreated with Pulsed Electric Fields Using Frying Models. *Foods*, 9(7), 949. <https://doi.org/10.3390/foods9070949>
- Yang X. & Wang H. (2014). PACKAGING | Controlled atmosphere. *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp. 1006–1011). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384730-0.00433-x>
- Yam Kit L. (2009). The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology. <https://doi.org/10.1002/9780470541395>
- Yildiz A., Palazoğlu T. K. & Erdoğdu F. (2007). Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.021>
- Zhuang H., Barth, M. & Cisneros-Zevallos L. (2014). Modified atmosphere packaging for fresh fruits and vegetables. *Innovations in Food Packaging* (pp. 445–473). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394601-0.00018-7>
- Zhuang K. (2011). Periodic solutions for a three species predator prey system on time scales. *International Journal of Dynamical Systems and Differential Equations*, 3(1/2), 3. <https://doi.org/10.1504/ijdsde.2011.038492>
- Zhang Y., Zhang T., Fan D., Li J. & Fan L. (2018). The description of oil absorption behavior of potato chips during the frying. *LWT*, 96, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.094>
- Δερμεσονλούογλου Ε. (2008). Μελέτη μη θερμικών προκατεργασιών για τη βελτίωση της ποιότητας κατεψυγμένων φυτικών προϊόντων. <https://doi.org/10.12681/eadd/17265>
- Χούχουλα Δ. (2003). Μελέτη της θερμοοξειδωτικής αλλοίωσης των ελαίων και της επίδρασης φυσικών αντιοξειδωτικών κατά το τηγάνισμα τροφίμων (σελ. 12-17). <https://doi.org/10.12681/eadd/16720>
- Centre of Food Safety (2018, October 2). Cut down Sodium Intake from Crispy Chips. https://www.cfs.gov.hk/english/multimedia/multimedia_pub/multimedia_pub_fsf_76_02.html

Dumitrache I. (2022, November 21). E300 - Ascorbic acid (vitamin C) - InfoCons. InfoCons. <https://infocons.org/blog/2022/11/21/e300-ascorbic-acid-vitamin-c/>

Food Standards Agency (2024). Approved additives and E numbers. Food Standards Agency. <https://www.food.gov.uk/business-guidance/approved-additives-and-e-numbers>

Helgi Library. (2023). Potato consumption per capita in Greece. <https://www.helgilibrary.com/indicators/potato-consumption-per-capita/greece/>

Pulsed Electric Field food processing | Elea. (2024, May 16). Elea. <https://elea-technology.com/>

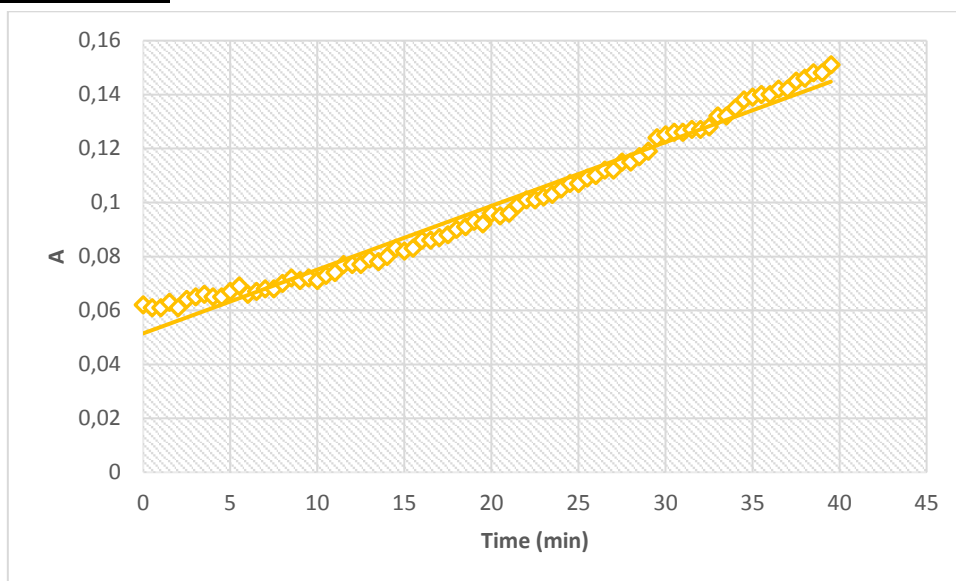
Scottish Chip Company. <https://scotchchip.co.uk/collections/prepared>

