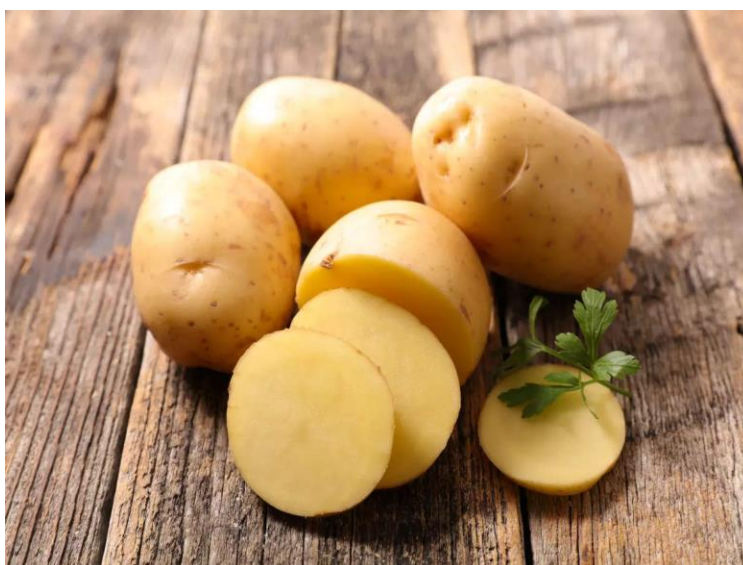




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ : ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης και ωμικής θέρμανσης για  
την παραγωγή προϊόντων πατάτας υψηλής ποιότητας**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΑΝΔΡΙΩΤΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ**

ΚΡΟΚΙΔΑ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ

## Πρόλογος

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά την περίοδο 2022-2024, υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας κ. Μαγδαληνής Κροκίδα. Σκοπός της εργασίας ήταν η βελτιστοποίηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης για την παραγωγή προϊόντων πατάτας υψηλής ποιότητας. Ειδικότερα, εξετάστηκε η επίδραση διαφόρων διαλυτών στην απώλεια υγρασίας, στην απορρόφηση στερεών και στη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος. Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι μέθοδοι της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης, και καθορίστηκαν οι βέλτιστες συνθήκες για την επίτευξη της καλύτερης ποιότητας της πατάτας. Οι πατάτες μελετήθηκαν ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, όπως το χρώμα, η υφή και το μικροβιολογικό φορτίο.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της. Ευχαριστώ θερμά την καθηγήτρια κ. Μαγδαληνή Κροκίδα για την ανάθεση αυτού του ενδιαφέροντος θέματος, την καθοριστική συμβολή και υποστήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Η έντονη ερευνητική της δραστηριότητα και οι πολύτιμες συμβουλές της ήταν καθοριστικοί παράγοντες για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην υποψήφια διδάκτορα Αλεξάνδρα Μαρή για την καθημερινή στήριξη, την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της εργασίας μου. Η προθυμία της να λύσει οποιαδήποτε απορία και η μεταδοτικότητα των γνώσεών της με βοήθησαν ιδιαίτερα και με ενθάρρυναν συνεχώς. Η βοήθειά της υπήρξε καθοριστική για την πραγματοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς ήταν πάντα διαθέσιμη και πρόθυμη να επιλύσει οποιονδήποτε προβληματισμό.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον υποψήφιο διδάκτορα Χριστόφορο Βασιλείου για την προθυμία και τη διάθεσή του να με βοηθήσει οποιαδήποτε στιγμή, καθώς και για την καθοδήγησή του στο εργαστήριο, επιλύοντας κάθε απορία μου.

Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν εκεί και για την επίλυση τυχόν αποριών κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία ήταν συνεχώς δίπλα μου, στηρίζοντας κάθε μου επιλογή καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Η υπομονή και η κατανόησή τους αποτέλεσαν καταλυτικούς παράγοντες για την ολοκλήρωση της εργασίας μου. Οι φίλοι μου δεν θα μπορούσαν να παραλειφθούν, γιατί χωρίς αυτούς δεν θα είχε ολοκληρωθεί η εργασία μου.

## Περίληψη

Τα φρέσκα κομμένα φρούτα και λαχανικά έχουν κερδίσει σημαντική αποδοχή στην αγορά και έχουν σημειώσει αυξανόμενη τάση τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της ζήτησης των καταναλωτών για υγιεινά, βολικά και φρέσκα τρόφιμα (Dite Hunjek et al., 2020; Li et al., 2022; Liu, Yang, et al., 2019; Shen et al., 2019). Μεταξύ αυτών των προϊόντων, οι πατάτες (*Solanum tuberosum*) είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς (Zhao et al., 2022). Σύμφωνα με τα πρόσφατα δεδομένα του FAOSTAT, οι πατάτες κατατάσσονται μεταξύ των πέντε κορυφαίων παγκόσμιων καλλιεργειών, με την κατανάλωση να αυξάνεται συνεχώς λόγω της υψηλής θρεπτικής τους αξίας, συμπεριλαμβανομένων των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών, των μεταλλικών στοιχείων, των βιταμινών και άλλων απαραίτητων θρεπτικών συστατικών (FAOSTAT, World Crops 2021, 2023; Liu, Yang, et al., 2019).

Ωστόσο, η ενζυματική καφένωση, η οποία εμφανίζεται ως σκοτεινή αποχρωματισμένη περιοχή στη σάρκα, επηρεάζει σημαντικά την αισθητική ποιότητα και τη θρεπτική αξία των πατατών μετά το ξεφλούδισμα και το κόψιμο (Liu, Yang, et al., 2019). Αυτή η αποχρωμάτιση προκαλείται από τη μελανόγωση, όπου οι φαινολικές ενώσεις στις πατάτες οξειδώνονται σε σκούρα χρωστική μελανίνη. Αυτή η διαδικασία καταλύεται από το ένζυμο πολυφαινολική οξειδάση (PPO), το οποίο βρίσκεται στον κυτταρόπλασμα των φυτικών κυττάρων. Επομένως, η πρόληψη της ενζυματικής καφένωσης στις φρέσκες κομμένες πατάτες απαιτεί την αναστολή της δραστηριότητας του ενζύμου στην αρχή της αντίδρασης (Liu, Wang, et al., 2019; Zhao et al., 2022). Επιπλέον, οι φρέσκες κομμένες πατάτες που αποθηκεύονται στο ψυγείο χαλάνε μέσα σε οκτώ ημέρες, περιορίζοντας περαιτέρω τη διάρκεια ζωής τους και τη χρησιμότητά τους. Για την επίτευξη μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, διάφορες προεπεξεργασίες, όπως η ωσμωτική αφυδάτωση και η ωμική θέρμανση, χρησιμοποιούνται ως φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις (Su et al., 2021a).

Η ωσμωτική αφυδάτωση (OD) είναι μια μέθοδος ιδιαίτερα αποτελεσματική για την επέκταση της διάρκειας ζωής φρούτων και λαχανικών. Διατηρεί και ενισχύει την θρεπτική περιεκτικότητα και τις αισθητικές ποιότητες, όπως το χρώμα, το άρωμα, την υφή και τη γεύση, των φρέσκων προϊόντων χωρίς να διακυβεύεται η ακεραιότητά τους (Kaur et al., 2022; Pandiselvam et al., 2022). Η ωσμωτική αφυδάτωση λειτουργεί με τη μεταφορά νερού από το τρόφιμο σε ένα ωσμωτικά δραστικό διάλυμα, ενώ οι διαλυτές ουσίες από το διάλυμα διεισδύουν στο τρόφιμο (Pandiselvam et al., 2022). Αυτή η διπλή δράση μειώνει την περιεκτικότητα σε υγρασία, αναστέλλει την ανάπτυξη μικροβίων και εμπλουτίζει το προϊόν με ευεργετικές ουσίες, με αποτέλεσμα ένα τρόφιμο υψηλής ποιότητας και λειτουργικό (Kaur et al., 2022; Pantelidou et al., 2021). Πολλές μελέτες έχουν εξετάσει την ωσμωτική αφυδάτωση σε προϊόντα πατάτας. Για παράδειγμα, (Su et al., 2021a) χρησιμοποίησαν την ωσμωτική αφυδάτωση για τη μείωση της απορρόφησης λαδιού κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, ενώ η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιήθηκε ως προεπεξεργασία για πατάτες τηγανισμένες στον αέρα (Tabib et al., 2015), και η ωσμωτική αφυδάτωση βελτιστοποιήθηκε με χρήση μεθόδου επιφανειακής ανάλυσης (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007). Σημαντικοί παράγοντες στην ωσμωτική αφυδάτωση περιλαμβάνουν τον τύπο και τη συγκέντρωση του διαλύματος και τις λειτουργικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και ο χρόνος εμβύθισης (Abrahão & Corrêa, 2023).

Η ωμική θέρμανση (OH) είναι μια καινοτόμος και αποτελεσματική μέθοδος για τη διατήρηση της ποιότητας και την επέκταση της διάρκειας ζωής φρούτων και λαχανικών. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τη διέλευση ενός ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του τροφίμου, προκαλώντας εσωτερική θέρμανση λόγω της ηλεκτρικής αντίστασης του τροφίμου (Icier & Ilicali, 2005). Η ωμική θέρμανση εξασφαλίζει ταχεία

και ομοιόμορφη θέρμανση, η οποία βοηθά στη διατήρηση της θρεπτικής περιεκτικότητας και των αισθητικών χαρακτηριστικών, όπως η υφή, το χρώμα και η γεύση των φρέσκων προϊόντων (Huang et al., 2023). Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην αναστολή ενζύμων και μικροοργανισμών, αποτρέποντας έτσι τη σήψη και επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής (Sain et al., 2024). Πολλές μελέτες έχουν επισημάνει τα οφέλη της ωμικής θέρμανσης στην επεξεργασία τροφίμων. Για παράδειγμα, οι Icier & Ilicali (2005) απέδειξαν ότι η ωμική θέρμανση αναστέλλει αποτελεσματικά την πολυφαινολική οξειδάση στον χυμό μήλου, μειώνοντας την ενζυματική καφένωση (Icier & Ilicali, 2005). Μια άλλη μελέτη από τους Torkian Boldaji et al. (2014) έδειξε ότι η ωμική θέρμανση διατήρησε υψηλότερα επίπεδα βιταμινών και αντιοξειδωτικών σε πάστα ντομάτας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους θέρμανσης (Torkian Boldaji et al., 2014). Σημαντικές παράμετροι στην ωμική θέρμανση περιλαμβάνουν την εφαρμοσμένη τάση, τη συχνότητα και τη διάρκεια της επεξεργασίας, οι οποίες πρέπει να βελτιστοποιηθούν για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων ποιότητας (Iranshahi et al., 2023).

Ενώ η ωσμωτική αφυδάτωση και η ωμική θέρμανση έχουν μελετηθεί εκτενώς για τα φρέσκα κομμένα φρούτα και λαχανικά, ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών που εφαρμόζεται στις φρέσκες κομμένες πατάτες, προκειμένου να ανασταλούν οι ενζυματικές καφέσεις, όπως εξετάζεται σε αυτή τη μελέτη, φαίνεται να είναι καινοτόμος και δεν έχει αναφερθεί προηγουμένως.

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι η επέκταση της διάρκειας ζωής των φρέσκων κομμένων πατατών και η πρόληψη της ενζυματικής καφένωσης μέσω της χρήσης ήπιων μεθόδων επεξεργασίας, ειδικότερα της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης. Ο στόχος ήταν να προσδιοριστούν οι βέλτιστες παράμετροι για κάθε μέθοδο και να αξιολογηθεί η ποιότητα των επεξεργασμένων προϊόντων. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωσμωτική αφυδάτωση, ωμική θέρμανση και συνδυασμό και των δύο μεθόδων υπό βέλτιστες συνθήκες, αξιολογήθηκαν για την απώλεια βάρους, την αλλαγή χρώματος, την ενζυματική δραστηριότητα, το μικροβιακό φορτίο και τα αισθητικά χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

## Abstract

Fresh-cut fruits and vegetables have gained significant market traction and have seen a growing trend over the past few decades, driven by consumer demand for healthy, convenient, and fresh foods (Dite Hunjek et al., 2020; Li et al., 2022; Liu, Yang, et al., 2019; Shen et al., 2019). Among these products, potatoes (*Solanum tuberosum*) are particularly popular (Zhao et al., 2022). According to recent FAOSTAT data, potatoes rank among the top five global crops, with consumption continuously rising due to their high nutritional content, including carbohydrates, proteins, minerals, vitamins, and other essential nutrients (FAOSTAT, World Crops 2021, 2023; Liu, Yang, et al., 2019). However, enzymatic browning, noticeable as a dark discoloration in the flesh, significantly affects the sensory quality and nutritional value of potatoes after peeling and cutting (Liu, Yang, et al., 2019). This discoloration is caused by melanogenesis, where phenolic compounds in potatoes are oxidized into dark-colored melanin. This process is catalyzed by the enzyme polyphenol oxidase (PPO), which resides in the cytoplasm of plant cells. Therefore, preventing enzymatic browning in fresh-cut potatoes requires inhibiting the enzyme's activity at the onset of the reaction (Liu, Wang, et al., 2019; Zhao et al., 2022). Additionally, fresh-cut potatoes stored in the refrigerator spoil within eight days, further limiting their shelf-life and usability. In order to achieve prolonged shelf-life, various pre-treatment methods, such as osmotic dehydration and ohmic heating, are employed as environmentally friendly solutions (Su et al., 2021a). Osmotic dehydration (OD) is a method highly effective for extending the shelf life of fruits and vegetables. It not only preserves but enhances the nutritional content and sensory qualities, such as color, aroma, texture, and flavor, of fresh-cut produce without compromising their integrity (Kaur et al., 2022; Pandiselvam et al., 2022). Osmotic dehydration works by transferring water from the food into an osmo-active solution while solutes from the solution penetrate the food (Pandiselvam et al., 2022). This dual action reduces moisture content, inhibiting spoilage microorganisms, and enriches the product with beneficial solutes, resulting in a high-quality functional food (Kaur et al., 2022; Pantelidou et al., 2021). Numerous studies have explored osmotic dehydration in potato products. For instance, (Su et al., 2021a) used osmotic dehydration to lower oil uptake during frying employed osmotic dehydration as a pre-treatment for air-fried potato chips (Tabib et al., 2015), and optimized osmotic dehydration using response surface methodology (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007). Key factors in osmotic dehydration include the type and concentration of the solution and operational conditions like temperature and immersion time (Abrahão & Corrêa, 2023). Ohmic heating (OH) is an innovative and efficient method for preserving the quality and extending the shelf life of fruits and vegetables. This technique involves passing an electric current through the food, generating heat internally due to the food's electrical resistance (Icier & Ilicali, 2005). Ohmic heating ensures rapid and uniform heating, which helps to maintain the nutritional content and sensory properties such as texture, color, and flavor of fresh-cut produce (Huang et al., 2023). It is particularly effective in inactivating enzymes and microorganisms, thereby preventing spoilage and extending shelf life (Sain et al., 2024). Various studies have highlighted the benefits of ohmic heating in food processing. For instance, Icier & Ilicali (2005) demonstrated that ohmic heating effectively inactivated polyphenol oxidase in apple juice, reducing enzymatic browning (Icier & Ilicali, 2005). Another study by Torkian Boldaji et al. (2014) showed that ohmic heating treated tomato paste retained higher levels of vitamins and antioxidants compared to conventional heating methods (Torkian Boldaji et al., 2014). Key parameters in ohmic heating include the applied voltage, frequency, and treatment duration, which must be optimized to achieve the desired quality outcomes (Iranshahi et al., 2023). While osmotic dehydration and ohmic heating have each been extensively studied for fresh-cut fruits

and vegetables, the combination of these technologies applied on fresh-cut potatoes, in order to inhibit enzymatic browning, as explored in this study, appears to be novel and previously unreported. The purpose of this study is to extend the shelf-life of fresh-cut potatoes and prevent enzymatic browning through the use of mild processing techniques, specifically osmotic dehydration and ohmic heating. The goal was to identify the optimal parameters for each method and to assess the quality of the treated products. Potatoes subjected to osmotic dehydration, ohmic heating, and a combination of both methods under optimal conditions were evaluated for weight loss, color change, enzymatic activity, microbial load, and sensory characteristics during storage.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	2
Περίληψη .....	3
Abstract .....	5
1. Πρώτες Ύλες.....	10
1.1 Εισαγωγή .....	11
1.2 Προέλευση και άλλα χαρακτηριστικά .....	12
1.3 Χημική Σύσταση της Πατάτας.....	15
1.3.1 Καροτενοειδή .....	15
1.3.4 Υδατάνθρακες.....	15
1.3.5 Βιταμίνη C.....	16
1.4 Πατάτα και οφέλη στην υγεία .....	17
1.5 Τα προϊόντα της πατάτας στη αγορά τροφίμων .....	18
2. Πειραματικές Τεχνικές.....	20
Κεφάλαιο 2 : Ωσμωτική Αφυδάτωση .....	22
2.1 Εισαγωγή .....	22
2.2 Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	22
2.3 Παράμετροι που Επηρεάζουν την Ωσμωτική Αφυδάτωση .....	24
2.3.1 Παράμετροι που Σχετίζονται με τα Χαρακτηριστικά της Πρώτης ύλης .....	24
2.3.2 Παράμετροι που Σχετίζονται με τη Διεργασία .....	24
2.4 Μαθηματική Προσομοίωση της Μεταφοράς Μάζας.....	25
2.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	26
2.6 Προβλήματα κατά την Εφαρμογή στη Βιομηχανία .....	27
2.7 Εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βιομηχανία τροφίμων .....	28
2.8 Νέες Τάσεις.....	28
Κεφάλαιο 3 .Ωμική Θέρμανση.....	30
3.1 Εισαγωγή .....	30
3.2 Μηχανισμός Ωμικής Θέρμανσης.....	31
3.3 Παράμετροι που επηρεάζουν την ωμική θέρμανση .....	33
3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της ωμικής θέρμανσης .....	34
3.5 Μελλοντικές Προοπτικές της σύνθεσης με ωμική θέρμανση .....	34
3.6 Εφαρμογές της ωμικής θέρμανσης .....	35

3.Υλικά – Μέθοδοι.....	37
Κεφάλαιο 4 : Υλικά και μέθοδοι .....	39
4.1 Σκοπός .....	39
4.2 Υλικά – Χημικά Αντιδραστήρια.....	39
4.2.1 Υλικά .....	39
4.2.2 Χημικά αντιδραστήρια.....	39
4.3 Πειραματική Διαδικασία .....	40
4.3.1 Ωσμωτική αφυδάτωση .....	40
4.3.2 Ωμική Θέρμανση .....	42
4.4 Προσδιορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών .....	44
4.4.1 Μέτρηση μεταβολής χρώματος .....	44
4.4.2 Ολική οξύτητα .....	45
4.4.3 Ολικά διαλυτά στερεά .....	46
4.4.4 Ενζυμική δραστηριότητα PPO .....	46
4.4.5 Επιλογή βέλτιστων δειγμάτων .....	46
4.5 Αξιολόγηση βέλτιστων φρεσκοκομμένων πατατών με την αποθήκευση.....	47
4.5.1 Μέτρηση απώλεια βάρους.....	47
4.5.2 Μεταβολή χρώματος.....	47
4.6 Προσδιορισμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών .....	49
4.7 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου .....	50
4.Αποτελέσματα Συζήτηση Αποτελεσμάτων.....	53
Κεφάλαιο 5 : Αποτελέσματα – Συζήτηση αποτελεσμάτων .....	54
5.1 Ωσμωτική Αφυδάτωση .....	54
5.2Αξιολόγηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης .....	59
5.2.1Ολική οξύτητα .....	59
5.2.2Ολικά διαλυτά στερεά (TSS).....	61
5.2.3Ενζυμική ενεργότητα (PPO).....	63
5.2.4Μεταβολή χρώματος.....	65
5.3 Ωμική Θέρμανση .....	67
5.3.1 Βελτιστοποίηση ωμικής θέρμανσης.....	67
5.3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των βέλτιστων δειγμάτων πατάτας με ωμική θέρμανση .....	67
5.4 Ποιοτικός χαρακτηρισμός τελικών προϊόντων.....	69
5.5 Ενζυμική δραστηριότητα (PPO) και αλλαγή χρώματος.....	70
5.6 Σκληρότητα.....	74
5.7 Μικροβιακή Ανάλυση.....	75

5.8 Αισθητική Αξιολόγηση .....	77
5. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Ενέργειες .....	79
Συμπέρασμα .....	80
Μελλοντικές Ενέργειες .....	81

# 1. Πρώτες Ύλες

## 1.1 Εισαγωγή

Η πατάτα ( *Solanum tuberosum* ) γνωστή και ως γεώμηλο , είναι φυτό που ανήκει στην οικογένεια των Στρυχνοειδών. Καλλιεργείται για τους εδώδιμους κονδύλους της , οι οποίοι είναι πλούσιοι σε άμυλο και αποτελούν τροφή μεγάλης θρεπτικής αξίας. Η πατάτα είναι φυσική των Ανδέων στο Περού και τη Βολιβία και αποτελεί έναν απο τους κύριους καλλιεργούμενους τροφικούς πόρους του κόσμου. Οι πατάτες συχνά σερβίρονται ολόκληρες ή σαν πουρές ως μαγειρευτό λαχανικό και χρησιμοποιούνται επίσης ως αλεύρι πατάτας στο ψήσιμο και ως πυκνωτικό για σάλτσες. Τα βολβοειδή είναι εξαιρετικά εύπεπτα και παρέχουν βιταμίνη C , πρωτεΐνη , θειαμίνη και νιασίνη

Η πατάτα είναι η τρίτη πιο σημαντική καλλιέργεια τροφίμων στο κόσμο μετά το ρύζι και το σιτάρι από άποψη ανθρώπινης κατανάλωσης. Περισσότεροι από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι σε όλο το κόσμο τρώνε πατάτες και η παγκόσμια συνολική φυτική παραγωγή ξεπερνά τους 300 εκκατομύρια τόνους.