The Business Research Company. (2024). French fries global market report. <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/french-fries-global-market-report>

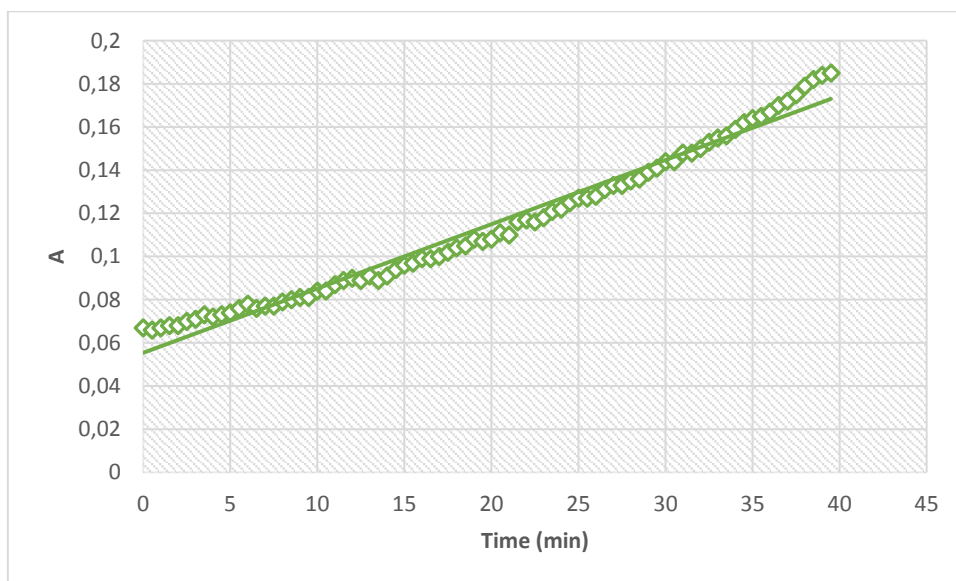
U.S. Department of Agriculture. (1998). Frozen foods in Greece [PDF]. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Frozen+Foods+in+Greece_Rome_Greece_10-21-1998.pdf

UMN Extension. (2019, October 24). Potatoes: Post-harvest disorders and management tips. University of Minnesota Extension. <https://blog-fruit-vegetable-ipm.extension.umn.edu/2019/10/potatoes-post-harvest-disorders-and.html>

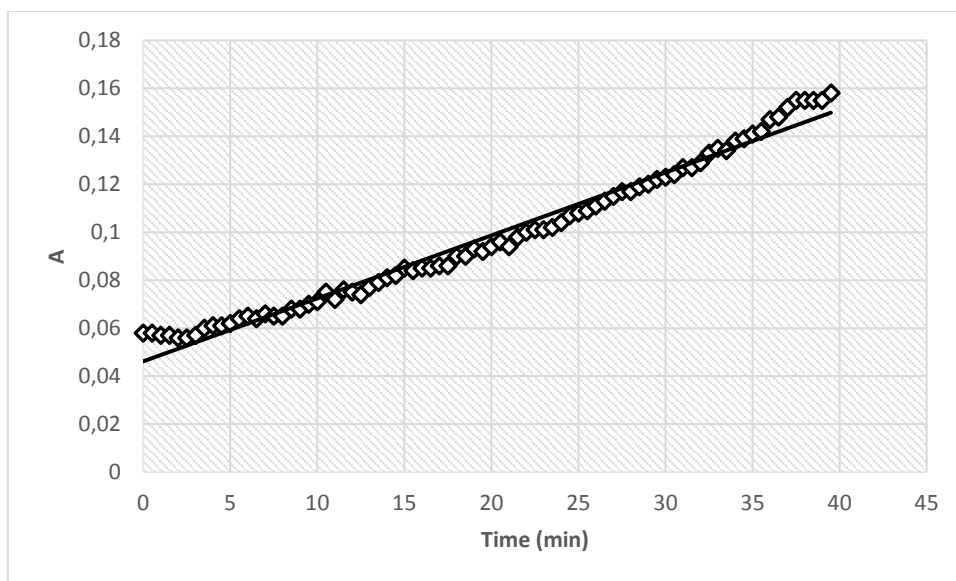
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