Υπάρχουν περισσότερες από 4000 ποικιλίες γηγενών πατατών, που βρίσκονται κυρίως στις Άνδεις. Έρχονται σε πολλά μεγέθη και σχήματα. Υπάρχουν επίσης πάνω από 180 είδη άγριας πατάτας. Αν και είναι πολύ πικρά για να τρώμε , η σημαντική βιοποικιλότητά τους περιλαμβάνει φυσικές αντιστάσεις σε παράσιτα , ασθένειες και κλιματικές συνθήκες.



**Εικόνα 1.1 Πατάτα Νάξου**

Η πατάτα πολλαπλασιάζεται αγενώς , που σημαίνει ότι ένα νέο φυτό μπορεί να αναπτυχθεί από μια πατάτα ή ένα κομμάτι πατάτας που ονομάζεται «σπόρος». Το νέο φυτό μπορεί να παράγει 5-20 νέους κόνδυλους , οι οποίοι θα είναι γενετικοί κλώνοι του μητρικού φυτού σπόρου. Τα φυτά της πατάτας παράγουν επίσης άνθη και μούρα που περιέχουν 100-400

βοτανικούς σπόρους.Αυτά μπορούν να φυτευτούν για τη παραγωγή νέων κονδύλων , οι οποίοι θα είναι γενετικά διαφορετικοί απο το μητρικό φυτό ( Encyclopedia Brittanica et al.,2018)



### 1.2 Προέλευση και άλλα χαρακτηριστικά

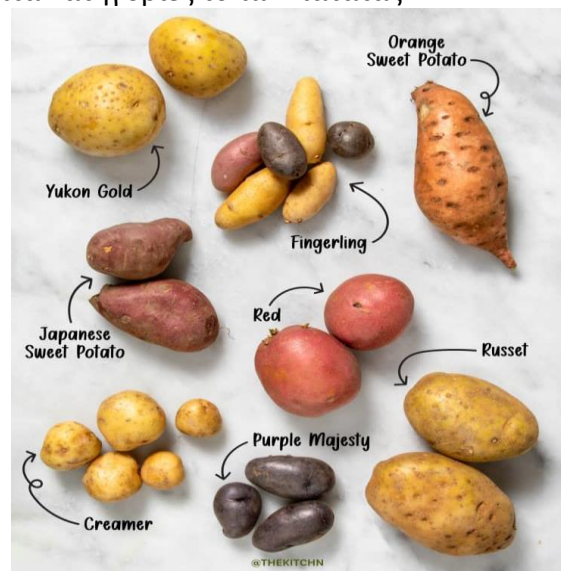
Οι πατάτες πιστεύεται ότι εκτράφηκαν ανεξάρτητα και καλλιεργήθηκαν ευρέως στην Νότια Αμερική από τους Ίνκας τουλάχιστον πριν απο 1800 χρόνια. Κατά τη διάρκεια της εισβολής των Ισπανών , οι πατάτες εισήχθησαν στην Ευρώπη κατά το δεύτερο μισό του 16<sup>ου</sup> αιώνα. Προς το τέλος του 17<sup>ου</sup> αιώνα , η φυτεία αυτή είχε γίνει σημαντική στην Ιρλανδία , ενώ προς το

τέλος του 18<sup>ου</sup> αιώνα αποτελούσε σημαντική καλλιέργεια στην Ευρώπη γενικότερα , ιδιαίτερα στη Γερμανία και στη Δυτική Αγγλία. Συνέχισε να εξαπλώνεται και στις Δυτικές και Ανατολικές ημισφαίριες κατά τις πρώτες τέσσερις δεκαετίες του 19<sup>ου</sup> αιώνα , ενώ η Ιρλανδική οικονομία έγινε εξαρτημένη από τις πατάτες. Ωστόσο , οι καταστροφικές αποτυχίες των καλλιεργειών της Ιρλανδίας στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα ( ειδικά το 1846 και 1848 ) , λόγω της αργάνθειας ( *Phytophthora Infestans* ) και η επακόλουθη Ιρλανδική πείνα τροφοδότησαν μια πιο προσεκτική στάση έναντι της εξάρτησης από το φυτό.

Η πατάτα και συγκεκριμένα οι κόνδυλοι του φυτού αποτελούν μία απο τις σημαντικότερες τροφές του ανθρώπου εδώ και αιώνες ενώ στην Ελλάδα έγινε γνωστή μετά την Επανάσταση , χάρη στον Ιωάννη Καποδίστρια ( Encyclopedia Brittanica et al.,2018)

Υπάρχουν περισσότερες απο 200 ποικιλίες πατατών που πωλούνται σε όλες τις χώρες του κόσμου.Κάθε μια απο αυτές ανήκει σε μία από τις επτά κατηγορίες τύπων πατάτας :

- Russet
- Red
- White
- Yellow
- Purple
- Fingerling

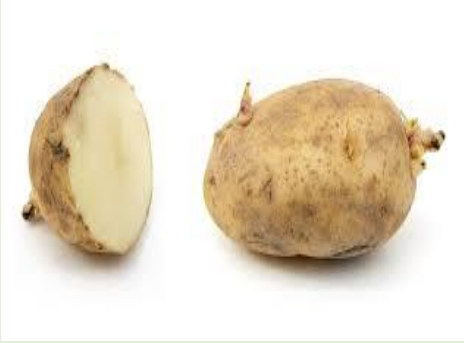




- Petite

Οι πατάτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν ενέργεια στο σώμα και τον εγκέφαλο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Εύκολες στην προετοιμασία και στο μαγείρεμα.

Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας με τα κυριότερα είδη πατάτας και κάποια χαρακτηριστικά τους

**Πίνακας 1.1: Είδη , Ιστορία και χαρακτηριστικά της πατάτας**

ΕΙΔΗ ΠΑΤΑΤΑΣ	ΙΣΤΟΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
 <p data-bbox="397 1060 513 1087"><b>1.RUSSET</b></p>	<p data-bbox="760 716 1065 1129">Η πατάτα Russet Burbank ανακαλύφθηκε το 1870 από τον αγρότη Luther Burbank στη Μασαχουσέτη. Σήμερα η πατάτα Russet Burbank είναι κυρίαρχη ποικιλία που καλλιεργείται στις Ηνωμένες Πολιτείες , ειδικά στο Βορειοδυτικό Ειρηνικό</p>	<p data-bbox="1105 716 1433 993">Οι πατάτες Russet είναι ιδανικές ως πουρές πατάτας. Επίσης τηγανίζονται ώστε να γίνουν τραγανές και χρυσαφί και είναι η πατάτα της επιλογής για ψήσιμο</p>
 <p data-bbox="418 1577 493 1604"><b>2.RED</b></p>	<p data-bbox="748 1163 1076 1692">Η Red Πατάτα καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά στα βουνά του Περού. Ισπανοί εξερευνητές φέραν την πατάτα μαζί τους και την εισήγαγαν στην Ευρώπη τη δεκαετία του 1560. Σήμερα οι Red πατάτες είναι ευρέως διαθέσιμες και μπορούν να βρεθούν στη Νότια Αμερική , τις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη</p>	<p data-bbox="1105 1163 1430 1388">Λόγω της κομψής υφής τους , η σάρκα των κόκκινων πατατών παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας μαγειρέματος</p> <p data-bbox="1105 1415 1419 1751">Το λεπτό αλλά ζωνατό κόκκινο δέρμα τους προσθέτει ελκυστικό χρώμα , ενώ χρησιμοποιούνται συχνά για τη παρασκευή πατατοσαλάτας ή για να προσθέσουν ζωντάνια σε σούπες</p>

 <p><b>3.WHITE</b></p>		<p>Οι λευκές πατάτες διατηρούν καλά το σχήμα τους μετά το μαγείρεμα. Το λεπτό , απαλό τους δέρμα προσθέτει ακριβώς τη σωστή υφή σε ένα βελούδινο πιάτο πουρέ</p>
 <p><b>4.YELLOW</b></p>	<p>Η Yellow πατάτα , γνωστή και ως Yukon Gold , είναι ένα μεγάλο καλλιεργούμενο είδος πατάτας , το οποίο χαρακτηρίζεται κυρίως από το λεπτό, λείο , χωρίς κόκκους δέρμα και τη κίτρινη απόχρωσή του.Αυτή η πατάτα αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1960 απο τον Γκάρνερ Τζόνστον στο Guelph του Οντάριο , στον Καναδά</p>	<p>Το ψήσιμο δίνει στις κίτρινες πατάτες ένα τραγανό δέρμα που ενισχύει τη πυκνή σάρκα , δημιουργώντας μια ελαφρώς γλυκιά , καραμαλωμένη γεύση</p>
 <p><b>5.PURPLE</b></p>	<p>Η μωβ πατάτα είναι εγγενής στο Περού και τη Βολιβία και διαδόθηκε στην Ευρώπη τον 16<sup>ο</sup> αιώνα , όταν ισπανοί ναυτικοί συγκέντρωσαν και χρησιμοποίησαν το σπόρο της πατάτας για διάφορες θεραπείες στα μεγάλα θαλάσσια ταξίδια τους</p>	<p>Οι περισσότερες μπλε/μωβ πατάτες έχουν υγρή/σταθερή σάρκα που διατηρεί το σχήμα της , ενώ προσθέτει πλούσιο , ζωηρό χρώμα και γευστική απόλαυση στις σαλάτες</p>



**6.FINGERLING POTATO**

Τα Fingerlings , πιστεύεται ότι προήλθαν από τα Άνδη στη περιοχή της Υψηλής Ανδρικής κοντά στη Λίμνη Τιτικάκα σε υψόμετρα που φτάνουν τα 10.000-12.000 πόδια.Σήμερα , η περιοχή αυτή αποτελεί τον τόπο διεξαγωγής ορισμένων απο τα πιο σημαντικά ερευνητικά έργα που σχετίζονται με τη βιοποικιλότητα της πατάτας.

Ο χρωματισμός και η μορφή των fingerlings είναι μια ευπρόσδεκτη οπτική προσθήκη σε οποιοδήποτε πιάτο . Το ψήσιμο και το τηγάνισμα εινσχύουν τη πλούσια γεύση τους. Τα fingerlings χρησιμοποιούνται συνήθως στις πατατοσαλάτες.

( Encyclopedia Brittanica et al.,2018)

### 1.3 Χημική Σύσταση της Πατάτας

Η πατάτα είναι το πιο σημαντικό γεωργικό προϊόν για πολλές χρήσεις. Ωστόσο , η κύρια σημασία της είναι στο τομέα της διατροφής. Οι ποικίλες χρήσεις των πατάτων οφείλονται στην πολύτιμη χημική τους σύνθεση. Τα κονδύλια περιέχουν περίπου 25% στεγνή ύλη , συμπεριλαμβανομένου του 10 εως 23 % αμύλου , 1,4 – 3,0 % πρωτεΐνης υψηλής ποιότητας , βιταμίνες C , B1 , B2 , B6 , NP και K , καθιστώντας το ένα εξαιρετικά σημαντικό προϊόν για την ανθρώπινη διατροφή (Μ.Υυ. Karpukhin, F. Keita et al.,2020)

#### 1.3.1Καροτενοειδή

Σε επιστημονικές δημοσιεύσεις σημειώνεται ότι η ποσότητα των καροτενοειδών κυμαίνεται απο 50 εώς 100 mg ανα 100 γραμμάρια βρώσιμου , ωμού κονδυλίου με λευκό πλέγμα και φθάνει έως τα 2000 mg σε κονδύλια με σκουροκίτρινο και πορτοκαλί πλέγμα. Οι ποικιλίες των λευκών πατατών περιέχουν 40-101 mg/100 γραμμάρια υγρού βάρους καροτενοειδών , οι ποικιλίες των κίτρινων πατατών περιέχουν 101 – 250 mg/100 γραμμάρια ενώ οι fingerling πατάτες περιέχουν 509-795 mg /100 γραμμάρια. (Μ.Υυ. Karpukhin, F. Keita et al.,2020)

#### 1.3.4 Υδατάνθρακες

Ο κύριος ρόλος των υδατανθράκων στη διατροφή είναι η παροχή ενέργειας. Οι πολύπλοκοι υδατάνθρακες που περιέχονται στη πατάτα είναι σημαντικοί για μια υγιεινή διατροφή. Οι υδατάνθρακες στη πατάτα βρίσκονται κυρίως σε μορφή αμύλου. Το άμυλο παρέχει τον μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που παρέχεται απο τη πατάτα. (Μ.Υυ. Karpukhin, F. Keita et al.,2020)

### 1.3.5 Βιταμίνη C

Πολλοί συγγραφείς υποδεικνύουν ότι η συγκέντρωση της βιταμίνης C επηρεάζεται σημαντικά από τη ποικιλία της πατάτας. Επισημαίνεται η σημαντική επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στο περιεχόμενο του ασκορβικού οξέος. Η ξηρή καιρική συνθήκη το αυξάνει, ενώ οι υγρές και κρύες συνθήκες το μειώνουν. Κανονικά, το περιεχόμενο της βιταμίνης C σε ελαφρά εδάφη είναι υψηλότερο από ότι σε βαριά εδάφη. Η υπέρβαση αζώτου και καλίου μειώνει το περιεχόμενό του, ενώ ο φώσφορος το αυξάνει. Βρέθηκε ότι το επίπεδο της βιταμίνης C στις πατάτες εξαρτάται από το είδος της πατάτας κατά 44%, κατά 0,9% ανά έτος της καλλιέργειας και κατά 52,0% από τον συνδυασμό αυτών των παραγόντων. (Μ.Υυ. Karukhin, F. Keita et al., 2020)

Η χημική σύνθεση της πατάτας εκπλήσσει με μια τεράστια ποικιλία βιταμινών και μετάλλων. Αυτό το ριζικό λαχανικό είναι ασύγκριτο με οποιοδήποτε άλλο προϊόν. Περιέχει ζωτικές και πολύ χρήσιμες

βιταμίνες-, μακρο και μικροστοιχεία. Ο πίνακας της χημικής σύνθεσης των πατατών έχει τους ακόλουθους φυσικούς και ενεργειακούς δείκτες, οι οποίοι υπολογίστηκαν ανα 100 g προϊόντος.

**Πίνακας 1.2 Σύνθεση βιταμινών στις πατάτες**

Βιταμίνες	/100 g προϊόντος
B1 – Θειαμίνη	0,14 mg
B2 – Ριβφλαβίνη	0,7 mg
B6 – Πυριδοξίνη	0,3 mg
B9 – Φολικό οξύ	17 cm <sup>3</sup>

**Πίνακας 1.3 Σύνθεση μακροθρεπτικών στοιχείων στις πατάτες**

Μακροθρεπτικά στοιχεία	/100 g προϊόντος
Ασβέστιο	17 mg
Μαγνήσιο	23 mg
Κάλιο	568 mg
Φώσφορος	58 mg

**Πίνακας 1.4 Σύνθεση Ιχνοστοιχείων στις πατάτες**

Ιχνοστοιχεία	/100 g προϊόντος
Σίδηρο	0,9 mg
Ψευδάργυρος	0,36 mg
Ιώδιο	5 mcg
Χρώμιο	10 mcg
Φθόριο	30 mcg

( Eva Tsakou MedNutrition et al.,2020)

#### 1.4 Πατάτα και οφέλη στην υγεία

Η πατάτα περιέχει ένα μοναδικό συνδυασμό αντιοξειδωτικών συστατικών που δρουν προληπτικά και παίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της αρτηριακής πίεσης. Έτσι , μπορεί να έχει προστατευτική δράση στην υγεία της καρδιάς , καθώς η αυξημένη πίεση αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες κινδύνου για καρδιαγγειακά νοσήματα.

##### Ισχυρά αντιοξειδωτικά

Επιπλέον , η πατάτα περιέχει πληθώρα αντιοξειδωτικών (φλαβονοειδή, καροτενοειδή κ.α ), τα οποία αποτρέπουν τις ελεύθερες ρίζες από την οξείδωση , δρώντας προστατευτικά στο καρδιαγγειακό σύστημα. Στα αντιοξειδωτικά της πατάτας περιλαμβάνεται το χλωρογενικό οξύ, οι κατεχίνες (σε μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκονται στις μοβ πατάτες) και η λουτεΐνη, πιο γνωστή για τη δράση της στην υγεία των ματιών. Καθώς τα αντιοξειδωτικά και τα χρώματα πάνε μαζί, οι πατάτες με πιο έντονα χρώματα (κίτρινη, κόκκινη, μοβ) έχουν και μεγαλύτερη συγκέντρωση σε αντιοξειδωτικά. Στα αντιοξειδωτικά της πατάτας να προσθέσουμε και τη βιταμίνη C που περιέχει σε σημαντική ποσότητα, η οποία όμως μειώνεται αρκετά με το ψήσιμο. Μία καλή λύση για να ελαχιστοποιήσετε τις απώλειες είναι το ψήσιμο της πατάτας με τη φλούδα της. (M.Yu. Karukhin, F. Keita et al.,2020)

##### Διαχείριση του σακχάρου

Παρότι η πατάτα έχει υψηλό γλυκαιμικό δείκτη (ανάλογα την ποικιλία και τον τρόπο μαγειρέματος), η ψύξη της μετά το μαγείρεμα δημιουργεί έναν τύπο αμύλου που ονομάζεται ανθεκτικό άμυλο και μειώνει τον γλυκαιμικό δείκτη κατά 25-26%! Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση του σακχάρου και τη μείωση της ινσουλινοαντίστασης. Επιπλέον, το ανθεκτικό άμυλο διέρχεται από το λεπτό έντερο χωρίς πέψη, με αποτέλεσμα να αποδίδει και λιγότερες θερμίδες, και φτάνει στο παχύ έντερο όπου αποτελεί τροφή για τα βακτήρια του εντέρου. Έτσι, όχι μόνο βοηθάει στη διαχείριση του σακχάρου, αλλά ενισχύει και τη λειτουργία του εντέρου. Τέλος, το ανθεκτικό άμυλο φαίνεται ερευνητικά ότι μπορεί να βοηθήσει στο αίσθημα του κορεσμού. ( Eva Tsakou MedNutrition et al.,2020)

**Πίνακας 1.5 Οφέλη για την υγεία**

<i>Οφέλη για τη υγεία</i>	<i>Υπεύθυνες Ενώσεις</i>
Βελτίωση της αρτηριακής πίεσης	Πληθώρα αντιοξειδωτικών ( φλαβονοειδή , καροτενοειδή , χλωρογενικό οξύ , κατεχίνες κ.α )
Αντιοξειδωτική Δράση : Σάρωση ελεύθερων ριζών	Αντιοξειδωτικά : φλαβονοειδή , καροτενοειδή
Καλύτερη διαχείριση του σακχάρου και μείωση της ινσουλινοαντίστασης	Ανθεκτικό άμυλο
Ιδανική για άτομα με κοιλιοκάκη	Πατάτα = Πολύ καλή πηγή υδατάνθρακα

### 1.5 Τα προϊόντα της πατάτας στη αγορά τροφίμων

Οι πατάτες δεν χρησιμοποιούνται μόνο ως λαχανικό για μαγείρεμα στο σπίτι αλλά έχουν μια μεγάλη ποικιλία στο τρόπο που μπορούμε να τις εκμεταλλευτούμε. Στη πραγματικότητα λιγότερο από το 50% των πατατών που καλλιεργούνται παγκοσμίως καταναλώνονται φρέσκες. Οι υπόλοιπες υφίστανται επεξεργασία για την παραγωγή προϊόντων πατάτας και συστατικών τροφίμων , τρέφουν τα κτηνοτροφικά ζώα , γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας για την παραγωγή αμύλου για τη βιομηχανία , και επαναχρησιμοποιούνται ως σπόροι για τη καλλιέργεια της επόμενης περιόδου πατάτας

#### Χρήσεις στην τροφή

Οι φρέσκες πατάτες ψήνονται , βράζονται ή τηγανίζονται και χρησιμοποιούνται σε μια εκπληκτική ποικιλία συνταγών : πουρέ πατάτας , τηγανιτές πατάτες , πατατοκεφτέδες , βελουτέ πατάτας , πατατοσαλάτα , πατάτες ογκρατέν και πολλές άλλες.

Ωστόσο , η παγκόσμια κατανάλωση πατάτας ως τροφή μετατοπίζεται από τις φρέσκες πατάτες σε προϊόντα τροφίμου προστιθέμενης αξίας. Ένα από τα κύρια προϊόντα σε αυτήν τη κατηγορία είναι οι κατεψυγμένες πατάτες , που περιλαμβάνουν τις περισσότερες απο τις τηγανητές πατάτες που σερβίρονται στα εστιατόρια και αλυσίδες fast food παγκοσμίως. Ένα άλλο επεξεργασμένο προϊόν , τα πατατάκια ( chips ) είναι ο βασιλιάς των σνακ σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες.

Οι αποξηραμένες πατάτες χρησιμοποιούνται σε λιανικά προϊόντα πουλημένα ως πουρέ πατάτας , συστατικά σε σνακ , ακόμη και ως βοήθεια σε προγράμματα επισιτιστικής βοήθειας. Το άλευρο πατάτας , ένα άλλο αφυδατωμένο προϊόν , χρησιμοποιείται απο την τροφική βιομηχανία για να συγκρατεί τα κρεατικά μείγματα και να δένει σάλτσες και σούπες

Στην ανατολική Ευρώπη και τη Σκανδιναβία , οι πατάτες πλασματώνονται για να μετατραπεί το άμυλό τους σε ζάχαρα που χρησιμοποιείται στην απόσταξη αλκοολούχων ποτών όπως τη βότκα και το ακβαβίτ.

### Μη τροφικές χρήσεις

Το άμυλο πατάτας χρησιμοποιείται ευρέως από τις φαρμακευτικές , υφαντουργικές , ξυλουργικές και χαρτοβιομηχανίες ως κόλλα , δεστικό , πρόσθετο υφής και γέμισμα , ενώ εταιρείες γεώτρησης πετρελαίου το χρησιμοποιούν για καθαρισμό τρυπών. Το άμυλο πατάτας αποτελεί 100% βιοδιασπώμενη εναλλακτική λύση για το πολυστερένιο και άλλα πλαστικά.

Η φλούδα της πατάτας και άλλα “μηδενικής αξίας” απόβλητα της επεξεργασίας της πατατάς περιέχουν πλούσια σε άμυλο που μπορεί να υγροποιηθεί και να ζυμωθεί για τη παραγωγή αιθανόλης υψηλής ποιότητας. Μια μελέτη στην επαρχία της New Brunswick του Καναδά εκτίμησε ότι 44.000 τόνοι αποβλήτων επεξεργασίας θα μπορούσαν να παράγουν 4-5 εκατομμύρια λίτρα αιθανόλης.

Στη Ρωσική Ομοσπονδία και σε άλλες χώρες της Ανατολικής Ευρώπης , μέχρι και το μισό της σοδειάς πατάτας χρησιμοποιείται ως τροφή για τα ζώα των αγροκτημάτων. Τα βοοειδή μπορούν να τρέφονται με έως και 20 κιλά φρέσκων πατατών την ημέρα , ενώ τα χοίρα παχαίνουν γρήγορα με ημερίσια δίαιτα 6 κιλών βρασμένων πατατών. ( Anon , International Potato Center et al., 2019)

## 2. Πειραματικές Τεχνικές



## Κεφάλαιο 2 : Ωσμωτική Αφυδάτωση

### 2.1 Εισαγωγή

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια μέθοδος μερικής απομάκρυνσης του νερού που περιέχεται σε ένα τρόφιμο μέσω της εμβάπτισής του σε ένα υπερτονικό μέσο , όπως ένα διάλυμα σακχάρου ή άλατος με υψηλή συγκέντρωση. Λόγω της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης των τροφίμων , λαμβάνουν χώρα δύο κύριες ροές αντίθετης κατεύθυνσης : νερό διαφεύγει από το εσωτερικό του τροφίμου αραιώνοντας το ωσμωτικό διάλυμα , ενώ ταυτόχρονα , στερεά ωσμωτικού διαλύματος εισρέουν στα κύτταρα του τροφίμου , εμπλουτίζοντας με αυτόν τον τρόπο επιλεκτικά τη σύστασή του. Στόχος της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι να επιτευχθεί ισορροπία της ενεργότητας νερού του διαλύματος και του τροφίμου, σημείο το οποίο προσδιορίζει άλλωστε και τη λήξη της διεργασίας. (Mari et al.,2024)

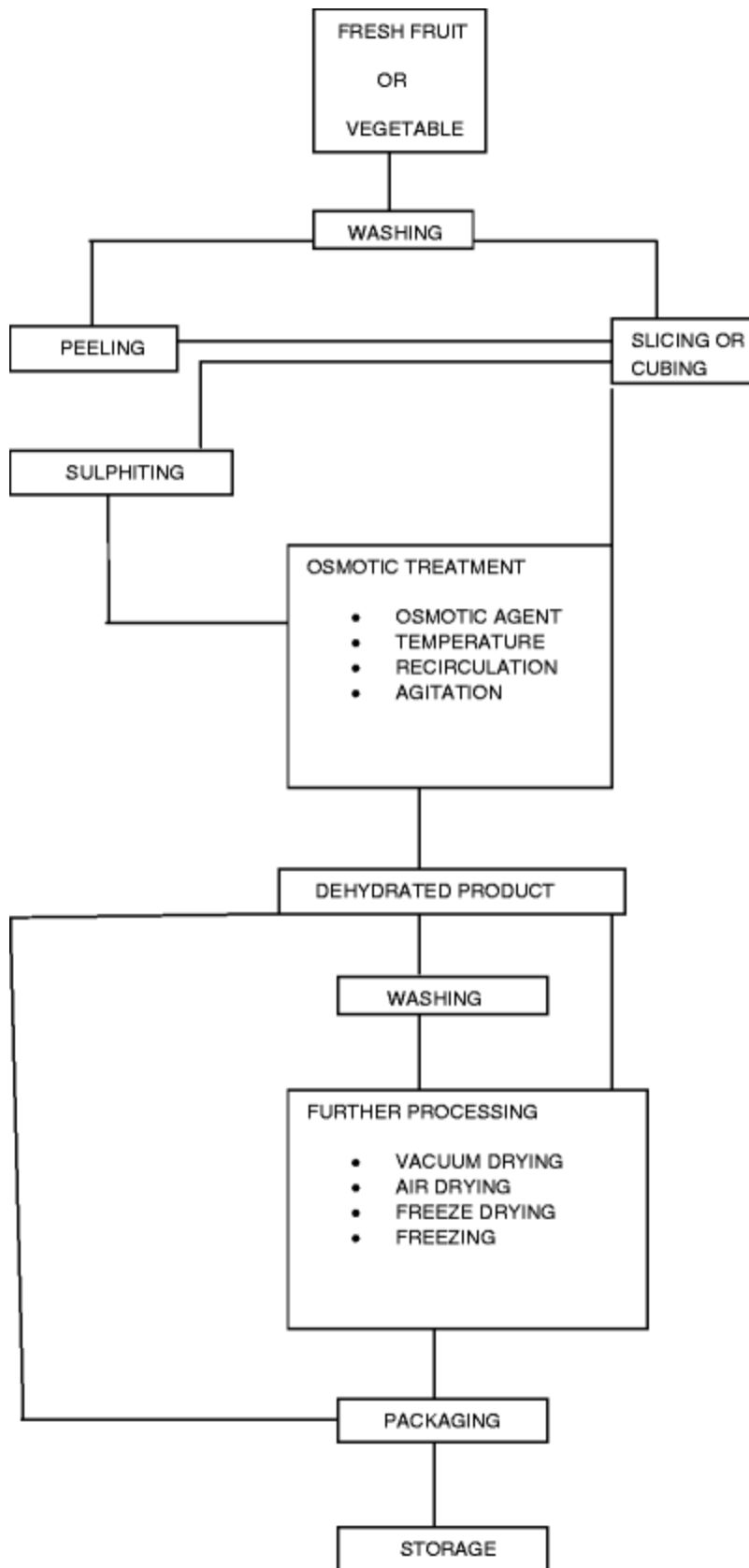
Παρά το μεγάλο αριθμό ερευνητικών εργασιών που έχουν δημοσιευτεί στον τομέα της ωσμωτικής επεξεργασίας , η εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα αντιμετωπίζει ακόμα θεμελιώδη ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Τέτοια ζητήματα περιλαμβάνουν τη φιλική προς το περιβάλλον διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος , περιορισμό της ανάπτυξης μικροοργανισμών και ικανοποιητικό έλεγχο διεργασιών. (Oliviera et al.,2000)

### 2.2 Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια μέθοδος μερικής απομάκρυνσης του νερού που επιτυγχάνεται όταν ένα τρόφιμο εμβαπτίζεται σε ένα υπερτονικό μέσο , όπως ένα διάλυμα σακχάρου ή άλατος με υψηλή συγκέντρωση. Λόγω της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης των τροφίμων, λαμβάνουν χώρα τρεις κύριες ροές αντίθετης κατεύθυνσης. (Karthiayani et al., 2004; Tiwari et al., 2005)

1. Εκροή νερού από το προϊόν στο διάλυμα ( αραιώση του ωσμωτικού διαλύματος )
2. Μεταφορά διαλυμένης ουσίας από το διάλυμα στο προϊόν. Καθιστάται έτσι δυνατή η εισαγωγή της επιθυμητής ποσότητας μια δραστικής ουσίας.
3. Απομάκρυνση διαλυτών ουσιών ( ζάχαρη , οργανικά οξέα , μέταλλα , βιταμίνες κτλ.) θεωρείται ποσοτικά αμελητέα όταν συγκρίνεται με τους δύο πρώτους τύπους μεταφοράς , αλλά απαραίτητη σε σχέση με τη σύνθεση του τελικού προϊόντος.

Στόχος της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι να επιτευχθεί ισορροπία της ενεργότητας νερού του διαλύματος και του τροφίμου , σημείο το οποίο προσδιορίζει άλλωστε και τη λήξη της διεργασίας.



Σχήμα 2.1<sup>α</sup> : Διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φρούτα και λαχανικά

## 2.3 Παράμετροι που Επηρεάζουν την Ωσμωτική Αφυδάτωση

Μεταβλητές όπως η ωριμότητα, η ποικιλία, οι προκατεργασίες, η θερμοκρασία, η φύση και η συγκέντρωση του ωσμωτικού παράγοντα, η ανάδευση, η γεωμετρία του υλικού, η αναλογία τεμαχίων φρούτων προς ωσμωτικό διάλυμα, οι φυσικοχημικές ιδιότητες, τα πρόσθετα, η δομή και η πίεση επηρεάζουν τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

### 2.3.1 Παράμετροι που Σχετίζονται με τα Χαρακτηριστικά της Πρώτης ύλης

#### **Η ποιότητα της πρώτης ύλης**

Η ποικιλία και η ωρίμανση των φρούτων και λαχανικών επηρεάζουν κυρίως την απώλεια νερού (water loss) αλλά και την διάρκεια ώσμωσης. Μεταξύ των διαφορετικών καρπών, η μεταβλητότητα σχετίζεται κυρίως με τη συμπίεση των ιστών, την αρχική περιεκτικότητα σε αδιάλυτα και διαλυτά στερεά, τους ενδοκυτταρικούς χώρους και την ενζυματική δραστηριότητα του καρπού. Ο ρυθμός πρόσληψης των στερεών (solid gain) δεν εξαρτάται σημαντικά από τη συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας ή τη θερμοκρασία της διαδικασίας.

#### **Η γεωμετρία της πρώτης ύλης**

Η απώλεια νερού αυξάνεται με την αύξηση της επιφάνειας των φρούτων. Οι Panagiotou et al. (1998) παρατήρησαν ότι το μέγεθος των δειγμάτων φρούτων είχε αρνητική επίδραση στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική επεξεργασία. Ο Rahman (1992) παρατήρησε ότι η απώλεια του νερού μειώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και της επιφάνειας και αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης σιροπιού και του πάχους της ελάχιστης γεωμετρικής διάστασης. Γενικά, ένα δείγμα μεγέθους από 3 mm έως το πολύ 10 mm σε σχήμα ορθογωνίου, δακτυλίου ή κύβου προτάθηκε για χρήση στη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. (U. D. Chavan, R. Amarowicz (2012): Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables)

### 2.3.2 Παράμετροι που Σχετίζονται με τη Διεργασία

#### **Η προ-κατεργασία**

Οποιαδήποτε προ-κατεργασία όπως, η κατάψυξη, το ζεμάτισμα, η θείωση, η εμφύσηση σε αλκαλικό διάλυμα, η εφαρμογή της υδροστατικής πίεσης πριν από την απομάκρυνση του νερού με την ωσμωτική αφυδάτωση περιόρισε την κυτταρική βλάβη που προκαλούν οι συμβατικές μέθοδοι ξήρανσης. Βύθιση σε διάλυμα κιτρικού οξέος 1% πριν από την ξήρανση ή την ωσμωτική αφυδάτωση προλαμβάνει την ενζυματική αμαύρωση των φρούτων. (Hussain et al., 2004; Sunkja & Raghavan, 2004).

#### **Το είδος και η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος**

Το είδος του ωσμωτικού παράγοντα είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που καθορίζει το ρυθμό διάχυσης. Οι συνήθεις τύποι διαλυτών που χρησιμοποιούνται ως ωσμωτικοί παράγοντες είναι η γλυκόζη, γλυκερίνη, σακχαρόζη, σιρόπι γλυκόζης κ.α. Γενικά, ο ωσμωτικός παράγοντας χαμηλού μοριακού βάρους διεισδύει ευκολότερα στο κύτταρο του φρούτου/λαχανικού σε σύγκριση με τον ωσμωτικό παράγοντα υψηλού μοριακού βάρους.

Μία ενδιαφέρουσα μεταβλητή για αξιολόγηση είναι η συγκέντρωση του ωσμωτικού παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει την κινητική μεταφορά μάζας. Κατά τη διάρκεια μιας εκτεταμένης διαδικασίας

ωσμωτικής αντιμετώπισης, η αύξηση των συγκεντρώσεων διαλύτη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρυθμών απώλειας νερού και κέρδους στερεάς.

### **Η αναλογία δείγματος : ωσμωτικού διαλύματος**

Με την αύξηση της αναλογίας διαλύματος προς δείγμα, ο ρυθμός ώσμωσης αυξάνεται έως ένα ορισμένο βαθμό. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται μια βέλτιστη αναλογία, καθώς οι μεγάλες αναλογίες προσφέρουν πρακτικές δυσκολίες στο χειρισμό του μείγματος φρούτων και σιροπιού για επεξεργασία. (Tiwari, 2005).

### **Θερμοκρασία**

Είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι η διάχυση είναι ένα φαινόμενο εξαρτώμενο από τη θερμοκρασία. Η υψηλότερη θερμοκρασία φαίνεται να προάγει την ταχύτερη απώλεια νερού μέσω της διαρροής και πλαστοποίησης των κυτταρικών μεμβρανών, την ταχύτερη διάχυση του νερού εντός του προϊόντος και καλύτερα χαρακτηριστικά μεταφοράς μάζας (νερού και στερεών) στην επιφάνεια λόγω της χαμηλότερης ιξώδους του ωσμωτικού μέσου.

### **Η ανάδευση**

Όταν τα φρούτα αναδεύονται σε σιρόπι, ο ρυθμός ώσμωσης θα είναι ταχύτερος λόγω μειωμένης αντίστασης μεταφοράς μάζας στην επιφάνεια αποφεύγοντας την τοπική διαδικασία αραίωσης. Ωστόσο, μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο δείγμα.

### **Η χρονική διάρκεια της διεργασίας**

Διατηρώντας σταθερή τη συγκέντρωση του διαλύματος, και αυξάνοντας το χρόνο εμφάνισης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού απώλειας νερού. Μελέτες για τη βελτιστοποίηση της διάρκειας της διαδικασίας ώσμωσης αναφέρουν ότι η ανταλλαγή μάζας πραγματοποιείται με τον μέγιστο ρυθμό εντός των δύο πρώτων ωρών της ωσμωτικής αφυδάτωσης. (U. D. Chavan, R. Amarowicz et al.,(2012)

## 2.4 Μαθηματική Προσομοίωση της Μεταφοράς Μάζας

Τα σημαντικότερα μεγέθη για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της ώσμωσης είναι η απώλεια νερού (WL, Water Loss) (εξ.1), η πρόσληψη στερεών (SG, Solid Gain) (εξ.2) καθώς και η απώλεια του συνολικού βάρους (WR, Weight Reduction) (εξ.3) (Panagiotou et al., 1999):

Οι αριθμητικές τιμές των WL και SG είναι :

$$\text{➤ } WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \text{ (Εξίσωση 2.1)}$$

$$\text{➤ } SG = \frac{(m - m_o)}{m_o} \text{ (Εξίσωση 2.2)}$$

$$\text{WR} = \frac{(M_0 - M)}{m_0} \text{ (Εξίσωση 2.3)}$$

Όπου :

$M_0$  = η αρχική μάζα του φρέσκου τροφίμου

$M$  = η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο  $t$  ωσμωτικής επεξεργασίας

$m$  = η ξηρή μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο  $t$  ωσμωτικής επεξεργασίας και

$m_0$  = η ξηρή μάζα του φρέσκου προϊόντος

## 2.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Τα κύρια πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι ( Chavan et al ., (2012) :

- Ελαχιστοποιείται η επίδραση της θερμοκρασίας στην ποιότητα των τροφίμων και διατηρείται η ακεραιότητα των τροφίμων
- Αυξάνεται η αντίσταση στη θερμική επεξεργασία
- Η ήπια θερμική επεξεργασία ευνοεί τη διατήρηση χρώματος και γεύσης με αποτέλεσμα το προϊόν να έχει αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά
- Η διαδικασία είναι αρκετά απλή , οικονομική ( η ενέργεια που απαιτείται είναι 2-3 φορές μικρότερη σε σύγκριση με τη συμβατική ξήρανση )
- Αποτρέπεται η ενζυματική αμαύρωση
- Βελτιώνεται η υφή και η επανυδάτωση
- Η διαδικασία ζεματίσματος μπορεί να παραληφθεί με αυτήν τη διαδικασία , η οποία μειώνει το κόστος επεξεργασίας
- Η απομάκρυνση των οξέων και η πρόσληψη ζάχαρης από φρούτα τροποποιεί τη σύνθεση και βελτιώνει τη γεύση
- Η διαδικασία μπορεί να αποδειχθεί ιδανική για την παραγωγή έτοιμων για κατανάλωση τροφίμων
- Η διαδικασία μειώνει τον όγκο των προϊόντων εξοικονομώντας έτσι το κόστος επεξεργασίας , αποθήκευσης και μεταφοράς
- Η συνεχής εμπάπτιση του προϊόντος σε ωσμωτικό διάλυμα αποτρέπει την έκθεση στο οξυγόνο και έτσι το προϊόν διατηρεί καλύτερα το χρώμα του

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα καθιστούν την κατεργασία αυτή ευέλικτη και ενδιαφέρουσα ως ένα προκαταρκτικό βήμα σε διάφορες εναλλακτικές διεργασίες , όπως , η παστερίωση, η κονσερβοποίηση , κατάψυξη , μέτρια ή πλήρης ξήρανση ( αέρας , κενό , ξήρανση με κατάψυξη ) και διάφορους πιθανούς συνδυασμούς εμποδίων , δηλαδή , εμπλουτισμό με συντηρητικά ή αντιμικροβιακά , αφυδάτωση – κάπνισμα , βρώσιμη επικάλυψη κ.τλ

Τα κύρια μειονεκτήματα από την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι :

- Η μείωση του επιπέδου οξύτητας μειώνει τη χαρακτηριστική γεύση ορισμένων προϊόντων. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με τη προσθήκη οξέος φρούτων στο διάλυμα
- Η επίστρωση ζάχαρης δεν είναι επιθυμητή σε ορισμένα προϊόντα και μπορεί να χρειαστεί γρήγορο ξέπλυμα με νερό μετά τη θεραπεία
- Η ωσμωτική αφυδάτωση με άλλες συδυνασμένες διεργασίες όπως ξήρανση υπό κενό, ξήρανση στον αέρα ή λεύκανση θεωρούνται ακριβές
- Στα οσμωτικά αφυδατωμένα προϊόντα, η δραστηριότητα του νερού είναι υψηλότερη
- Είναι μια χρονοβόρα διαδικασία

## 2.6 Προβλήματα κατά την Εφαρμογή στη Βιομηχανία

Παρά τα πλεονεκτήματά της ωσμωτικής αφυδάτωσης και το μεγάλο αριθμό ερευνητικών εργασιών που έχουν δημοσιευτεί σε αυτόν τον τομέα, η μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές εφαρμογές αντιμετωπίζουν τα εξής ζητήματα :

### **Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος**

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζονται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Για παράδειγμα μπορεί να μεταβληθεί η γλυκύτητα, ή αλμυρότητα ή και το pH του τροφίμου. Αυτές οι αλλαγές δεν είναι πάντα επιθυμητές και για να τις αποφύγουμε επιλέγουμε ανάλογα με τις διαλυμένες ουσίες του ωσμωτικού διαλύματος και προσθέτουμε βελτιωτικές ουσίες. Αρκετές φορές, κατά την ώσμωση προστίθενται στο τρόφιμο εδώδιμες επικαλύψεις πλούσιες σε συγκεκριμένα συστατικά που περιορίζουν την μικροβιακή ανάπτυξη στην επιφάνεια αυτών και τα προστατεύουν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτές οι βρώσιμες ημιπερατές μεμβράνες συμβάλλουν επίσης στη μείωση της πρόσληψης ουσιών με ταυτόχρονη αύξηση της απώλειας νερού από την πρώτη ύλη (Rahman, 2007).

### **Η διαχείριση του ωσμωτικού μέσου**

Η διαχείριση του ωσμωτικού μέσου είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τη διεργασία. Η σύνθεση του διαλύματος διαφέρει για κάθε φρούτο και λαχανικό και επηρεάζει την ποιότητα του προϊόντος όσον αφορά στο χρώμα, τα σάκχαρα, τα μέταλλα, τις βιταμίνες και τα οξέα. Πολλά προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με την αλλαγή στη σύσταση του ωσμωτικού μέσου.