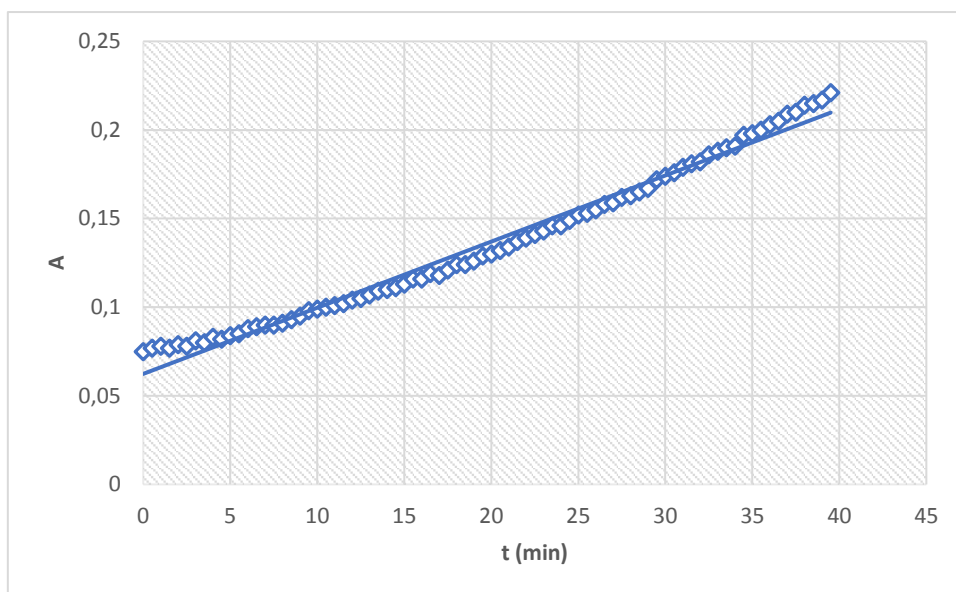
Διάγραμμα Π.1: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων (10%) με αραιώση 1:10



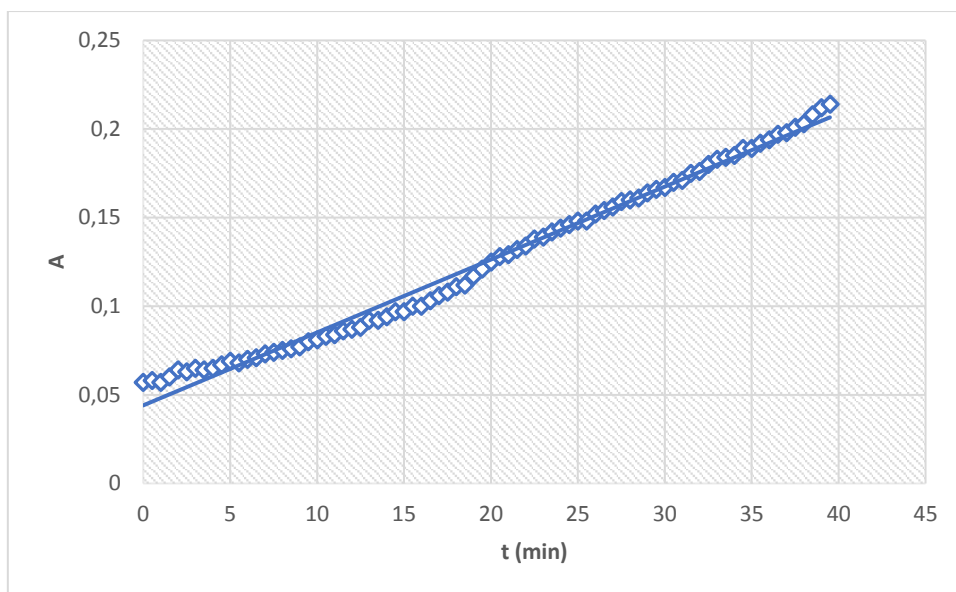
Διάγραμμα Π.2: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων (20%) με αραιώση 1:10