Μεγάλο πρόβλημα προκύπτει από τη μεγάλη δυσκολία επαναχρησιμοποίησης του ωσμωτικού διαλύματος. Το ζήτημα αυτό είναι καίριο για τη βιομηχανική εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης και ευθύνεται για :

- Την αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος με τη πάροδο του χρόνου όταν το τρόφιμο εμβαπτίζεται στο ωσμωτικό μέσο, το διαθέσιμο νερό του τροφίμου εξέρχεται από αυτό στο διάλυμα.
- Τις αρνητικές αλλαγές στο χρώμα του ωσμωτικού διαλύματος από την ενζυμική αμαύρωση, κυρίως την πολυφαινολοξειδάση
- Τις αλλαγές στο pH του ωσμωτικού διαλύματος με την πάροδο του χρόνου όταν τα οργανικά οξέα εξέρχονται από το τρόφιμο κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

(M. Dalla Rosa, F. Giroux et al.,(2001)

Τρόποι επαναφοράς της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος είναι :

- Εξάτμιση ( ατμοσφαιρική σε υψηλή θερμοκρασία ή υπό κενό σε μέτρια θερμοκρασία)
- Προσθήκη ωσμωτικού διαλύματος χωρίς αλλαγή φάσης
- Επανασύσταση του ωσμωτικού διαλύματος
- Συγκέντρωση μεμβράνης χωρίς αλλαγή φάσης
- Cryoconcentration

(M. Dalla Rosa, F. Giroux et al.,(2001)

### **Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος της διεργασίας**

Οι επαρκείς πληροφορίες και τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα συμβάλλουν σε έναν αποτελεσματικό σχεδιασμό και έλεγχο της διεργασίας στη βιομηχανία. Απαραίτητη κρίνεται η διεξαγωγή έρευνας για τον σχεδιασμό της διεργασίας τόσο για τις ιδιότητες του ωσμωτικού διαλύματος και την κατάσταση του τροφίμου αλλά και για τον ρυθμό της διεργασίας. Πολλές φορές , τα φρούτα και τα λαχανικά τείνουν να επιπλέουν στο συμπυκνωμένο σιρόπι , εξαιτίας της μεγαλύτερης πυκνότητά του. Το ιξώδες του διαλύματος ασκεί σημαντική αντίσταση στη μεταφορά μάζας με αποτέλεσμα την προσκόλλησή του την επιφάνεια του τροφίμου Rahman, 2007).

### 2.7 Εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βιομηχανία τροφίμων

Η διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιείται σε βιομηχανική κλίμακα στην επεξεργασία φρούτων και λαχανικών. Τα φρούτα και τα λαχανικά που επεξεργάζονται με ωσμωτική αφυδάτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άμεση κατανάλωση ως προϊόντα με σύντομη διάρκεια ζωής, αλλά συχνά είναι ημιτελή προϊόντα που προορίζονται για τη παραγωγή παγωτού, ζαχαροπλαστικής και τροφίμων σε συντήρηση (π.χ μαρμελάδες , πάστες κτλ.) Ωστόσο, η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για τη παραγωγή προϊόντων από κρέας και ψάρι, όταν το αλάτι χρησιμοποιείται ως ωσμωτικός παράγοντας. Η υπερήχηση μπορεί να εφαρμοστεί πριν ή κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την επιτάχυνση των διεργασιών μεταφοράς μάζας, καθώς και την παραγωγή προϊόντων που συχνά χαρακτηρίζονται από βελτιωμένες φυσικές και χημικές ιδιότητες.

### 2.8 Νέες Τάσεις

Τα τελευταία δέκα χρόνια έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την κατανόηση της μεταφοράς μάζας στην ωσμωτική αφυδάτωση. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμη πολλοί τομείς που απαιτούν περαιτέρω πρόοδο, όπως η μοντελοποίηση, η βελτιστοποίηση του εξοπλισμού, ο αυτόματος έλεγχος, η ποιότητα του προϊόντος και η ενσωμάτωση συνδυασμένων διαδικασιών. Καθώς το εύρος εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης επεκτείνεται, συνεχίζουν να εμφανίζονται νέες ερευνητικές ανάγκες. Οι μελλοντικές έρευνες πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στους ακόλουθους τομείς:

- **Διαχείριση όγκων συμπυκνωμένων διαλυμάτων**

Η διαχείριση των όγκων συμπυκνωμένων διαλυμάτων αποτελεί σημαντικό περιορισμό για τη βιομηχανική κλιμάκωση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οι μεγάλοι όγκοι μπορούν να αυξήσουν το κόστος παραγωγής. Η αποτελεσματική ρύθμιση και επαναπροσαρμογή αυτών των διαλυμάτων είναι κρίσιμη καθώς η συγκέντρωση και η σύνθεση είναι βασικές μεταβλητές της διαδικασίας. Οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο μπορούν να παρέχουν συνεχή έλεγχο. Επι του παρόντος, μόνο η εξάτμιση και η προσθήκη ξηρού διαλύματος χρησιμοποιούνται για ανακύκλωση. Η έρευνα σε άλλες μεθόδους ανακύκλωσης, όπως η διήθηση, είναι απαραίτητη. Επιπλέον, η ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων για τη διαχείριση των αποβλήτων, ιδιαίτερα των μεικτών μειγμάτων, είναι ουσιαστική.

- **Μικροβιολογική Επικύρωση**

Η μικροβιολογική επικύρωση είναι κρίσιμη και συνδέεται στενά με τη διαχείριση των συμπυκνωμένων διαλυμάτων. Οι μικροβιολογικές αλλαγές κατά τη διάρκεια των σταδίων εμποτισμού και ανακύκλωσης χρειάζονται διεξοδική έρευνα, ιδιαίτερα με τις νέες εφαρμογές της ωσμωτικής αφυδάτωσης για ζωικά προϊόντα. Η βιομηχανία ημί-γλυκαντικών χρησιμοποιεί διοξείδιο του θείου σε συμπυκνωμένα διαλύματα, υποδεικνύοντας έναν πιθανό τομέα για περαιτέρω μελέτη.

- **Εφαρμογή Υπό Μη Ισοθερμικές Συνθήκες**

Η Διερεύνηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε θερμοκρασίες μεταξύ 5-80°C μπορεί να βελτιώσει τις τεχνικές ψύξης με βύθιση, κατάψυξης και απόψυξης σε συμπυκνωμένα διαλύματα. Απο τη δεκαετία του 1950, ο κακός έλεγχος της μεταφοράς μάζας και τα μικροβιολογικά προβλήματα έχουν εμποδίσει τη βιομηχανική ανάπτυξη αυτών των μεθόδων. Βασικές μελέτες για τη συγχρονισμένη μεταφορά θερμότητας και μάζας και τις αλλαγές φάσης είναι απαραίτητες, όπως και η κατανόηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των συμπυκνωμένων διαλυμάτων.

- **Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας στην Πλευρά του Διαλύματος**

Οι περισσότερες μελέτες έχουν υποθέσει ότι οι περιορισμοί στην ωσμωτική αφυδάτωση οφείλονται στη μεταφορά μάζας εντός του προϊόντος, εκτός από αυτές του Raoult-Wack et al., (1994) που εξέτασαν την αραίωση του διαλύματος στο όριο. Η περαιτέρω κατανόηση των φαινομένων μεταφοράς είναι απαραίτητη, ειδικά για διαδικασίες σε θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν και σε συμπυκνωμένα μεικτά διαλύματα.

- **Εφαρμογή σε Δομές τύπου Ζελέ**

Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δομές τύπου ζελέ, βασισμένη σε μελέτες μοντέλων ζελέ, μπορεί να ωφελήσει τόσο τα τρόφιμα ( π.χ προϊόντα αυγού ή γαλακτοκομικά προϊόντα ) όσο και μη διατροφικές εφαρμογές.

Εστιάζοντας σε αυτές τις προτεραιότητες, η έρευνα στην ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να συνεχίσει να προοδεύει, αντιμετωπίζοντας τόσο τους τρέχουσες περιορισμούς όσο και τις νέες ευκαιρίες στον τομέα

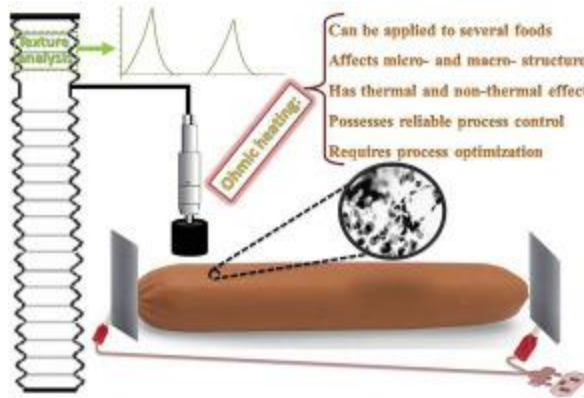
A.L Raoult-Wack et al.,(1994)

## Κεφάλαιο 3 .Ωμική Θέρμανση

### 3.1 Εισαγωγή

Η θέρμανση αποτελεί σημαντικό βήμα στην επεξεργασία τροφίμων για τη διατήρηση , το μαγείρεμα και την ενζυμική απενεργοποίηση των ακατέργαστων βιοϋλικών. Οι συμβατικές διαδικασίες βασίζονται κυρίως στη μετάδοση θερμότητας μέσω αγωγιμότητας , σύγκλισης και ακτινοβολίας. Ωστόσο, η εσωτερική αντίσταση συχνά αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα σε σύγκριση με την εξωτερική αντίσταση μέσω σύγκλισης, πράγμα που οδηγεί σε μια ανομοιογενή μεταχείριση και μια σημαντική απώλεια ποιότητας προϊόντος. Η τεχνολογία της ωμικής θέρμανσης θεωρείται ως ένα σημαντικό βήμα στη συνεχή επεξεργασία σωματιδίων τροφίμων.

Η ωμική θέρμανση παράγει θερμότητα με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του υγρού προϊόντος το οποίο αντιστέκεται στη ροή του ηλεκτρισμού. Όλα αυτά γίνονται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Το βασικό πλεονέκτημα εδώ είναι ότι η θέρμανση μεταφέρεται γρήγορα και ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του προϊόντος. (Knirsch et al., 2010)



### 3.2 Μηχανισμός Ωμικής Θέρμανσης

Η ωμική θέρμανση εντάσσεται στις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας στην οποία γίνεται εναλλαγή συνεχούς χαμηλής συχνότητας ρεύματος στο τρόφιμο δημιουργώντας εσωτερική θέρμανση ως συνέπεια της ηλεκτρικής αντίστασης. Χάρη στη συγκεκριμένη μέθοδο μειώνεται η αλλοίωση του τροφίμου

#### Εικόνα 3.1 Παράταξη Ωμικής Θέρμανσης

Η θέρμανση με ωμικό ηλεκτρισμό διαφέρει από άλλες μεθόδους θέρμανσης επειδή περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτροδίων που έρχονται σε άμεση επαφή με το μέσο που πρόκειται να θερμανθεί. Στη συμβατική θέρμανση μικροκυμάτων, τα ηλεκτρόδια απουσιάζουν, όπως και στην ηλεκτρομαγνητική θέρμανση, όπου χρησιμοποιούνται μαγνητικά νανοσωματίδια. Η συχνότητα που εφαρμόζεται είναι μεταβλητή αντίθετα προς τη θέρμανση μικροκυμάτων (χρήση ακτινοβολίας με συχνότητα 2,45 GHz) και χαμηλότερη από τις συχνότητες μικροκυμάτων και ραδιοφώνου. Η μορφή κύματος (ημιτονοειδής, τρίγωνο ή τετράγωνο) δεν είναι περιορισμένη, αλλά το ημιτονοειδές κύμα χρησιμοποιείται συχνότερα

Heating method			
Conventional, CH	Microwave irradiation, MW	Inductive, IH	Ohmic, ΩH
The energy is transferred through the walls of the reaction vessel and then dissipated into the reaction mixture.	Direct and internal absorption of microwave radiation by the molecules present in the reaction mixture.	Joule effect resulting from induced electric current in the medium. Continuous or alternating field.	Joule effect resulting from the passage of alternating electric current. Electrodes in contact with the medium.

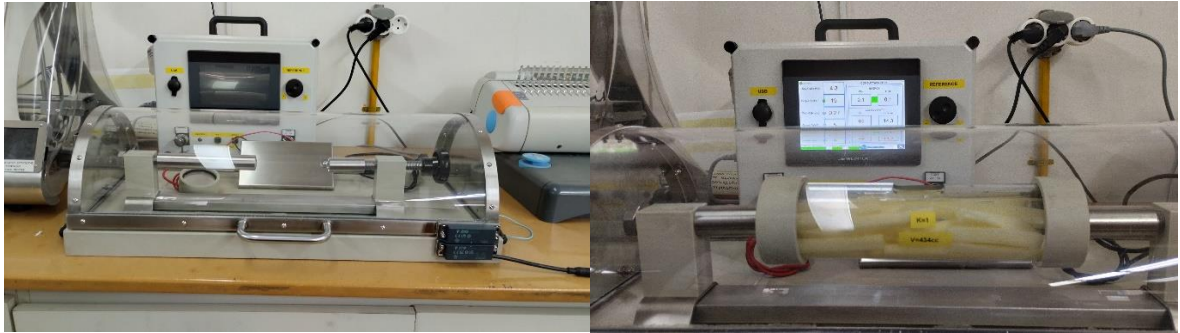
( - Σχήμα 2 -). Η συμβατική θέρμανση απαιτεί τη δημιουργία θερμικής ενέργειας εξωτερικά και στη συνέχεια τη μεταφορά της στην αντίδραση μεταξύ αγωγής και συνέργειας. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας

συμβαίνει σημαντική απώλεια θερμότητας. Στη θέρμανση με χρήση φούρνων μικροκυμάτων, με επαγωγική θέρμανση και με θέρμανση Joule, η θερμότητα δημιουργείται εσωτερικά, ωστόσο η θέρμανση Joule επιτρέπει μια πιο ομοιόμορφη θέρμανση και την υπέρβαση των προβλημάτων που σχετίζονται με τη θέρμανση μικροκυμάτων, όταν αυτή γίνεται σε μεγάλους όγκους, λόγω του χαμηλού βάθους διείσδυσης της ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Επομένως, η επέκταση της άμεσης θέρμανσης Joule για την κλίμακα πειραματικής παραγωγής ή ακόμη και για τη βιομηχανική κλίμακα δεν πρέπει να παρουσιάζει τους περιορισμούς και τις δυσκολίες που συναντώνται με την ακτινοβολία μικροκυμάτων (Σχήμα 2). Επιπλέον, μερικές μελέτες έχουν δείξει ότι η αποδοτικότητα των φούρνων μικροκυμάτων, στην περίπτωση ανακυκλωτικής χρήσης με ανοικτό σύστημα σε μικρή κλίμακα, είναι χαμηλή, αφού η ακτινοβολία μικροκυμάτων καταναλώνει σημαντικά περισσότερη ενέργεια από τις τεχνικές συμβατικής θέρμανσης (στήλη ή λάδι). Αυτό οφείλεται εν πολλοίς στη χαμηλή αποδοτικότητα του μαγνητρόν στον μετατροπέα ηλεκτρικής ενέργειας σε ενέργεια μικροκυμάτων (περίπου 50-60%). Αυτές οι μελέτες έχουν επίσης δείξει ότι η κατανάλωση ενέργειας με ακτινοβολία μικροκυμάτων εξαρτάται από τη φύση του διαλύτη, πιο συγκεκριμένα από την διπολική στιγμή του (που επηρεάζει τα χαρακτηριστικά απορρόφησης της ακτινοβολίας από το μείγμα αντίδρασης), το σημείο βρασμού του και την κλίμακα λειτουργίας - εργαστηριακή κλίμακα (500-200 mmol αναλυτικών ουσιών σε όγκο 400-300 mL)

### **Εγκατάσταση Ωμικής Θέρμανσης**

Σχετικά με τον σχεδιασμό του συστήματος/αντιδραστήρα της Ωμικής Θέρμανσης, υπάρχουν διάφορες πιθανότητες. Ωστόσο, όλα τα συστήματα περιλαμβάνουν :

1. Την **τροφοδοσία** εναλλασόμενου ρεύματος και μια μονάδα ελέγχου τάσης και συχνότητας ( γεννήτρια σήματος ) : για την παροχή εναλλασόμενου ηλεκτρικού ρεύματος με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά
2. **Κελί Θέρμανσης** : Διάφορα υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί από διάφορους επιστήμονες για τη κατασκευή του κελιού θέρμανσης. Στην περίπτωση του αντιδραστήρα Ωμικής Θέρμανσης, το θερμαντικό κελί είναι φτιαγμένο από γυαλί και έχει μια κάλυψη από Peek όπου είναι στερεωμένα τα ηλεκτρόδια.
3. **Ηλεκτρόδια** : Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με την πηγή ενέργειας και έρχονται σε φυσική επαφή με την ουσία ή το μέσο που πρέπει να θερμανθεί, προκειμένου να περάσει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω αυτού. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και η γεωμετρία και το μέγεθός τους μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος, αλλά με τη μεταβολή αυτής της απόστασης, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, εκφραζόμενη σε βολτ ανά εκατοστό, ποικίλλει επίσης. Τα ηλεκτρόδια μπορούν να είναι φτιαγμένα από τα περισσότερα αγωγιμα υλικά ( ανοξειδωτο ασάλι, τιτάνιο, αλουμίνιο και γραφίτη ) τα οποία επιλέγονται συνήθως με βάση τη τιμή, την αντοχή στη διάβρωση και την επιθυμητή εφαρμογή.
4. **Θερμοζεύγη** : Η θερμοκρασία παρακολουθείται χρησιμοποιώντας έναν ή περισσότερους θερμοζεύγεις τύπου K ή τύπου J που μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορες θέσεις του κελιού θέρμανσης
5. **Σύστημα καταγραφής δεδομένων και υπολογιστής** : χρησιμοποιούνται για την καταγραφή πραγματικού χρόνου πληροφοριών όπως θερμοκρασία, ισχύ, ένταση ρεύματος και τάση



**Εικόνα 3.3 Κελί Θέρμανσης**

### 3.3 Παράμετροι που επηρεάζουν την ωμική θέρμανση

Οι ωμικές αντιστάσεις μπορεί να χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερα ηλεκτρόδια για να μεταφέρουν το ρεύμα στο μέσο. Μπορούν να εγκατασταθούν είτε ως στατικά συστήματα (αντιδραστήρια δέσμης) είτε με συνεχή ροή (ρευστοποιημένα αντιδραστήρια). Καθώς στην ωμική θέρμανση, η θερμική ενέργεια παράγεται μέσα στο μέσο που θερμαίνεται, θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτατο όριο στη θερμοκρασία που μπορεί να παραχθεί. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν τη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται από το σύστημα, όπως

i. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του μέσου

Ένας από τους σημαντικότερους παραμέτρους στην ωμική θέρμανση είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θερμαινόμενου μέσου, καθώς εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη συχνότητα, τη συγκέντρωση των ηλεκτρολυτών και το κλίσμα της εφαρμοζόμενης τάσης. Η παρουσία ιονικών ουσιών, όπως οξέα και άλατα, αυξάνει την αγωγιμότητα, ενώ η παρουσία μη πολικών συστατικών όπως τα λίπη και τα λιπίδια τη μειώνει.

ii. Η σχεδίαση του συστήματος

iii. Ο χρόνος που χρησιμοποιείται για να θερμανθεί το μέσο

iv. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες του μέσου

v. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

vi. Η εξάρτηση της αντίστασης του μέσου από τη θερμοκρασία

Τα σύγχρονα ωμικά συστήματα σχεδιάζονται ειδικά για να λειτουργούν σε συνεχή λειτουργία (ωμική ροή θέρμανσης). Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα που λειτουργούν σε αντιδραστήρια αντίδρασης (στρογγυλά πυροχώματα ή κλειστά αγγεία) σε λειτουργία δέσμης, τα συστήματα συνεχούς ροής λειτουργούν τυπικά σε πολύ μικρά μικροαντιδραστήρια, όπου οι αντιδράσεις διεξάγονται υπό αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες σε έναν πολύ περιορισμένο χώρο. Η μεγάλη καινοτομία των συστημάτων ροής έγκυται στην εξαιρετική αποδοτικότητα θέρμανσης και μεταφοράς μάζας που επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης και συνεπώς τη παραγωγικότητα της διαδικασίας.

### 3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της ωμικής θέρμανσης

Η χρήση της ωμικής θέρμανσης στη χημική σύνθεση είναι ακόμα ένα αναδυόμενο κόνσεπτ , ωστόσο , τα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας έναντι της συμβατικής και τη θέρμανσης μικροκυμάτων έχουν ήδη αποδειχθεί

Κάποια από αυτά είναι :

1. Υψηλές ταχύτητες θέρμανσης και σημαντική μείωση των χρόνων αντίδρασης
2. Αυξημένη δυναμική/κινητικότητα των φορτισμένων σωματιδίων στο διάλυμα
3. Καλύτερες αποδόσεις και ευελιξία
4. Χαμηλή θερμική χωρητικότητα και χαμηλή θερμική αδράνεια της διαδικασίας
5. Άμεση απενεργοποίηση του συστήματος και της αντίδρασης
6. Ο όγκος θέρμανσης είναι σχεδόν απεριόριστος ( σε αντίθεση με τη μικροκυματική θέρμανση )
7. Ευκολότερη επιλειψιμότητα της διαδικασίας για την πιλοτική ή ακόμα και τη βιομηχανική κλίμακα συγκρινόμενη με την μικροκυματική θέρμανση
8. Καλύτερος και πιο απλός έλεγχος της διαδικασίας με μειωμένες δαπάνες συντήρησης
9. Υψηλή ενεργειακή απόδοση
10. Περιβαλλοντικά φιλική διαδικασία

Στην ωμική θέρμανση , το μέσο που πρέπει να θερμανθεί πρέπει να είναι αγώγιμο κάτι που μπορεί να αποτελέσει έναν περιορισμό όταν χρησιμοποιείται αυτή η διαδικασία για τη θέρμανση χημικών αντιδράσεων. Μη αγώγιμα μέσα μπορούν να γίνουν αγώγιμα με τη προσθήκη ενός ηλεκτρολύτη όπως το NaCl ή ένα οργανικό διαλυτό άλας ( τετρααλκυλαμμωνίου αλογόνου ) που δεν επηρεάζει την αντίδραση , ή διαλύτες όπως τα ιωνικά υγρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν επειδή είναι φυσικά αγώγιμα. Ωστόσο , αξίζει να σημειωθεί ότι τα μέσα με χαμηλή αντίσταση , που σημαίνει υψηλή αγωγιμότητα , ενδέχεται επίσης να δημιουργήσει προβλήματα κατά την ωμική θέρμανση.