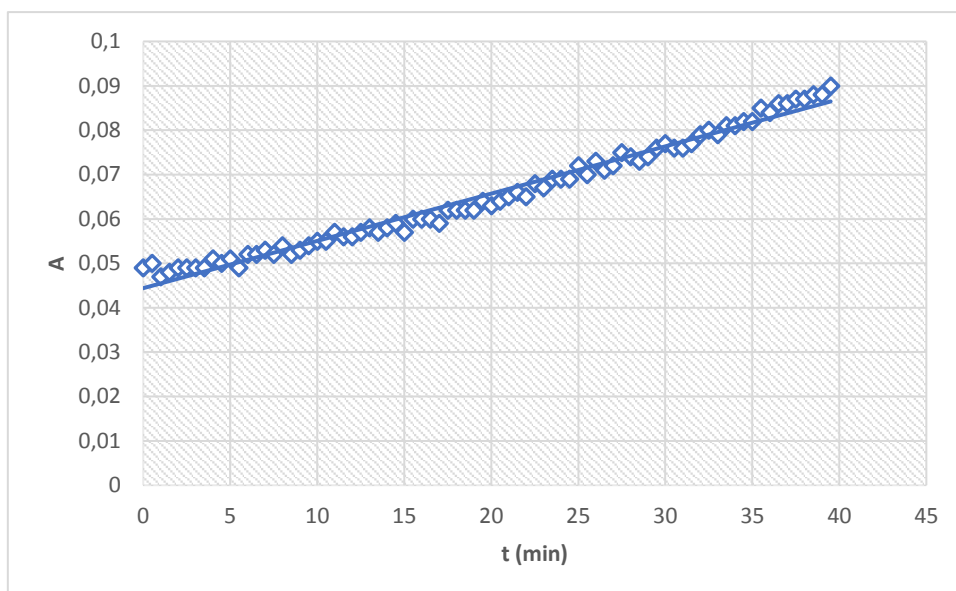
Διάγραμμα Π.3: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης επεξεργασμένων-ωσμωμένων δειγμάτων (20%) με αραιώση 1:10



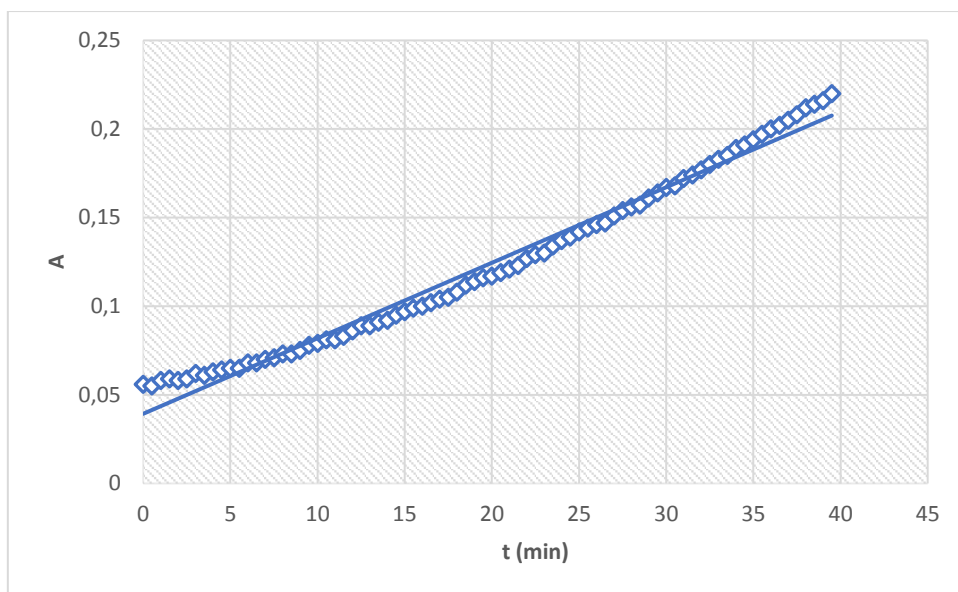
Διάγραμμα Π.4: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωμένων δειγμάτων (10%) με αραιώση 1:5