Η έλλειψη γνώσεων και γενικότερων πληροφοριών σχετικά με τη διαδικασία της ωμικής θέρμανσης αποτελεί έναν άλλον σημαντικό περιορισμό. Η ωμική θέρμανση είναι γνωστή επίσης και σε άλλους τομείς , όπως η κεφαλαροειδής ηλεκτροφόρηση , όπου είναι αρκετά δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η θερμότητα/ενέργεια που διαπερνά

### 3.5 Μελλοντικές Προοπτικές της σύνθεσης με ωμική θέρμανση

Παρότι η χρήση της ωμικής θέρμανσης για τη χημική σύνθεση είναι πολύ πρόσφατη , οι μελέτες που έχουν ήδη διεξαχθεί στον τομέα της οργανικής σύνθεσης έχουν δείξει το μεγάλο δυναμικό της για την υποστήριξη των χημικών μετασχηματισμών. Έχει χρησιμοποιηθεί για να θερμάνει διάφορες οργανικές συνθέσεις περιλαμβανομένων εκείνων που περιλαμβάνουν τη χρήση ανομοιογενών καταλυτών , αντιδράσεις με τη βοήθεια ιονικών υγρών και αντιδράσεις πολλαπλών στοιχείων. Αδιαμφισβήτητα , υπάρχει ακόμα πολύς δρόμος να διανυθεί και πολύ έργο που πρέπει να επικεντρωθεί στη βελτίωση της ωμικής θέρμανσης. Όσον αφορά τον αντιδραστήρα ωμικής θέρμανσης , υπάρχουν αρκετές δυνατότητες να εξερευνηθούν για κατασκευή νέων αντιδραστήρων, οι οποίες περιλαμβάνουν :

1. Τη βελτιστοποίηση του υπάρχοντος πρότυπου αντιδραστήρα και τη μικρομετάβασή του προκειμένου να κατασκευαστούν πιο κατάλληλα εργαλεία για χρήση σε απορροφητική καμινάδα

2. Την ανάπτυξη κατάλληλων αντιδραστήριων ( κλειστά αγγεία ) για τη πραγματοποίηση αντιδράσεων πάνω απο την ατμοσφαιρική πίεση
3. Το σύζευγμα της ωμικής θέρμανσης με άλλες τεχνικές θέρμανσης όπως οι υπερήχοι για τη διευκόλυνση της χημείας
4. Την ανάπτυξη και τη κατασκευή κατάλληλων αντιδραστήριων ωμικής θέρμανσης για οργανική χημεία

### 3.6 Εφαρμογές της ωμικής θέρμανσης

Η εφαρμογή της ωμικής θέρμανσης στη βιομηχανία τροφίμων έχει αναπτυχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες , και η έλλειψη επιτυχιών σχετίζεται με τα προβλήματα που επιφέρει ο σχεδιασμός ηλεκτροδίων όπως η πόλωση και η ακαθαρσία , ταυτόχρονα όμως , η ωμική θέρμανση επιτρέπει τη θέρμανση τροφίμων σε ακραίο ρυθμό ( συνήθως από λίγα δευτερόλεπτα μέχρι λίγα λεπτά )

Την τελευταία δεκαετία , οι ερευνητές μελέτησαν το αντίκτυπο διαφόρων παραμέτρων που επηράζουν την απόδοση της αποτελεσματικότητας της ωμικής θέρμανσης , όπως το pH του μέσου , ο τύπος των ηλεκτροδίων κτλ.

Ο Samarapayake και ο Sastry , μελέτησαν το αντίκτυπο του pH στην ηλεκτροχημική συμπεριφορά ενός υλικού ηλεκτροδίου , η οποία είναι μοναδική για το υλικό αυτό καθαυτό , χρησιμοποιώντας εναλλασσόμενο ρεύμα 60 Hz. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι όλα τα υλικά ηλεκτροδίου εμφάνισαν έντονη διάβρωση του ηλεκτροδίου στο Ph 3,5 σε σύγκριση με άλλες τιμές PH , ενώ τα ηλεκτρόδια τιτανίου εμφάνισαν σχετικά υψηλή αντοχή στη διάβρωση.

Δεδομένου ότι η κρίσιμη παράμετρος στην ωμική θέρμανση είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $\sigma$ ), σε ένα μη ομογενές υλικό , όπως σούπες που περιέχουν φέτες στερεών τροφίμων , η ηλεκτρική αγωγιμότητα του σωματιδίου και η σχέση του με την αγωγιμότητα του υγρού θεωρείται κρίσιμη παράμετρος για τη κατανόηση του ρυθμού θέρμανσης των σωματιδίων κάτω από την ωμική θέρμανση.

#### 1. **Απόσταξη Νερού**

Δεδομένου ότι η αφαλάτωση θαλασσινού νερού απαιτεί κάποιο είδος ενέργειας , η ωμική θέρμανση μπορεί να παράγει θερμότητα στο θαλασσινό νερό σαν προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία αφαλάτωσης ως εναλλακτική μέθοδος θέρμανσης αντί της χρήσης ατμοπαραγωγών. Αρκετές μελέτες που διεξήχθησαν , καταλήγουν ότι η ωμική θέρμανση μπορεί να εφαρμοστεί για τη θέρμανση του θαλασσινού νερού με κάποιους περιορισμούς όσον αφορά την αλλαγή χρώματος και χρειάζονται περαιτέρω μελέτες για το πιλοτικό σύστημα παραγωγής και τη μοντελοποίηση της δυνατής χρήσης της ωμικής θέρμανσης στη διαδικασία της αφαλάτωσης

#### 2. **Άλλες βιομηχανικές εφαρμογές**

Μία απο τις νέες σημαντικές βιομηχανικές εφαρμογές όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ωμική θέρμανση είναι στην επεξεργασία αποβλήτων , όπως η αποστείρωση των αποβλήτων των ζώων, η θέρμανση του πηλού και η επεξεργασία λυμάτων.

Μελέτες απέδειξαν ότι τα λύματα μπορούν να θερμανθούν με ωμική αντίσταση , απο τη θερμοκρασία δωματίου μέχρι τη θερμοκρασία βρασμού , με ομοιόμορφη ταχύτητα και με ενεργειακή απόδοση μεγαλύτερη του 98%.

Οι Stancl και Huang , ανέπτυξαν ένα στατικό σύστημα θέρμανσης μέσω ωμικής αντίστασης για να αφαιρέσουν πρωτεΐνες από το νερό πλύσης ψαριών ( λαβράκια ) που συλλέχθηκε από μια μονάδα παραγωγής σουρίμι για να βελτιώσουν τη ποιότητα του νερού

Η ωμική θέρμανση μπορεί να έχει μια νέα προσέγγιση για να συνδυαστεί με αποθήκευση θερμικής ενέργειας( TES : Thermal Energy System ). Τα TES είναι βασισμένα στην ενέργεια της εκχύλισης και είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία λόγω των πλεονεκτημάτων της , όπως η υψηλή θερμική ενέργεια της εκχύλισης. Ειδικά τα συστήματα TES στα οποία το λιωμένο άλας χρησιμοποιείται ως μέσο αποθήκευσης , εφαρμόζονται ευρέως , καθώς το λιωμένο άλας μπορεί να προσφέρει την καλύτερη ισορροπία χωρητικότητας, κόστους , απόδοσης και χρηστικότητας σε υψηλές θερμοκρασίες. Όπως προαναφέρθηκε , η απόδοση της ωμικής θέρμανσης αυξάνεται με την αύξηση των ιόντων , οπότε υπάρχει δυνατότητες για χρήση ωμικής θέρμανσης για την τήξη του αλατιού και τη χρήση αυτής της λιωμένης λύσης αργότερα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμαντικά σώματα.

Η σημασία της κατανάλωσης ενέργειας στη θέρμανση στο βιομηχανικό τομέα καθιστά αναγκαίο όχι μόνο τη πραγματοποίηση βασικής έρευνας για νέες εναλλακτικές αλλά και βιώσιμες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας. Ωστόσο , η χρήση της ωμικής θέρμανσης είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία με μεγάλο αριθμό τρέχουσων αλλά και μελλοντικών εφαρμογών.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω :

- Η ωμική θέρμανση έχει τεράστια προοπτική για επίτευξη γρήγορης και ομοιόμορφης θερμότητας
- Η επιτυχία της ωμικής θέρμανσης εξαρτάται απο το ρυθμό παραγωγής θερμότητας στο σύστημα , την ηλεκτρική αγωγιμότητα της θερμαντικής ουσίας , τη δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου , τον χρόνο διαμονής , την εφαρμοζόμενη ηλεκτρική συχνότητα και τη συχνότητα περιστατικού
- Απαιτείται μεγάλος όγκος εργασίας για τη πλήρη κατανόηση όλων των επιπτώσεων που παράγονται απο την ωμική θέρμανση
- Οι οικονομικές μελέτες θα παίξουν επίσης σημαντικό ρόλο στη κατανόηση του συνολικού κόστους και της βιωσιμότητας των εμπορικών εφαρμογών
- Υπάρχουν ακόμα πολλές προκλήσεις και δυσκολίες στον έλεγχο του ρυθμού θέρμανσης και τη διαδικασία της ωμικής θέρμανσης λόγω της μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θερμαντικού υλικού

(Mohamed Sakr et al., )

## 3.Υλικά – Μέθοδοι



## Κεφάλαιο 4 : Υλικά και μέθοδοι

### 4.1 Σκοπός

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διεξαχθεί πειραματική μελέτη σχετικά με τη παραγωγή προϊόντων πατάτας υψηλής ποιότητας. Συγκεκριμένα , επιδιώκεται η εφαρμογή της τεχνικής ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης ως προ-επεξεργασία για τη δημιουργία φρεσκοκομμένων πατατών, οι οποίες μπορούν να διατηρηθούν στο ψυγείο. Ο σκοπός είναι να διατηρηθούν τα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος πατάτας, σε βάθος ημερών με τη διατήρηση σε συνθήκες ψυγείου.

### 4.2 Υλικά – Χημικά Αντιδραστήρια

#### 4.2.1 Υλικά

Η πατάτα παραλήφθηκε, απο την εταιρεία Σκληράκης-Γιακουμής και αποθηκεύτηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, μέχρι την επεξεργασία της.

#### 4.2.2 Χημικά αντιδραστήρια

Για την παρασκευή των ωσμωτικών μέσων προμηθεύτηκε από την τοπική αγορά η γλυκερόλη, η γλυκόζη και το αλάτι.

#### Γλυκόζη

Ανάμεσα στις πολλές βιολογικές ενώσεις που βρίσκονται στη φύση , η γλυκόζη είναι πιθανώς μία από τις πιο κρίσιμες για τη ζωή. Ως κύριο καύσιμο για τη γλυκόλυση και τις κατώτερες διαδρομές της αερόβιας και αναερόβιας αναπνοής , η γλυκόζη είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία πολύ μεγάλου μέρους της ενεργειακής δυναμικής που απαιτείται για επιτυχή ανάπτυξη και αναπαραγωγή. Στα φυτά και τα κυανοβακτήρια , η γλυκόζη παράγεται από νερό και διοξείδιο του άνθρακα μέσω της φωτοσύνθεσης και συμπυκνώνεται για να δημιουργήσει άμυλο.( R.C. Kaufman , J.D.Wilson et al.,1992)

#### Γλυκερόλη

Η γλυκερόλη χρησιμοποιείται ως πλαστικοποιητής στα τρόφιμα για τη βελτίωση της υφής τους, είναι ένα υγροσκοπικό μέσο με αντιμικροβιακές ιδιότητες. Επιδρά στη μείωση της ενεργότητας ύδατος και προσδίδει γλυκιά γεύση στο τρόφιμο, ενώ η θερμιδική αξία της είναι 4,3 kcal/g (Blomberg, A. and Adler, L. et al.,(1992) )

#### Άλας NaCl

Το άλας NaCl σε μικρές ποσότητες στο ωσμωτικό διάλυμα αυξάνει την απόδοση της διεργασίας και βελτιώνει τη γεύση του τελικού προϊόντος , εξασθενώντας τη γλυκύτητα. (Lerici et al., 1985).

### 4.3 Πειραματική Διαδικασία

#### 4.3.1 Ωσμωτική αφυδάτωση

##### **Βελτιστοποίηση διεργασίας**

Κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, εξετάστηκαν ποικίλοι παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης, της αναλογίας τροφίμου προς διάλυμα, και της διάρκειας της διαδικασίας αφυδάτωσης. Τα δείγματα φρέσκων πατατών είχαν αποθηκευτεί σε θερμοκρασία δωματίου. Ως ωσμωτικά μέσα χρησιμοποιήθηκαν η γλυκερόλη, η γλυκόζη, το αλάτι (NaCl), καθώς και συνδυασμοί αυτών. Τα διαλύματα παρασκευάστηκαν αναμιγνύοντας την κατάλληλη ποσότητα γλυκόζης, γλυκερόλης και NaCl με απιονισμένο νερό, σε αναλογία βάρους υλικών προς διάλυμα 1:5. Τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν περιγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.1. Ο χρόνος αφυδάτωσης μελετήθηκε από 10min έως 24h. Οι τιμές παραμέτρων που εξετάστηκαν παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 4.1. Συνοπτική παρουσίαση των παραμέτρων που μελετήθηκαν στη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης**

Ωσμωτικό μέσο	Συγκέντρωση	Θερμοκρασία (°C)	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας (h)
Γλυκερόλη	<b>70% (w/w)</b>	<b>25-45</b>	<b>1:5</b>	<b>0,17-24</b>
Γλυκόζη	<b>70% (w/w)</b>	<b>25-45</b>	<b>1:5</b>	<b>0,17-24</b>
Γλυκερόλη-Γλυκόζη	<b>70-30 (w/w)</b>	<b>25-45</b>	<b>1:5</b>	<b>0,17-24</b>
Γλυκερόλη-Γλυκόζη	<b>60-40 (w/w)</b>	<b>25-45</b>	<b>1:5</b>	<b>0,17-24</b>
Γλυκερόλη-NaCl-H <sub>2</sub> O	<b>60-30-10 (w/w)</b>	<b>25-45</b>	<b>1:5</b>	<b>0,17-24</b>
Γλυκερόλη-NaCl-H <sub>2</sub> O	<b>65-35-5 (w/w)</b>	<b>25-45</b>	<b>1:5</b>	<b>0,17-24</b>

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας αφυδάτωσης, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε διηθητικό χαρτί για να αφαιρεθεί το υπερβάλλον διάλυμα. Στη συνέχεια τα δείγματα ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν στον φούρνο ξήρανσης για τον υπολογισμό της υγρασίας που απομακρύνθηκε κατά τη διεργασία. Η ξήρανση πραγματοποιήθηκε σε φούρνο ( Sanyo Gallenkamp PLC, Leicester, England ) που απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα , σε θερμοκρασία 100°C. Τόσο το δείγμα της φρέσκιας πατάτας , όσο και τα αφυδατωμένα δείγματα πατάτας μετά από κάθε ωσμωτική αφυδάτωση τοποθετήθηκαν στο φούρνο μέχρι τη πλήρη ξήρανσή τους. Η μέτρηση για την υγρασία των αφυδατωμένων δειγμάτων πραγματοποιήθηκε δύο φορές



Εικόνα 4.1 Φούρνος κενού

### Μέτρηση αρχικής και τελικής υγρασίας

Ως αρχική υγρασία ( $W_{αρχ}$ ) θεωρείται η υγρασία των σπόρων της πατάτας, αφού παραμείνουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ως τελική υγρασία ( $W_{τελ}$ ) θεωρείται η υγρασία που περιέχουν οι πατάτες μετά την ξήρανση σε φούρνο. Το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας επί υγρής βάσης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$X = \frac{W_{αρχ} - W_{τελ}}{W_{αρχ}} * 100 \% \text{ ( Εξ. 4.1 )}$$

### Κινητική ωσμωτικής αφυδάτωσης

Το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Panagiotou et al.,(1998) χρησιμοποιήθηκε για τη προβλέψει την απώλεια υγρασίας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης της πατάτας. Επιπλέον, μπορεί να προβλέψει την αύξηση των στερεών του τροφίμου από το ωσμωτικό διάλυμα. Το μοντέλο, το οποίο περιγράφει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, αποτελείται από εξισώσεις κινητικής πρώτης τάξης. Οι παρακάτω υποθέσεις λαμβάνονται υπόψη:

1. Η αρχική συγκέντρωση του νερού και των σακχάρων στο τρόφιμο είναι μοιόμορφη
2. Η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος θεωρείται σταθερή λόγω της υψηλής αναλογίας του σε σχέση με το τρόφιμο
3. Η διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι ισοθερμική
4. Η διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι μια διαδικασία ισορροπίας
5. Η διάχυση των μορίων του νερού από το τρόφιμο προς το ωσμωτικό διάλυμα και η διάχυση των στερεών προς την αντίθετη κατεύθυνση κυριαρχούν σε σχέση με τη διάχυση άλλων μορίων
6. Η διάχυση των μορίων του νερού και των στερεών θεωρείται ανεξάρτητη, χωρίς η μία να επηρεάζει την άλλη.

Η απώλεια υγρασίας περιγράφεται από την εξίσωση 4.2

$$\frac{d(WL)}{dt} = -KWL \cdot (WL - WLe) \quad \text{( Εξ. 4.2 )}$$

Όπου

1.  $WL$  = απώλεια υγρασίας σε οποιαδήποτε δεδομένη χρονική στιγμή
2.  $WLe$  = απώλεια υγρασίας σε ισορροπία
3.  $K_{WL}$  = σταθερά ρυθμού απώλειας νερού κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης ( $h^{-1}$ )
4.  $t$  = χρόνος επεξεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης ( $h$ )

Η παραπάνω εξίσωση επιλύεται με την αρχική συνθήκη ότι, στην αρχή της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η απώλεια νερού προς και από το τρόφιμο είναι μηδενική. Η λύση δίνεται από την εξίσωση 4.3

$$WL = WLe \cdot (1 - e^{-K_{WL}t}) \quad (\text{Εξ. 4.3})$$

Η σταθερά ρυθμού για την απώλεια νερού ( $K_{WL}$ ) μπορεί να υπολογιστεί μέσω εμπειρικής εξίσωσης. Θεωρείται ότι επηρεάζεται από τις παρακάτω παραμέτρους της διαδικασίας:

- Θερμοκρασία,  $T$  ( $^{\circ}C$ )
- Συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος,  $C$  (% w/w)
- Αναλογία στερεού τροφίμου προς διάλυμα,  $R$

Η εμπειρική εξίσωση για τις σταθερές ρυθμού είναι η εξίσωση 4.4

$$K_{WL} = a_o \left(\frac{C}{C_o}\right)^{a_c} \left(\frac{T}{T_o}\right)^{a_T} \left(\frac{R}{R_o}\right)^{a_R} \quad (\text{Εξ. 4.4})$$

Όπου

1.  $C_o$  = ο αριθμητικός μέσος όρος των συγκεντρώσεων για κάθε ομάδα πειραμάτων
2.  $T_o$  = ο αριθμητικός μέσος όρος των θερμοκρασιών για κάθε ομάδα πειραμάτων
3.  $R_o$  = ο αριθμητικός μέσος όρος των αναλογιών τροφίμου προς διάλυμα για κάθε ομάδα πειραμάτων.

Η τιμή ισορροπίας ( $WLe$ ), η οποία αντιπροσωπεύει την απώλεια υγρασίας σε άπειρο χρόνο επεξεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, θεωρείται η τιμή στις 24 ώρες σε κάθε πείραμα. Οι μεταβλητές στις εξισώσεις ( $a_o$ ,  $a_c$ ,  $a_T$ ,  $a_R$ ) προσδιορίζονται μέσω μη γραμμικής παλινδρόμησης, βασισμένης στη μείωση των τετραγώνων (Panagiotou et al., 1998).

#### 4.3.2 Ωμική Θέρμανση

##### **Βελτιστοποίηση διεργασίας**

Η ωμική θέρμανση έχει τεράστιες δυνατότητες για την επίτευξη ταχείας και ομοιόμορφης θέρμανσης στα τρόφιμα, παρέχοντας μικροβιολογικά ασφαλή και υψηλής ποιότητας τρόφιμα. Η επιτυχία της ωμικής θέρμανσης εξαρτάται από τον ρυθμό παραγωγής θερμότητας στο σύστημα, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του τροφίμου, την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, τον χρόνο παραμονής και τη μέθοδο με την οποία το φαγητό ρέει μέσω του συστήματος. Η ωμική θέρμανση είναι κατάλληλη για την επεξεργασία τροφίμων πλούσιων σε σωματίδια και πρωτεΐνες.

Ο προσδιορισμός των βέλτιστων παραμέτρων και των πειραματικών συνθηκών για την απενεργοποίηση της οξειδάσης της πολυφαινόλης ( ΠΦΟ ) στις πατάτες ψρησιμοποιώντας ωμική θέρμανση στις πατάτες απαιτεί συστηματική προσέγγιση, καθώς οι συγκεκριμένες τιμές μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τα επιθυμητά αποτελέσματα και τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με κύβους πατάτας με διαστάσεις 40 mm (μήκος) x 12 mm (πλάτος) x 12 mm (ύψος), με συγκρίσιμες γεωμετρίες.

Το ωμικό σύστημα θέρμανσης ρυθμίστηκε να λειτουργεί εντός του εύρους θερμοκρασίας 30-100°C, λαμβάνοντας υπόψη την εξάρτηση της απενεργοποίησης του ΠΦΟ από τη θερμοκρασία. Για να υπάρχει η απαραίτητη αγωγιμότητα για τις επεξεργασίες ΟΗ, οι πατάτες μαγειρεύτηκαν σε υδατικά διαλύματα NaCl 1.5% w/w. Διεξήχθησαν προκαταρκτικές δοκιμές για τον προσδιορισμό των βέλτιστων συνθηκών για την επίτευξη ικανοποιητικής απενεργοποίησης του ΠΦΟ χωρίς να διακυβεύεται η υφή και το χρώμα της πατάτας. Οι κατάλληλες ρυθμίσεις τάσης, ρεύματος και συχνότητας καθορίστηκαν με βάση τις μετρήσεις αγωγιμότητας και τον επιθυμητό ρυθμό θέρμανσης. Οι ηλεκτρικές παράμετροι βελτιστοποιήθηκαν για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική απενεργοποίηση της ΠΦΟ κατά τη διάρκεια της ωμικής θέρμανσης. Το σταθερό πάχος του δείγματος πατάτας διατηρήθηκε σε όλο το πείραμα για να ελαχιστοποιηθούν οι διακυμάνσεις στη συμπεριφορά θέρμανσης. Αναγνωρίστηκε ότι τα παχύτερα δείγματα ενδέχεται να απαιτούν μεγαλύτερους χρόνους θέρμανσης για επαρκή διείσδυση θερμότητας και απενεργοποίηση ενζύμων. Η διάρκεια της ωμικής θέρμανσης προσαρμόστηκε για να επηρεάσει την έκταση της αδρανοποίησης ΠΦΟ, αναγνωρίζοντας ότι οι μεγαλύτεροι χρόνοι θέρμανσης γενικά οδηγούν σε πιο σημαντική απενεργοποίηση ενζύμου.

Οι συνθήκες που δοκιμάστηκαν στον ωμικό θερμαντήρα, αναφέρονται στον πίνακα 4.2. Η υπολειπόμενη δραστηριότητα ΠΦΟ μετρήθηκε για δείγματα που υποβλήθηκαν σε πεξεργασία για διαφορετικές θερμοκρασίες και χρόνους διατήρησης.

**Πίνακας 4.2 Λειτουργικές παράμετροι της διεργασίας ωμική θέρμανσης**

Παράμετροι Διεργασίας	Τιμές
Ισχύς ηλεκτρικού πεδίου (V/cm)	15,20,25
Χρόνος (min)	5,7,10

Ακολουθούν φωτογραφίες από την πειραματική διάταξη



## Εικόνα 4.2 Πειραματική Διάταξη της Ωμικής Θέρμανσης

Τα βέλτιστα δείγματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση των διεργασιών μελετήθηκαν ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά

### 4.4 Προσδιορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών

Η ωσμωτική αφυδάτωση του τρόφιμου μέσω εμβάπτισης σε ωσμωτικό διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα την απόκτηση προϊόντος υψηλότερης ποιότητας σε σύγκριση με τη συμβατική ξήρανση και με παρόμοια οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με το φρέσκο προϊόν. Αυτή η διαδικασία αποτρέπει την αμαύρωση του φρούτου και την απώλεια πτητικών αρωματικών ενώσεων. Επιπλέον, η ωσμωμένη πατάτα αναμένεται να έχει μικρότερη οξύτητα από ότι το φρέσκο προϊόν, μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στερεά. Αυτό λειτουργεί ως μέσο προστασίας του τροφίμου από πιθανή αλλοίωσή του σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως αλλαγές στο χρώμα και τη υφή. (Bekele and Ramaswamy 2010 ).

Η ωμική θέρμανση μπορεί να επηρεάσει το χρώμα, την υφή και τη θρεπτική αξία του τροφίμου, ενώ παράλληλα επιτυγχάνει την απενεργοποίηση ενζύμων και μικροοργανισμών. Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων, είναι σημαντικό να μετρηθούν παράμετροι όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος θέρμανσης, οι αλλαγές στο χρώμα, η υφή, η περιεκτικότητα σε υγρασία, και η μικροβιολογική σταθερότητα.

Αξιολογήσεις πραγματοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης στη συνολική ποιότητα των πατατών σε βάθος οκτώ ημερών. Συγκεκριμένα, η ωσμωτική αφυδάτωση μελετήθηκε ως προς το χρώμα, την ολική οξύτητα, τα ολικά διαλυτά στερεά και την ενζυμική ενεργότητα. Η ωμική θέρμανση μελετήθηκε ως προς το χρώμα και την ενζυμική ενεργότητα.

#### 4.4.1 Μέτρηση μεταβολής χρώματος

Το χρώμα των τροφίμων αποτελεί μια σημαντική παράμετρο, καθώς σε περίπτωση που μεταβληθεί μπορεί να το καταστήσει μη αποδεκτό στους καταναλωτές. Οι κύριες χρωστικές που προσδίδουν το χρώμα στη πατάτα είναι το λυκοπένιο ( κόκκινο χρώμα ), οι ανθοκυανίνες ( βαθύ κόκκινο ή μπλε χρώμα ) και τα καροτενοειδή ( κίτρινο , πορτοκαλί χρώμα ) όπου ενισχύουν σημαντικά την αντιοξειδωτική άμυνα του οργανισμού μας. Επιπλέον, οι ενζυμικές και μη ενζυμικές αντιδράσεις αμαύρωσης μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό υδατοδιαλυτών καφέ, γκρι και μαύρων χρωστικών

Η ωσμωτική αφυδάτωση, είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων ενδιάμεσης υγρασίας. Αυτή η διαδικασία παράγει τη σταθεροποίηση των παραμέτρων του χρώματος, μειώνοντας μη ενζυμικές αντιδράσεις αμαύρωσης και συχνά βελτιώνει το χρώμα των προϊόντων φρούτου {Krokida et al.2000}.

Σε δείγματα πατάτας που έχουν υποστεί ωσμωτική επεξεργασία σε ιδανικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας το φωτόμετρο MiniScan XE ( Hunter Associates Laboratory Inc , Reston, Virginia), με ένα διάφραγμα κεφαλής μέτρησης διαμέτρου 4mm, μετράται η χρωματική απόχρωσή τους. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μετρήσεις προκειμένου να υπολογιστεί ο μέσος όρος των αδιάστατων παραμέτρων χρώματος L,a,b. Η παράμετρος "L" αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα, η παράμετρος "a" δείχνει τις διαφορές στο κόκκινο και το πράσινο, ενώ η παράμετρος "b" αποτυπώνει τις διαφορές στο κίτρινο και το μπλε. Οι τιμές υπολογίστηκαν με βάση το σύστημα μέτρησης χρώματος

CIELAB. Ως δείγματα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν φρέσκα δείγματα πατάτας. Οι μετρήσεις του χρώματος πραγματοποιήθηκαν τις ημέρες 0, 2, 4, 6, 8. Η μέτρηση του χρώματος ( $\Delta E$ ) υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 5.3 (Niar, Saxena, and Kaur 2018)

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5} \text{ ( Εξ 4.5 )}$$

Όπου  $\Delta E$ = η μεταβολή του χρώματος

$\Delta L$ = η μεταβολή του L μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς

$\Delta a$ = η μεταβολή του a μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς

$\Delta b$ = η μεταβολή του b μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς



Εικόνα 4.3 Χρωματόμετρο

#### 4.4.2 Ολική οξύτητα

Η ολική οξύτητα φρέσκων και ωσμωτικά αφυδατωμένων πατατών μετρήθηκε μέσω τιτλοδότησης. Περίπου 1 mL υγρού πατάτας αραιώθηκε σε 9 mL απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια προστέθηκαν λίγες σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης και το διάλυμα τιτλοδοτήθηκε με καυστικό νάτριο (NaOH) 0,1N, έως ότου το χρώμα του διαλύματος να μετατραπεί από ροζ σε μωβ. Τέλος, η οξύτητα υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση εκφρασμένη ως % κιτρικού οξέος (AOAC, 2000), (Guimaraes et al., 2013).

$$\text{Οξύτητα(\%)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot C_{\text{NaOH}} \cdot \text{Παράγοντας Οξύτητας}}{V_{\text{δείγματος}}} \quad (\text{Εξ 4.6})$$

Όπου :

$V_{\text{NaOH}}$ : ο όγκος του καυστικού νατρίου που καταναλώθηκε (mL),

$C_{\text{NaOH}}$ : η συγκέντρωση του καυστικού νατρίου (N)

Παράγοντας Οξύτητας: 0,064 για το κιτρικό οξύ

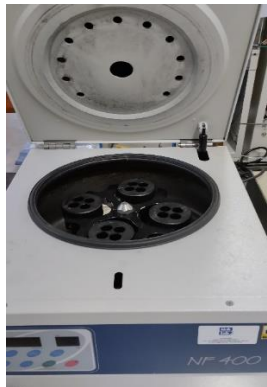
V<sub>δείγματος</sub> : όγκος του δείγματος (mL)

#### 4.4.3 Ολικά διαλυτά στερεά

Στην πλειοψηφία των φρούτων και των λαχανικών, τα σάκχαρα είναι αυτά που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των ολικών διαλυτών στερεών τους. Επομένως, χρησιμοποιούνται σαν δείκτης του ποσοστού διαλυτών στερεών στο τρόφιμο. Τα ολικά διαλυτά στερεά TSS (total soluble solids) μετρώνται μέσω της γλυκύτητας του τροφίμου, η οποία φανερώνει το βαθμό ωριμότητάς τους, και εκφράζεται σε βαθμούς Brix (Daniel Valero and Maria Serrano, 2013). Τα ολικά διαλυτά στερεά των φρέσκων και ωσμητικά αφυδατωμένων πατατών προσδιορίστηκαν με τη χρήση διαθλασίμετρου (Amal et al., 2010)

#### 4.4.4 Ενζυμική δραστηριότητα PPO

Η ανάλυση του ενζύμου πραγματοποιήθηκε όπως περιγράφεται από τους Fang et al., (2007)\* με ελαφρές τροποποιήσεις. Το ακατέργαστο ένζυμο παρασκευάστηκε με ανάμειξη 3g πολτού φρούτου με 6 mL ρυθμιστικού διαλύματος 0.2-M φωσφορικού νατρίου ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4/\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (pH 6.5) που περιείχε 4% (w/v) PVPP και 1% (v/v) Triton x100. Το μείγμα αναδεύτηκε σε θερμοκρασία δωματίου για 10 λεπτά για την εξαγωγή της PPO και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκε στις 6000 rpm για 15 min. Το υπερκείμενο, το οποίο περιείχε ακατέργαστο PPO, φιλτράστηκε μέσω φίλτρων 0.45  $\mu\text{m}$  (Chromafil PVDF-45/25, Macherey-Nagel, Γερμανία) και διατηρήθηκε στους 0°C (σε πάγο) πριν από την υποβολή σε θεραπείες pH και θερμοκρασίας και τις μετρήσεις της ενζυμικής δραστηριότητας. Η δραστηριότητα της PPO προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας 100  $\mu\text{l}$  από τα εκχυλίσματα PPO. Το ένζυμο στη συνέχεια αραιώθηκε σε 3 ml ρυθμιστικού διαλύματος 0.05 M φωσφορικού νατρίου (pH 6.5) που περιείχε κατεχόλη σε συγκέντρωση 0.07 M. Η αύξηση της απορρόφησης στο τελικό διάλυμα μετρήθηκε στα 420 nm για 2 min. Το διάγραμμα απορρόφησης (A420 nm) με τον χρόνο αντίδρασης σχεδιάστηκε για την προσομοίωση της κινητικής αδρανοποίησης του ενζύμου. (\*Fang, C., Wang, C., Xiong, Y.L., Pomper, K.W. (2007). Extraction and characterization of polyphenol oxidase in pawpaw ( *Asimina triloba* ) fruit. Journal of Food Biochemistry , 603-620 )



Εικόνα 4.4 Φυγόκεντρος

#### 4.4.5 Επιλογή βέλτιστων δειγμάτων

Τα βέλτιστα δείγματα επιλέχθηκαν μέσω της αξιολόγησης μιας σειράς κρίσιμων παραμέτρων. Για τις πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωσμητική αφυδάτωση, η διαδικασία επιλογής καθοδηγήθηκε από μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της κινητικής της απώλειας νερού, της συνολικής περιεκτικότητας σε

διαλυτά στερεά, της ολικής οξύτητας, της δραστηριότητας της ΡΡΟ, καθώς και της ανάλυσης των αλλαγών στο χρώμα. Αυτοί οι παράγοντες παρείχαν μια πλήρη κατανόηση της αποδοτικότητας της διαδικασίας αφυδάτωσης και της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

Στην περίπτωση των πατατών που θερμάνθηκαν με ωμική θέρμανση, τα κριτήρια επιλογής επικεντρώθηκαν συγκεκριμένα στη δραστηριότητα της ΡΡΟ και στην ανάλυση των αλλαγών στο χρώμα. Αυτές οι παράμετροι είναι κρίσιμες, καθώς επηρεάζουν άμεσα την οπτική και βιοχημική ποιότητα των πατατών, διασφαλίζοντας ότι η διαδικασία θέρμανσης διατηρεί τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, ενώ ελαχιστοποιεί τυχόν αρνητικές αλλοιώσεις.

Με την προσεκτική ανάλυση αυτών των παραμέτρων, η μελέτη διασφάλισε ότι τα επιλεγμένα δείγματα αντιπροσώπευαν την καλύτερη δυνατή ποιότητα όσον αφορά τις διαδικασίες αφυδάτωσης και ωμικής θέρμανσης, με στόχο την ενίσχυση τόσο των θρεπτικών όσο και των αισθητικών ιδιοτήτων των πατατών

## 4.5 Αξιολόγηση βέλτιστων φρεσκοκομμένων πατατών με την αποθήκευση

### 4.5.1 Μέτρηση απώλεια βάρους

Δείγματα ωσμομένης πατάτας ζυγίστηκαν μετά την έξοδό τους από τον ξηραντήρα σε ρεύμα αέρα. Αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο στους 3°C και τις μέρες 2, 3, 4, 5, 6 και 7 ζυγίστηκαν ξανά. Η απώλεια βάρους υπολογίστηκε από τη παρακάτω εξίσωση :

$$\text{Απώλεια Βάρους (\%)} = \frac{m_{\text{αρχικό}} - m_{\text{τελικό}}}{m_{\text{αρχικό}}} * 100\% \text{ ( Εξ 4.7 )}$$

Όπου  $m_{\text{αρχικό}}$  = το αρχικό βάρος τροφίμου

$m_{\text{τελικό}}$  = το τελικό βάρος τροφίμου

### 4.5.2 Μεταβολή χρώματος

Το χρώμα μελετήθηκε όπως έχει περιγραφεί παραπάνω.

### 4.5.3 Ενζυμική δραστηριότητα

Η ενζυμική δραστηριότητα μελετήθηκε όπως έχει περιγραφεί παραπάνω

### 4.5.4 Υφή/Σκληρότητα

Η σκληρότητα των δειγμάτων πατάτας προσδιορίστηκε με δοκιμές μονοαξονικής συμπίεσης στη συσκευή μηχανικών δοκιμών Zwick (model Z2.5/TN1S, Ulm, Germany). Η συσκευή περιλαμβάνει δύο παράλληλες πλάκες για τη μονοαξονική συμπίεση, μία σταθερή και μία κινούμενη. Ο χειρισμός της συσκευής γίνεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πριν την έναρξη του κάθε πειράματος, μετρήθηκαν οι διαστάσεις κάθε δοκιμίου (μήκος, ύψος, πλάτος) με χρήση παχύμετρου.

Πριν την έναρξη κάθε δοκιμής, η απόσταση των παράλληλων πλακών ρυθμίστηκε στα 25mm. Οι δοκιμές συμπίεσης πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C), με σταθερή ταχύτητα 5 mm/min, χρησιμοποιώντας σταθερή δύναμη 2000 N. Η δοκιμή σταματούσε όταν η δύναμη έφτανε στη μέγιστη τιμή της. Οι τιμές της δύναμης και της παραμόρφωσης καταγράφονται ηλεκτρονικά με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού (Zwick PC Software, Version 3.1.). Με βάση τα δεδομένα δύναμης-παραμόρφωσης κατασκευάστηκαν οι καμπυλες τάσης – παραμόρφωσης. Οι μετρήσεις

πραγματοποιήθηκαν σε δύο επαναλήψεις. Η δύναμη και η παραμόρφωση καταγράφηκαν ηλεκτρονικά και οι προκύπτουσες καμπύλες συμπίεσης τάσης-παραμόρφωσης κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τις εξισώσεις (4.8) και (4.9)

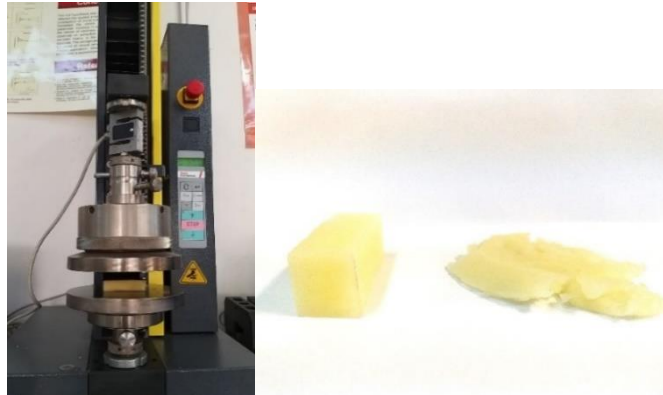
$$\sigma \text{ (Pa)} = \frac{F}{A} \quad (\text{Εξ 4.8})$$

$$\varepsilon_n(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (\text{Εξ 4.9})$$

Όπου :

1.  $\sigma$  είναι η τάση (Pa)
2.  $\varepsilon_n$  είναι η παραμόρφωση (mm/mm)
3.  $A$  είναι η επιφάνεια διατομής ( $m^2$ )
4.  $L_0$  είναι το αρχικό πάχος των δειγμάτων (m)
5.  $F$  είναι η δύναμη (N) και
6.  $\Delta L$  είναι η παραμόρφωση (m)

(Laina et al., 2024)



Εικόνα 4.5<sup>α</sup> Συσκευή μηχανικών δοκιμών

Εικόνα 4.5<sup>β</sup> Δείγμα πατάτας πριν και μετά τη μηχανική συμπίεση

#### 4.6 Προσδιορισμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε σε τηγανισμένο προϊόν φρεσκοκομμένης πατάτας. Στο τηγανισμένο προϊόν φρεσκοκομμένης πατάτας προσδιορίστηκαν η εμφάνιση, το χρώμα, η οσμή και η υφή (με το χέρι), η υφή (στο στόμα), η γεύση, το άρωμα και η μετάγευση. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικών των δειγμάτων βαθμολογήθηκαν σε κλίμακα εύρους από το 1 έως το 9, στην οποία οι τιμές από το 5 και κάτω δηλώνουν χαμηλής ποιότητας τρόφιμο και μη αποδεκτό, ενώ τιμές άνω του 5 δηλώνουν τρόφιμο καλύτερης ποιότητας και αποδεκτό. Εξαιρέση αποτελεί η σκληρότητα που και σε τιμές κάτω και πάνω του 5 κρίνεται αποδεκτή. Σε όλα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά εξετάστηκε και η αρέσκεια των δειγμάτων. Η οργανοληπτική εκτίμηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε από έμπειρη ομάδα δοκιμαστών ( 5 άτομα ). Στη συνέχεια παρατίθεται το έντυπο οργανοληπτικής δοκιμής.

#### Οργανοληπτικός έλεγχος πατάτας

Χαρακτηριστικά		Κωδικοί δειγμάτων						
Εμφάνιση	Χρώμα							
	Ομοιομορφία							
Υφή	Τραγανότητα							
	Εσωτερική υφή							
Γεύση	Ένταση							
	Λαδίλα							
	Γλυκιά							
	Πικρή							
Άρωμα	Ένταση αρώματος							
	Αποδοχή αρώματος							
Μετάγευση								
Συνολική αποδοχή								

Κλίμακα από το 1 έως το 9 όπου αξιολογείται η ένταση του χαρακτηριστικού. Στην αποδοχή χρώματος, την αίσθηση στο στόμα, τη μετάγευση και τη συνολική αποδοχή αξιολογείται η αποδοχή.

Σχόλια:

#### Εικόνα 4.6 Έντυπο οργανοληπτικής δοκιμής

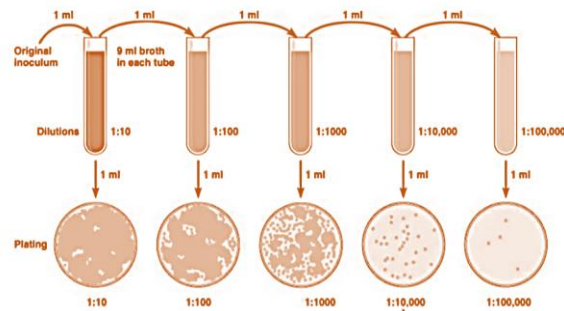
#### 4.7 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου

Το δείγμα πατάτας που υπέστη ωμική θέρμανση καθώς και το δείγμα αναφοράς ελέγχθηκαν ως προς το ολικό μικροβιακό τους φορτίο (Total Plate Count), καθώς και την ύπαρξη μούχλας και ζυμομυκήτων (Yeast & Moulds). Οι μικροβιακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε απαγωγό μικροβιακής ανάλυσης (Nuve MN 090 Microbiological Safety Cabinet, Ankara), υπό ασηπτικές συνθήκες ( 4.7 ). Επιπλέον, όλος ο χρησιμοποιούμενος κατά την πειραματική διαδικασία εξοπλισμός, είχε αποστειρωθεί πλήρως σε κλίβανο αποστείρωσης (Certoclav Classic Laboratory Autoclave, Leonding, Austria) σε θερμοκρασία 121°C για 15 min και σε 15 psi.