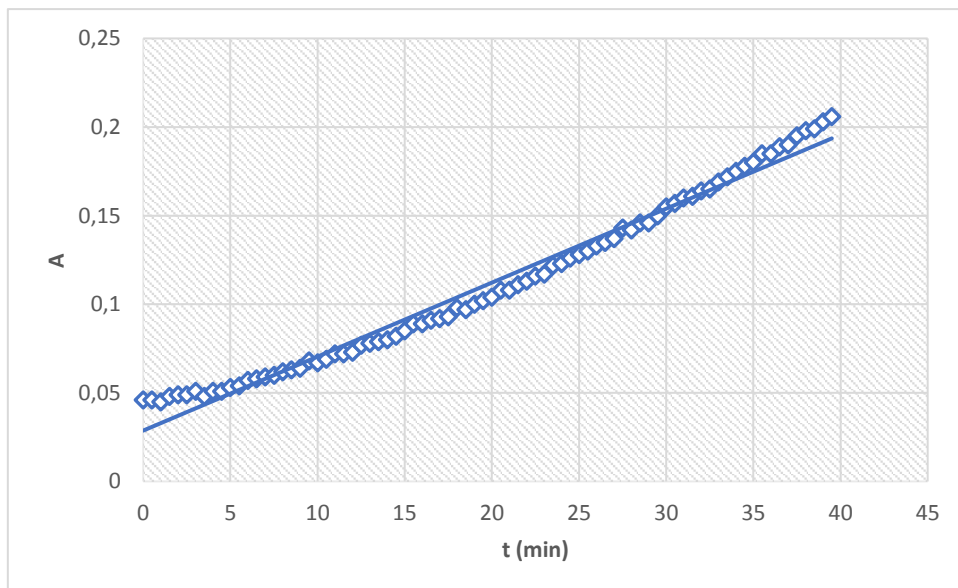
Διάγραμμα Π.5: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωμένων δειγμάτων (10%) με αραίωση 1:10



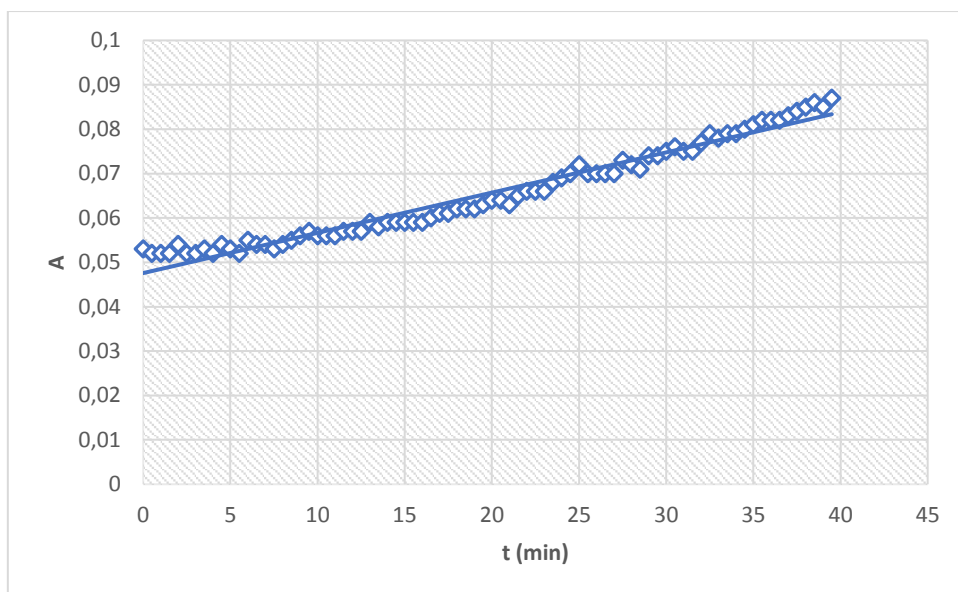
Διάγραμμα Π.6: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωμένων δειγμάτων (10%) με αραίωση 1:100



Διάγραμμα Π.7: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωμένων δειγμάτων (20%) με αραιώση 1:10



Διάγραμμα Π.8: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωμένων δειγμάτων (20%) με αραιώση 1:100



Διάγραμμα Π.9: Διάγραμμα απορρόφησης χρόνου για τη μέτρηση γλυκερόλης ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων (20%) με αραιώση 1:200

Πίνακας Π.1: Στατιστική ανάλυση αριθμού υπεροξειδίων για το έλαιο φριτέζας

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	1,341030934	5	0,268206	22,84627	3,57E-05	3,325835
Columns	16,93373844	2	8,466869	721,2225	1,55E-11	4,102821
Error	0,11739607	10	0,01174			
Total	18,39216544	17				

Πίνακας Π.2: Στατιστική ανάλυση τιμών ανισιδίνης για το έλαιο πατάτας

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
Προέλευση διακύμανσης	SS	βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Μεταξύ ομάδων	121,2442	1	121,2442152	77,91741863	2,14E-05	5,317655072
Μέσα στις ομάδες	12,44848	8	1,556060472			
Σύνολο	133,6927	9				

Πίνακας Π.3: Στατιστική ανάλυση τιμών ανισιδίνης για το έλαιο φριτέζας

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
Προέλευση διακύμανσης	<i>SS</i>	βαθμοί ελευθερίας	<i>MS</i>	<i>F</i>	τιμή- <i>P</i>	κριτήριο <i>F</i>
Μεταξύ ομάδων	211,8634	1	211,8634291	35,69893282	0,000333	5,317655072
Μέσα στις ομάδες	47,47782	8	5,934727242			
Σύνολο	259,3412	9				

Πίνακας Π.4: Στατιστική ανάλυση τιμών K_{232} για το έλαιο πατάτας

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
Προέλευση διακύμανσης	<i>SS</i>	βαθμοί ελευθερίας	<i>MS</i>	<i>F</i>	τιμή- <i>P</i>	κριτήριο <i>F</i>
Μεταξύ ομάδων	5529,872643	1	5529,872643	201,7966933	5,87E-07	5,317655
Μέσα στις ομάδες	219,2255007	8	27,40318759			
Σύνολο	5749,098144	9				

Πίνακας Π.5: Στατιστική ανάλυση τιμών K_{232} για το έλαιο φριτέζας

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
Προέλευση διακύμανσης	<i>SS</i>	βαθμοί ελευθερίας	<i>MS</i>	<i>F</i>	τιμή- <i>P</i>	κριτήριο <i>F</i>
Μεταξύ ομάδων	6369,761	1	6369,76091	161,1940174	1,39E-06	5,317655072
Μέσα στις ομάδες	316,1289	8	39,5161124			
Σύνολο	6685,89	9				

Πίνακας Π.6: Στατιστική ανάλυση τιμών K_{270} για το έλαιο πατάτας

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
Προέλευση διακύμανσης	<i>SS</i>	βαθμοί ελευθερίας	<i>MS</i>	<i>F</i>	τιμή- <i>P</i>	κριτήριο <i>F</i>
Μεταξύ ομάδων	6713,579	1	6713,579	368,6254296	5,6144E-08	5,317655072
Μέσα στις ομάδες	145,6997	8	18,21247			
Σύνολο	6859,279	9				

Πίνακας Π.7: Στατιστική ανάλυση τιμών K_{270} για το έλαιο φριτέζας

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ						
Προέλευση διακύμανσης	SS	βαθμοί ελευθερίας	MS	F	τιμή-P	κριτήριο F
Μεταξύ ομάδων	7685,781	1	7685,780588	334,254182	8,24E-08	5,317655
Μέσα στις ομάδες	183,9506	8	22,99382028			
Σύνολο	7869,731	9				



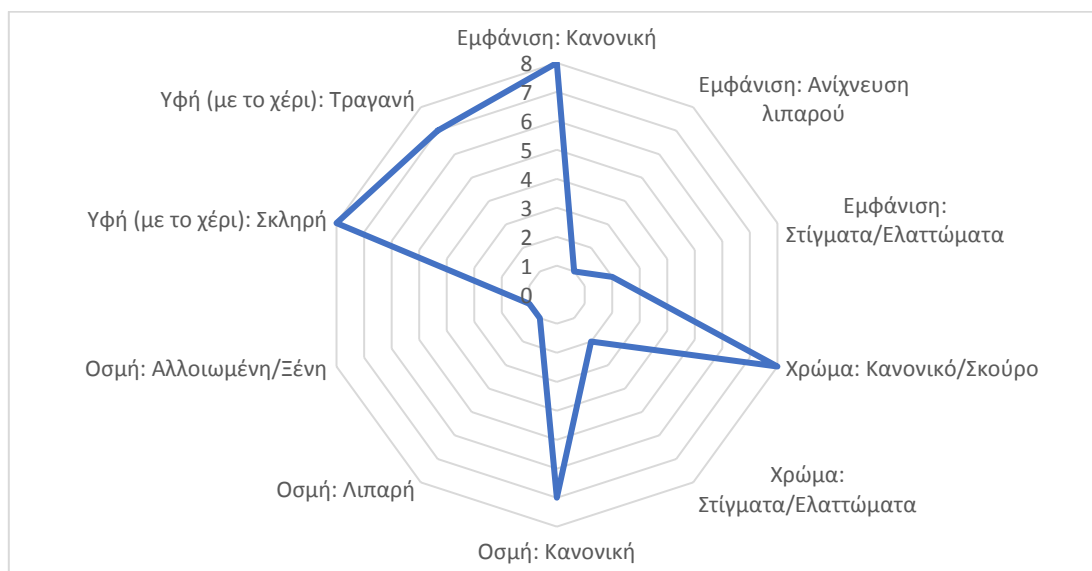
Διάγραμμα Π.10: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 1)