Εικόνα 4.7 Απαγωγός μικροβιακής ανάλυσης

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του μικροβιακού φορτίου των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε με την τεχνική των διαδοχικών αραιώσεων (Εικόνα 4.8) όπως αναφέρεται από τους Kumari & Nikhanj (2022) με ορισμένες τροποποιήσεις. Τα δείγματα φρέσκιας πατάτας υποβλήθηκαν σε μικροβιακή απαρίθμηση χρησιμοποιώντας θρεπτικό άγαρ. Αφού τα δείγματα ζυγίστηκαν και διαχωρίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε αποστειρωμένη συσκευασία, και προστέθηκε ορός Ringer σε αναλογία 1:9. Ένα δισκίο Ringer (Merck 1.15525, Darmstadt, Germany) διαλύθηκε σε 500 ml αποιονισμένου νερού για τη δημιουργία ορού Ringer. Στη συνέχεια, τα διαλύματα αραιώθηκαν κατάλληλα και παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας εκχύλιση μέσω Stomacher για περίπου 1,5 min.



**Εικόνα 4.8 Τεχνική διαδοχικών αραιώσεων**

Χρησιμοποιήθηκε αποστειρωμένο γουδί και γουδοχέρι για την ομογενοποίηση 10 g αντιπροσωπευτικών δειγμάτων επεξεργασμένων με ωμική θέρμανση και φρέσκων κομμένων πατατών. Τα ομογενοποιημένα δείγματα στη συνέχεια αραιώθηκαν με 90 ml αποστειρωμένου απεσταγμένου νερού, ώστε να επιτευχθεί αραιώση  $10^{-1}$ . Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν δεκαπλάσιες αραιώσεις των ομογενοποιημένων δειγμάτων, μέχρι τη  $10^{-7}$ , τοποθετώντας 1 ml των αραιωμένων δειγμάτων σε στείρα τρυβλία petri και προσθέτοντας 9 ml ορού Ringer (αραιωτικό μέσο)

Σε αποστειρωμένα τρυβλία petri επιστρώθηκε ασηπτικά 1 ml από κάθε σειριακά αραιωμένο δείγμα (μία αραιώση ανά τρυβλίο), και στη συνέχεια προστέθηκαν 15-20 ml αποστειρωμένου θρεπτικού υλικού και εξασφαλίστηκε ομοιόμορφη ανάμειξη σύμφωνα με τη μέθοδο απόχυσης (Samuel et al., 2017). Παρομοίως, η ίδια διαδικασία χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό της παρουσίας ζυμομυκήτων και μούχλας. Ένα χιλιοστόλιτρο (ml) του δείγματος λήφθηκε από την προβλεπόμενη αραιώση (με βάση τις ημέρες αποθήκευσης και τον αριθμό έναρξης) και τοποθετήθηκε σε ένα τρυβλίο Petri, ακολουθούμενο από την προσθήκη των απαραίτητων θρεπτικών μέσων.

Η μέτρηση του συνολικού μικροβιακού φορτίου λήφθηκε μετά από 24-48 ώρες (περίοδος επώασης), στην αντίστοιχη θερμοκρασία επώασης ( $37 \pm 2^\circ\text{C}$ ), ενώ για τους ζυμομύκητες και τις μούχλες (YM) η θερμοκρασία επώασης ήταν  $28 \pm 2^\circ\text{C}$ . Οι μικροβιακές αποικίες μετρήθηκαν στα τρυβλία και υπολογίστηκε ο αριθμός αποικιών ανά γραμμάριο δείγματος (CFU/g) σύμφωνα με την εξίσωση (4.10)

$$\text{Μικροβιακές αποικίες (CFU / g)} = \frac{\text{αριθμός αποικιών} \times \text{παράγοντας αραιώσεως}}{\text{βάρος δείγματος (g)}} \quad (\text{Εξ 4.10})$$

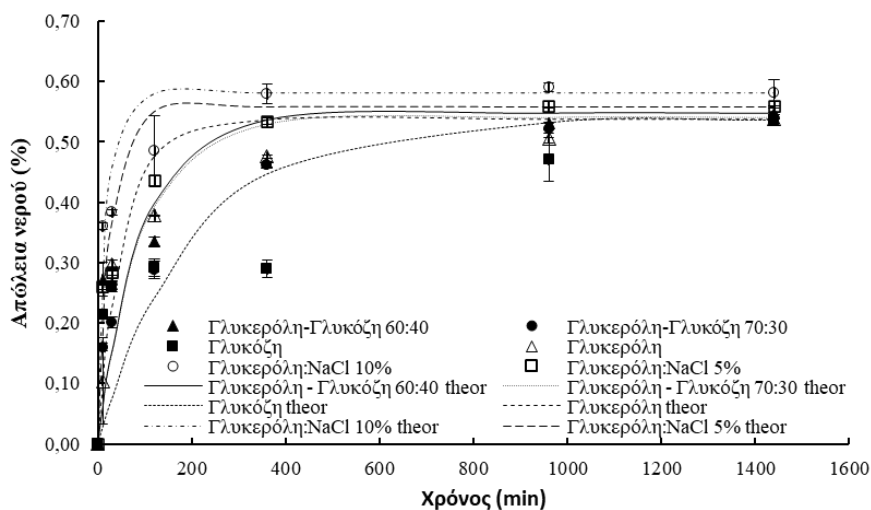


## 4.Αποτελέσματα Συζήτηση Αποτελεσμάτων

## Κεφάλαιο 5 : Αποτελέσματα – Συζήτηση αποτελεσμάτων

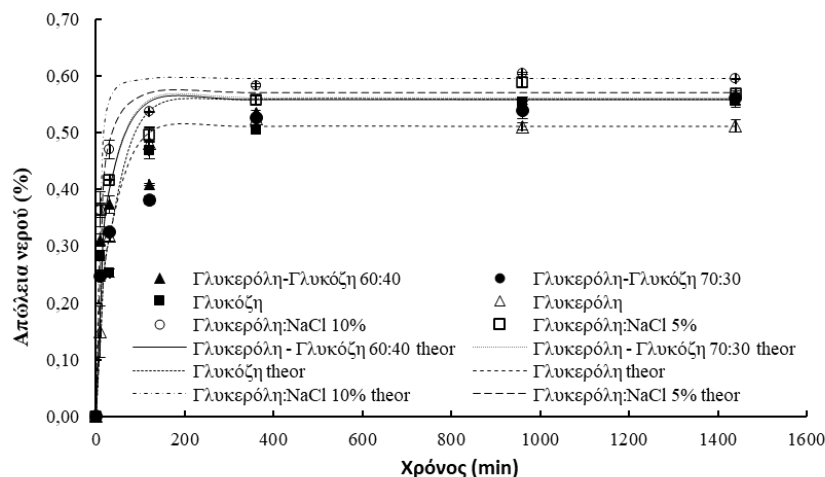
### 5.1 Ωσμωτική Αφυδάτωση

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η απώλεια νερού της πατάτας συναρτήσει του χρόνου σε θερμοκρασία 25 και 45°C για τους διαφορετικούς διαλύτες. Σε όλα τα διαγράμματα οι συνεχείς γραμμές παρουσιάζουν τις προβλεπόμενες από το πρότυπο τιμές για την απώλεια υγρασίας, ενώ τα σημεία παρουσιάζουν τα πειραματικά δεδομένα.



Σχήμα 5α. Απώλεια νερού (%) για τους διαλύτες σε θερμοκρασία 25°C και τα θεωρητικά τους μοντέλα

Σχήμα 5β. Απώλεια νερού (%) για τους διαλύτες σε θερμοκρασία 45°C και τα θεωρητικά τους μοντέλα



Από τα δεδομένα προκύπτει ότι η απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση ακολουθεί μια μη γραμμική αύξηση με το πέρασμα του χρόνου. Στην αρχή, ο ρυθμός απώλειας νερού είναι γρήγορος, καθώς υπάρχει μια σημαντική διαφορά ωσμωτικής πίεσης μεταξύ του τροφίμου και του περιβάλλοντος διαλύματος (Nowacka et al., 2021; Tylewicz et al., 2011). Αυτός ο ταχύς αρχικός ρυθμός οφείλεται στην ισχυρή δύναμη που προωθεί τη μετακίνηση νερού από το εσωτερικό του τροφίμου προς το διάλυμα.

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στα Σχ. 4<sup>α</sup> και 4<sup>β</sup> δείχνουν ότι ο συνδυασμός NaCl με γλυκερόλη έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απώλεια νερού, φτάνοντας το 55% και στις δύο θερμοκρασίες. Ομοίως, οι επεξεργασίες μόνο με γλυκερόλη ή σε συνδυασμό με γλυκόζη δείχνουν επίσης σημαντική απώλεια νερού, με ποσοστό 53%. Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το NaCl και η γλυκερόλη είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί ωσμωτικοί παράγοντες, καθώς δημιουργούν έναν ισχυρό ωσμωτικό βαθμό.

Η αύξηση της συγκέντρωσης αυτών των διαλυμάτων μπορεί να αυξήσει την ωσμωτική πίεση, διευκολύνοντας τη μετακίνηση περισσότερου νερού από τον ιστό της πατάτας προς το διάλυμα. Συγκεκριμένα, η αύξηση της συγκέντρωσης του NaCl προσφέρει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα στην απώλεια νερού. Ωστόσο, η σημαντική αύξηση της απώλειας νερού επιτυγχάνεται με την αύξηση των συγκεντρώσεων μαλτοδεξτρίνης και γλυκόζης. Για τις άλλες λύσεις, η απώλεια νερού αυξήθηκε, αλλά οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές ( $p > 0,05$ ).

Η θερμοκρασία έχει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν σημαντικά τον ρυθμό και το ποσοστό απώλειας νερού, όπως φαίνεται στο Σχ. 4<sup>β</sup>. Στους 45°C, οι τιμές της απώλειας νερού αυξάνονται γρήγορα στο 50-60% μέσα στα πρώτα 100 λεπτά. Αντίθετα, στους 25°C, χρειάζονται πάνω από 300 λεπτά για να επιτευχθούν παρόμοια επίπεδα απώλειας νερού, όπως φαίνεται στο Σχ. 1. Η επιτάχυνση της αφυδάτωσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να αποδοθεί στη μείωση του ιξώδους του διαλύματος και στην τροποποίηση της κυτταρικής μεμβράνης της πατάτας, τα οποία διευκολύνονται από την αύξηση της θερμοκρασίας (Cichowska et al., 2018; Ramya & Jain, 2017).

Η ιδανική διάρκεια για την ωσμωτική αφυδάτωση των πατατών φαίνεται να είναι περίπου 4 ώρες στους 45°C και 10 ώρες στους 25°C. Υπάρχει σημαντική διαφορά στον χρόνο επεξεργασίας όταν η θερμοκρασία αυξάνεται στους 45°C, κάνοντας την ωσμωτική αφυδάτωση πιο αποτελεσματική και ταχύτερη με αυτήν την αλλαγή. Μετά από αυτή τη χρονική περίοδο, η απώλεια νερού αρχίζει να μειώνεται, πιθανώς λόγω της διάσπασης των κυττάρων και της κατάρρευσης της δομής στον ιστό της πατάτας. Καθώς τα κύτταρα αρχίζουν να διαλύονται, η ικανότητά τους να συγκρατούν νερό μειώνεται, με αποτέλεσμα τη μείωση της αποδοτικότητας της απώλειας νερού.

Οι τιμές των κινητικών σταθερών για την ωσμωτική αφυδάτωση, όπως προβλέπεται από το μοντέλο του Panagiotou et al., 1998, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.7 Τα πειραματικά δεδομένα ταιριάζουν καλά με το θεωρητικό μοντέλο, όπως δείχνουν οι υψηλές τιμές  $R^2$  που κυμαίνονται από 84% έως 99%. Οι υψηλές τιμές  $R^2$  υποδηλώνουν ότι το μοντέλο μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια τη συμπεριφορά του συστήματος σε διαφορετικές θερμοκρασίες, καθιστώντας το ένα χρήσιμο εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των κινητικών σταθερών συμφωνούν με τα ευρήματα από τα γραφήματα. Συγκεκριμένα, τα καλύτερα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν με την ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιώντας διάλυμα γλυκερόλης στους 45°C. Υπό αυτές τις συνθήκες, η κινητική σταθερά έφτασε το 0,9, υποδεικνύοντας την ταχύτερη και πιο αποδοτική διαδικασία αφυδάτωσης σε σύγκριση με άλλες λύσεις και θερμοκρασιακές συνθήκες. Αυτή η υψηλή κινητική σταθερά δείχνει ότι ο συνδυασμός γλυκερόλης σε υψηλότερες θερμοκρασίες ενισχύει το ρυθμό μεταφοράς μάζας, κάνοντας τη διαδικασία πολύ πιο αποτελεσματική.

**Πίνακας 5.1 Τιμές των κινητικών σταθερών ωσμωτικής αφυδάτωσης**

	Γλυκερόλη-Γλυκόζη	Γλυκερόλη	Γλυκόζη	NaCl-Γλυκερόλη
$a_0$	0.024	0.013	0.025	0.061
$a_R$	0.000	0.000	0.000	0.000
$a_T$	0.000	0.000	0.000	0.539
$a_c$	2.359	2.929	0.993	0.987

**Πίνακας 5.2 Τιμές κινητικών σταθερών για την ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκερόλης : γλυκόζης όπως προβλέπεται απο το μοντέλο των Panagiotou et al.,(1998)**

Συγκέντρωση	Αναλογία	T(°C)	k	R <sup>2</sup>
60:40	1:5	25	0.011 ± 0.002	0.84
60:40	1:5	45	0.043 ± 0.005	0.89
70:30	1:5	25	0.012 ± 0.006	0.93
70:30	1:5	45	0.043 ± 0.007	0.90

**Πίνακας 5.3 Τιμές κινητικών σταθερών για την ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκερόλης όπως προβλέπεται απο το μοντέλο των Panagiotou et al.,(1998)**

Συγκέντρωση	Αναλογία	T(°C)	k	R <sup>2</sup>
70	1:5	25	0.027 ± 0.008	0.87
70	1:5	45	0.028 ± 0.006	0.90

**Πίνακας 5.4 Τιμές κινητικών σταθερών για την ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκόζης όπως προβλέπεται απο το μοντέλο των Panagiotou et al.,(1998)**

Συγκέντρωση	Αναλογία	T(°C)	k	R <sup>2</sup>
70	1:5	25	0.018 ± 0.005	0.95
70	1:5	45	0.032 ± 0.004	0.99

**Πίνακας 5.5 Τιμές κινητικών σταθερών για την ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα NaCl:Γλυκερόλης όπως προβλέπεται απο το μοντέλο των Panagiotou et al.,(1998)**

Συγκέντρωση	Αναλογία	T(°C)	k	R <sup>2</sup>
10	1:5	25	0.052 ± 0.004	0.90
10	1:5	45	0.092 ± 0.003	0.97
5	1:5	25	0.035 ± 0.005	0.92
5	1:5	45	0.063 ± 0.008	0.93

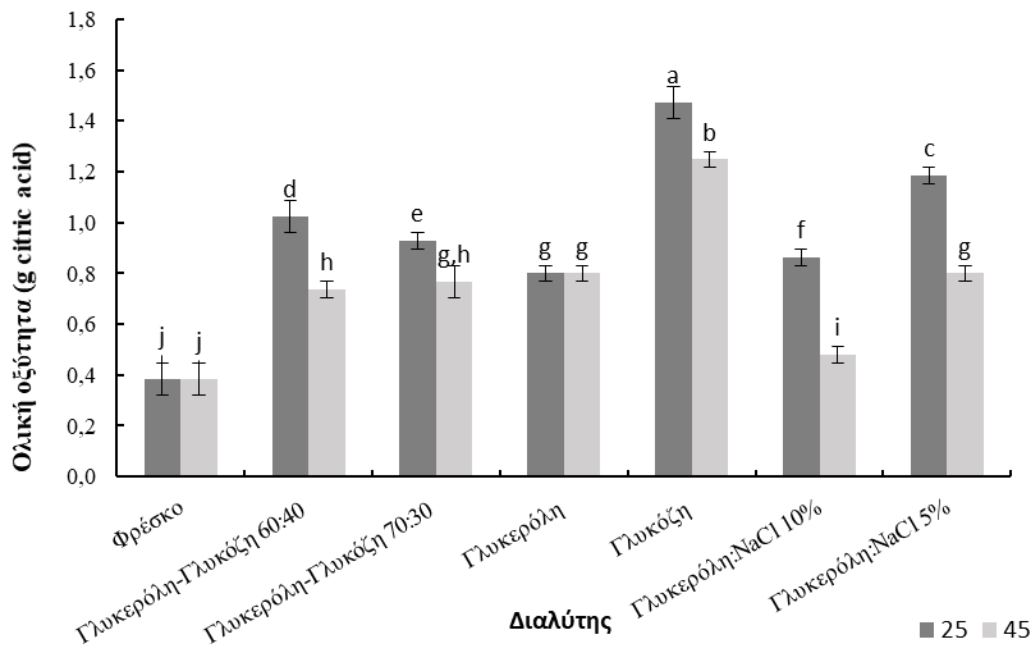
Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών , η κινητική σταθερά της απώλειας νερού επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Τα πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι η κινητική σταθερά στους 45°C είναι έως και τέσσερις φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με αυτήν στους 25°C. Αυτή η αξιοσημείωτη αύξηση μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες που συνδέονται με την υψηλότερη θερμοκρασία. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν την κινητικότητα των μορίων νερού και των διαλυτών, επιταχύνοντας έτσι τη διαδικασία διάχυσης. Επιπλέον, με την άνοδο της θερμοκρασίας, μειώνεται το ιξώδες του ωσμωτικού διαλύματος, διευκολύνοντας τη μετακίνηση του νερού από τον ιστό της πατάτας προς το διάλυμα και των διαλυτών προς τον ιστό. Αυτή η διαδικασία μπορεί να εξηγηθεί με τους νόμους διάχυσης του Fick, οι οποίοι αναφέρουν ότι ο ρυθμός διάχυσης αυξάνεται άμεσα με την άνοδο

της θερμοκρασίας (Cichowska et al., 2018). Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στη δομή των κυτταρικών μεμβρανών της πατάτας, καθιστώντας τις πιο διαπερατές και επιτρέποντας πιο αποτελεσματική μεταφορά μάζας, που οδηγεί σε μεγαλύτερη κινητική σταθερά. Η έρευνα των Rastogi et al. (2002) έδειξε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση σε υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνει το συνολικό ρυθμό αφυδάτωσης λόγω της βελτιωμένης διαπερατότητας των μεμβρανών και της μείωσης του ιξώδους του διαλύματος (Rastogi et al., 2002).

Η κινητική σταθερά στη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από τον τύπο του ωσμωτικού διαλύματος που χρησιμοποιείται ( $p > 0.05$ ). Ανεξαρτήτως της συγκέντρωσης ή του συνδυασμού των διαφορετικών ωσμωτικών παραγόντων, δεν παρατηρήθηκε σταθερή σχέση μεταξύ του τύπου του διαλύματος και της κινητικής σταθεράς. Αυτό δείχνει ότι άλλοι παράγοντες, εκτός από τη σύνθεση του ωσμωτικού διαλύματος, έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην κινητική σταθερά. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες των Παναγιώτου και συν. (1999), οι οποίες επίσης ανέφεραν ότι οι κινητικές παράμετροι στην ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζονται περισσότερο από τη θερμοκρασία και τις συνθήκες της διαδικασίας παρά από τους συγκεκριμένους ωσμωτικούς παράγοντες (Παναγιώτου et al., 1999). Αυτό τονίζει τη σημασία της βελτιστοποίησης παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και ο χρόνος για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων στην κινητική της αφυδάτωσης.