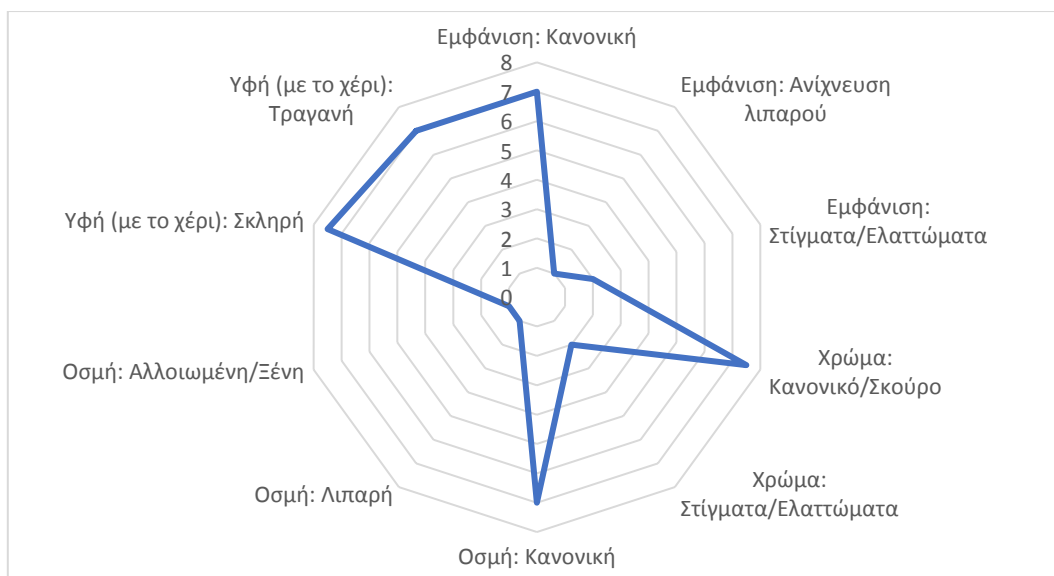
Διάγραμμα Π.11: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 1)



Διάγραμμα Π.12: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 1)



Διάγραμμα Π.12: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 2)



Διάγραμμα Π.13: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 2)



Διάγραμμα Π.14: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 2)



Διάγραμμα Π.15: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 4)



Διάγραμμα Π.16: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 4)



Διάγραμμα Π.17: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 4)



Διάγραμμα Π.18: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 8)



Διάγραμμα Π.19: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 8)



Διάγραμμα Π.20: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 8)



Διάγραμμα Π.21: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 11)



Διάγραμμα Π.22: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 11)



Διάγραμμα Π.23: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 11)



Διάγραμμα Π.24: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 4)



Διάγραμμα Π.25: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 4)



Διάγραμμα Π.26: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 4)



Διάγραμμα Π.27: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 8)



Διάγραμμα Π.28: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 8)



Διάγραμμα Π.29: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 8)



Διάγραμμα Π.30: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσμωνμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 4 °C (Ημέρα 11)



Διάγραμμα Π.31: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 8 °C (Ημέρα 11)



Διάγραμμα Π.32: Αξιολόγηση χαρακτηριστικών ωμών ΠΗΠ-επεξεργασμένων-ωσσωμένων δειγμάτων σε MAP συσκευασία στους 12 °C (Ημέρα 11)