## 5.2 Αξιολόγηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης

### 5.2.1 Ολική οξύτητα



Σχ. 5 :Συνολική οξύτητα της πατάτας που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση ( OD ). Μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση με το ίδιο γράμμα υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (  $p > 0,05$  )

Οι μεταβολές στην οξύτητα είναι κρίσιμες για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζει την ποιότητα των τροφίμων. Η αυξημένη οξύτητα μπορεί να επηρεάσει πολλές παραμέτρους ενός τροφίμου, όπως η μικροβιακή σταθερότητα, η ενζυμική δραστηριότητα και οι οργανοληπτικές του ιδιότητες. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η συνολική οξύτητα των πατατών που έχουν υποβληθεί σε ωσμωτική σε θερμοκρασίες 25 και 45°C. Σύμφωνα με το διάγραμμα, η ωσμωτική προεπεξεργασία επηρέασε σημαντικά τα επίπεδα οξύτητας στις πατάτες. Οι φρέσκες πατάτες αρχικά είχαν συνολική οξύτητα 0,45%. Ωστόσο, μετά την ωσμωτική αφυδάτωση, υπήρξε σημαντική αύξηση στην οξύτητα, με τις τιμές να φτάνουν έως και 1,54% ( $p < 0,05$ ). Τα κύρια οξέα στις πατάτες, όπως το κιτρικό, μηλικό, τρυγικό, οξαλικό, φουμαρικό και ηλεκτρικό οξύ, παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της συνολικής οξύτητας (Wichrowska et al., 2009). Από τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν, η γλυκερόλη ήταν η πιο αποτελεσματική, προκαλώντας τη μεγαλύτερη αύξηση στην οξύτητα. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην ικανότητα της γλυκερόλης να ενισχύει τη μεταφορά όξινων ενώσεων μέσα στο μίγμα της πατάτας, αυξάνοντας έτσι την οξύτητα (Goula et al., 2008). Άλλα διαλύματα, όπως η γλυκόζη, προκάλεσαν επίσης αύξηση στην οξύτητα, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με τη γλυκερόλη (Espitia et al., 2014)

Το βέλτιστο διάλυμα, ένας συνδυασμός NaCl και ηλυκερόλης, αύξησε τη συνολική οξύτητα στο 0,83%. Αυτό το επίπεδο βρίσκεται εντός του αποδεκτού εύρους 0,39 έως 1,1%, διασφαλίζοντας όλα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου, όπως η γεύση και το χρώμα, καθώς και η συνολική ποιότητα, παραμένουν σε μεγάλο βαθμό ανεπηρέαστα από την αύξηση της συνολικής οξύτητας. Ο συνδυασμός NaCl και γλυκερόλης πιθανότατα παρέχει μια ισοροπημένη ωσμωτική πίεση που διευκολύνει τη μεταφορά οξέων, διατηρώντας παράλληλα τη δομική ακεραιότητα και τις

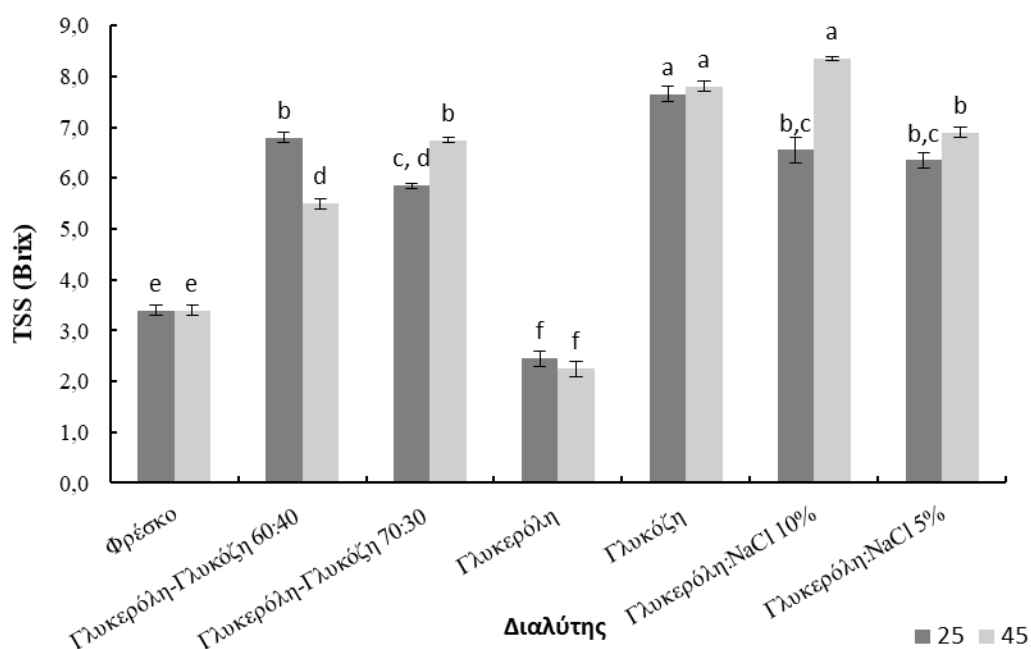
οργανοληπτικές ποιότητες των πατατών. Συνολικά, η αύξηση της συνολικής οξύτητας που παρατηρήθηκε με τη γλυκερόλη και τον συνδυασμό NaCl-γλυκερόλης υποδηλώνει δυνατότητες για βελτιωμένη συντήρηση και προφίλ γεύσης χωρίς να επηρεάζεται δυσμενώς η συνολική αποδοχή του προϊόντος.

Πίνακας 5.6 Τιμές της Οξύτητας της πατάτας που υποβλήθηκε σε ωσμωτική αφυδάτωση

Δείγμα	Τ (°C)	Οξύτητα		V <sub>δείγμα</sub>	Οξύτητα(%)	Οξύτητα	MO	sdv
		ml NaOH	C NaOH					
Φρέσκο	25	0.7	0.1	10	0.00448	0.448	0.3840	0.064
Φρέσκο	25	0.5	0.1	50	0.0032	0.32		
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 60:40	25	1.7	0.1	50	0.01088	1.088	1.0240	0.064
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 60:40	25	1.5	0.1	50	0.0096	0.96		
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 70:30	25	1.5	0.1	50	0.0096	0.96	0.9280	0.032
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 70:30	25	1.4	0.1	50	0.00896	0.896		
Γλυκερόλη	25	1.3	0.1	50	0.00832	0.832	0.8000	0.032
Γλυκερόλη	25	1.2	0.1	50	0.00768	0.768		
Γλυκόζη	25	2.4	0.1	50	0.01536	1.536	1.4720	0.064
Γλυκόζη	25	2.2	0.1	50	0.01408	1.408		
Γλυκερόλη-NaCl 10%	25	1.4	0.1	50	0.00896	0.896	0.8640	0.032
Γλυκερόλη-NaCl 10%	25	1.3	0.1	50	0.00832	0.832		
Γλυκερόλη-NaCl 5%	25	1.8	0.1	50	0.01152	1.152	1.1840	0.032
Γλυκερόλη-NaCl 5%	25	1.9	0.1	50	0.01216	1.216		
		ml NaOH	C NaOH	V <sub>δείγμα</sub>	Οξύτητα(%)	Οξύτητα	MO	sdv
Φρέσκο	45	1.2	0.1	50	0.00768	0.768	0.7360	0.032
Φρέσκο	45	1.1	0.1	50	0.00704	0.704		
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 60:40	45	1.1	0.1	50	0.00704	0.704	0.7680	0.064
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 60:40	45	1.3	0.1	50	0.00832	0.832		
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 70:30	45	1.3	0.1	50	0.00832	0.832	0.8000	0.032
Γλυκερόλη- Γλυκόζη 70:30	45	1.2	0.1	50	0.00768	0.768		
Γλυκερόλη	45	2	0.1	50	0.0128	1.28	1.2480	0.032
Γλυκερόλη	45	1.9	0.1	50	0.01216	1.216		
Γλυκόζη	45	0.7	0.1	50	0.00448	0.448	0.4800	0.032
Γλυκόζη	45	0.8	0.1	50	0.00512	0.512		

Γλυκερόλη-NaCl 10%	45	1.3	0.1	50	0.00832	0.832	0.8000	0.032
Γλυκερόλη-NaCl 10%	45	1.2	0.1	50	0.00768	0.768		
Γλυκερόλη-NaCl 5%	45	1.2	0.1	50	0.00768	0.768	0.7360	0.032
Γλυκερόλη-NaCl 5%	45	1.1	0.1	50	0.00704	0.704		

### 5.2.2 Ολικά διαλυτά στερεά (TSS)



**Σχ. 6:** TSS των πατατών που υποβλήθηκαν σε ωσμωτική αφυδάτωση. Ο μέσος όρος  $\pm$  Τυπική απόκλιση με το ίδιο γράμμα υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ( $p > 0,05$ )

Το TSS ( Συνολικά διαλυμένα Στερεά ) αποτελεί σημαντικό δείκτη για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της αφυδάτωσης μέσω όσμωσης, καθώς δείχνει πόσα στερεά έχουν ενσωματωθεί στη δομή του τροφίμου. Οι υψηλές τιμές TSS υποδεικνύουν ότι η αφυδάτωση ήταν επιτυχής, καθώς έγινε αποτελεσματική μεταφορά μάζας από το διάλυμα όσμωσης στους ιστούς της πατάτας. Στο Σχ.4 φαίνονται τα TSS των πατατών που αφυδατώθηκαν με όσμωση στους 25 και 45°C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι υψηλότερες τιμές TSS παρατηρήθηκαν όταν χρησιμοποιήθηκε διάλυμα γλυκερόλης – NaCl 10% στους 45°C και καθαρή γλυκερόλη και στις δύο θερμοκρασίες. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες, που έδειξαν ότι η γλυκερόλη και το NaCl είναι πολύ αποδοτικοί παράγοντες όσμωσης, διότι βοηθούν στη πρόσληψη σημαντικών ποσοτήτων διαλυτών (Mokhtar et al., 2019; Pantelidou et al., 2021)

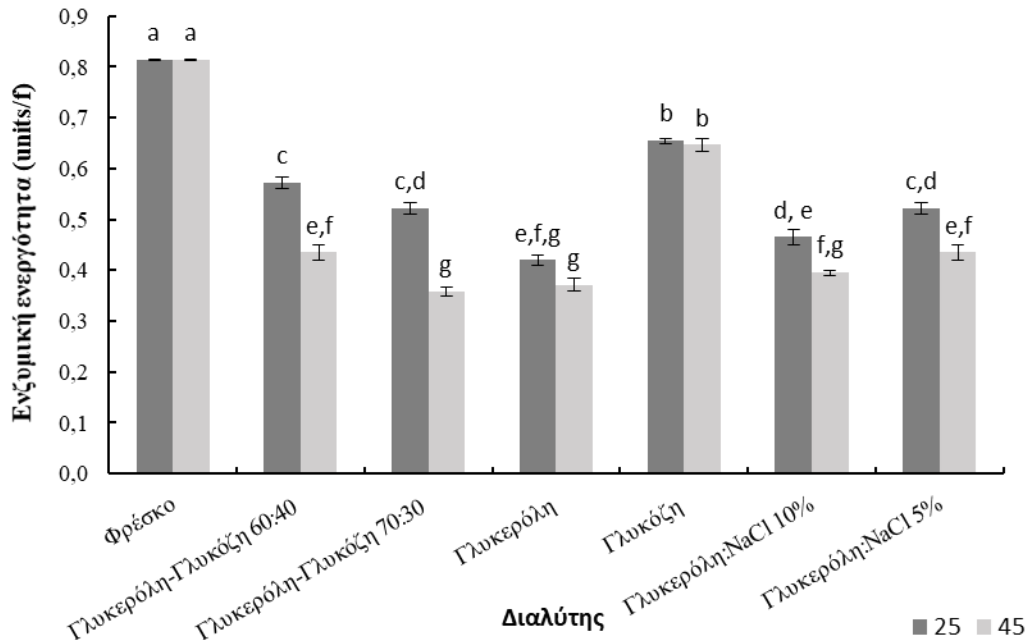
Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές TSS παρατηρήθηκαν όταν χρησιμοποιήθηκε γλυκόζη ως παράγοντας όσμωσης, υποδεικνύοντας χαμηλότερη αποτελεσματικότητα. Η χαμηλή απόδοση της γλυκόζης μπορεί

να οφείλεται στο μικρότερο μοριακό βάρος και την χαμηλότερη ωσμωτική πίεση σε σχέση με τη γλυκερόλη και το NaCl, που οδηγούν σε λιγότερο αποδοτική μεταφορά μάζας (Wang & Feng, 2023; Zongu et al., 2023). Αυτά τα ευρήματα δείχνουν ότι η σωστή επιλογή των παραγόντων όσμωσης είναι σημαντική για τη βελτιστοποίηση της αφυδάτωσης και την επίτευξη αυξημένων επιπέδων TSS.

**Πίνακας 5.7 Τιμές των ολικών διαλυτών στερεών της πατάτας που υποβλήθηκε σε ωσμωτική αφυδάτωση**

Δείγμα	T(°C)	TSS		
Φρέσκο	25	3.3	3.4	0.1
Φρέσκο	25	3.5		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	25	6.9	6.8	0.1
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	25	6.7		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	25	5.8	5.85	0.05
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	25	5.9		
Γλυκερόλη	25	2.6	2.45	0.15
Γλυκερόλη	25	2.3		
Γλυκόζη	25	7.8	7.65	0.15
Γλυκόζη	25	7.5		
Γλυκερόλη-NaCl 10%	25	6.3	6.55	0.25
Γλυκερόλη-NaCl 10%	25	6.8		
Γλυκερόλη-NaCl 5%	25	6.5	6.35	0.15
Γλυκερόλη-NaCl 5%	25	6.2		
	T(°C)	TSS		
Φρέσκο	45	5.6	5.5	0.1
Φρέσκο	45	5.4		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	45	6.8	6.75	0.05
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	45	6.7		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	45	2.4	2.25	0.15
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	45	2.1		
Γλυκερόλη	45	7.9	7.8	0.1
Γλυκερόλη	45	7.7		
Γλυκόζη	45	8.4	8.35	0.05
Γλυκόζη	45	8.3		
Γλυκερόλη-NaCl 10%	45	6.8	6.9	0.1
Γλυκερόλη-NaCl 10%	45	7		
Γλυκερόλη-NaCl 5%	45	5.6	5.5	0.1

## 5.2.3 Ενζυμική ενεργότητα (PPO)



**Σχ. 7:** Ενζυμική δραστηριότητα πατάτας μετά απο ωσμωτική αφυδάτωση. Ο μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση με το ίδιο γράμμα υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ( $p > 0,05$ )

Στο σχήμα φαίνεται η ενζυμική δραστηριότητα των πατατών που έχουν υποστεί όσμωση αφυδάτωσης στους 25 και 45°C. Σύμφωνα με αυτό το διάγραμμα, η διαδικασία όσμωσης επηρεάζει έντονα την ενζυμική δραστηριότητα των πατατών, ειδικά της δραστηριότητα της PPO. Η PPO είναι ένα ένζυμο που ευθύνεται για τις αντιδράσεις μαυρίσματος στις πατάτες, και η δραστηριότητά της είναι καθοριστική για την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής του επεξεργασμένου προϊόντος. Όλα τα διαλύματα όσμωσης που χρησιμοποιήθηκαν οδήγησαν στη μείωση των επιπέδων PPO, με τους συνδυασμούς γλυκερόλης:γλυκόζης και γλυκερόλης να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ενίσχυσε ακόμη περισσότερο τη μείωση της δραστηριότητας της PPO. Η υψηλότερη θερμοκρασία επιταχύνει τη διαδικασία όσμωσης και προκαλεί την αποδόμηση των ενζύμων, μειώνοντας αισθητά τη δραστηριότητα της PPO. Οι επεξεργασίες στους 45°C οδήγησαν σε μείωση σχεδόν 50 % της PPO σε σύγκριση με τις φρέσκες πατάτες χωρίς επεξεργασία (Mokhtar et al., 2019). Τα αποτελέσματά μας συνάδουν με προηγούμενες έρευνες όπως αυτή του Rastogi et al. (2002), που έδειξε ότι η ώσμωση αφυδάτωσης με διαλύματα σακχαρόζης και γλυκόζης στα αχλάδια μείωσε τη δραστηριότητα της PPO και βελτίωσε τη ποιότητα του προϊόντος. Άλλες μελέτες έχουν επίσης επιβεβαιώσει τα ίδια αποτελέσματα σε πατάτες (Pantelidou et al., 2021, Zhang et al., 2018) και γλυκοπατάτες (Lagnika et al., 2018)

Τα βέλτιστα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν με την όσμωση αφυδάτωσης χρησιμοποιώντας γλυκερόλη-γλυκόζη 70:30, γλυκόζη και γλυκερόλη-NaCl 10% στους 45°C. Η αποτελεσματικότητα αυτών των διαλυμάτων οφείλεται στην ικανότητά τους να διεισδύουν στη δομή της πατάτας και να αλλάζουν την

ωσμωτική ισορροπία, προκαλώντας την αποδόμηση των ενζύμων όπως η ΡΡΟ. Αυτή η πίεση που δημιουργείται από την όσμωση στα κύτταρα της πατάτας οδηγεί σε σημαντική μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας, συμβάλλοντας στη βελτίωση της διατήρησης και της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

Πίνακας 5.7 Τιμές δραστηριότητας του ενζύμου ΡΡΟ της πατάτας που υποβλήθηκε σε ωσμωτική αφυδάτωση

Δείγμα	T(°C)	ΡΡΟ		
Φρέσκο	25	0.814	0.815	0.0011246
Φρέσκο	25	0.816		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	25	0.58	0.572	0.0116667
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	25	0.56		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	25	0.53	0.522	0.0116667
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	25	0.51		
Γλυκερόλη	25	0.43	0.420	0.01
Γλυκερόλη	25	0.41		
Γλυκόζη	25	0.65	0.655	0.005
Γλυκόζη	25	0.66		
Γλυκερόλη:NaCl 10%	25	0.48	0.465	0.015
Γλυκερόλη:NaCl 10%	25	0.45		
Γλυκερόλη:NaCl 5%	25	0.53	0.522	0.0116667
Γλυκερόλη:NaCl 5%	25	0.51		
Δείγμα	T(°C)	ΡΡΟ		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	45	0.45	0.435	0.015
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	45	0.42		
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	45	0.37	0.358	0.0083
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	45	0.35		
Γλυκερόλη	45	0.38	0.372	0.0117
Γλυκερόλη	45	0.36		
Γλυκόζη	45	0.63	0.647	0.0133
Γλυκόζη	45	0.66		
Γλυκερόλη:NaCl 10%	45	0.40	0.395	0.005
Γλυκερόλη:NaCl 10%	45	0.39		
Γλυκερόλη:NaCl 5%	45	0.45	0.435	0.015
Γλυκερόλη:NaCl 5%	45	0.42		

#### 5.2.4 Μεταβολή χρώματος

Η αλλαγή στο χρώμα αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για τον καταναλωτή. Στην περίπτωση της πατάτας, το χρώμα είναι ένας από τους βασικούς δείκτες ποιότητας. Τα δείγματα πατάτας που προέκυψαν από τις συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης με τα καλύτερα αποτελέσματα, αξιολογήθηκαν ως προς την αλλαγή του χρωματός. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη μεταβολή του χρώματος.

**Πίνακας 5.8 Μεταβολή του χρώματος της πατάτας ανάλογα με το διαλύτη και τη θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης**

Δείγμα	T (°C)	Μέτρηση Χρώματος					
		L	L(stdv)	a	a(stdv)	b	b(stdv)
Φρέσκο	25	35.7	2.09	-0.05	0.04	8.75	0.31
Φρέσκο	25						
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	25	41.93	0.68	0.34	0.36	12.49	0.97
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	25						
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	25	41.55	2.32	0.24	0.26	13.19	0.79
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	25						
Γλυκερόλη	25	38.41	1.75	0.25	0.13	10.41	0.94
Γλυκερόλη	25						
Γλυκόζη	25	43.42	1.71	0.01	0.25	12.11	1.29
Γλυκόζη	25						
Γλυκερόλη-NaCl 10%	25	39.8	2.17	0.04	0.22	11.49	1.21
Γλυκερόλη-NaCl 10%	25						
Γλυκερόλη-NaCl 5%	25	40.07	2.55	0.29	0.44	11.57	3.81
Γλυκερόλη-NaCl 5%	25						
Δείγμα	T (°C)	Μέτρηση Χρώματος					
		L	L(stdv)	a	a(stdv)	b	b(stdv)
Φρέσκο	45	43.17	1.43	-0.07	0.25	12.48	0.44
Φρέσκο	45						
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	45	41.52	1.33	-0.2	0.51	11.75	0.34
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 60:40	45						
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	45	40.92	1.57	-0.17	0.25	10.94	1.18
Γλυκερόλη-Γλυκόζη 70:30	45						
Γλυκερόλη	45	41.09	2.37	0.59	0.38	12.32	0.57
Γλυκερόλη	45						

Γλυκόζη	45	42.14	0.24	-0.04	0.27	12.64	0.92
Γλυκόζη	45						
Γλυκερόλη-NaCl 10%	45	40.82	2.45	-0.06	0.33	11.3	0.87
Γλυκερόλη-NaCl 10%	45						
Γλυκερόλη-NaCl 5%	45	43.17	1.43	-0.07	0.25	12.48	0.44
Γλυκερόλη-NaCl 5%	45						

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το χρώμα των πατατών δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης, ούτε τις διαφορετικές ωσμωτικές λύσεις που χρησιμοποιήθηκαν ( $p > 0.05$ ). Κατά την οπτική και εργαλειική ανάλυση του χρώματος, διαπιστώθηκε ότι οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωσμωτική αφυδάτωση διατήρησαν τα αρχικά τους χαρακτηριστικά του χρώματός τους, με ελάχιστες διαφορές σε σύγκριση με τα φρέσκα, μη επεξεργασμένα δείγματα. Οι διάφορες λύσεις που δοκιμάστηκαν, όπως η γλυκερόλη, η γλυκόζη και το NaCl, δεν προκάλεσαν σημαντικές αλλαγές στο χρώμα ( $p > 0,05$ ), διατηρώντας την οπτική ποιότητα των πατατών. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη διατήρηση των αισθητικών χαρακτηριστικών των πατατών, εξασφαλίζοντας ότι το χρώμα τους παραμένει σταθερό και ανεπηρέαστο από τους χρησιμοποιούμενους ωσμωτικούς παράγοντες ( Mokhart et al., 2019 ).

Παρότι οι κύριες παράμετροι του χρώματος παρέμειναν σταθερές, παρατηρήθηκε μια ελαφρά επίδραση στη φωτεινότητα ( $L^*$ ) των δειγμάτων πατάτας. Οι αλλαγές στη φωτεινότητα ήταν μικρές και όχι στατιστικά σημαντικές ( $p > 0,05$ ), υποδηλώνοντας ότι η οπτική διαφορά είναι αμελητέα. Ενδιαφέρον έχει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης οδήγησε σε υψηλότερα επίπεδα φωτεινότητας στα δείγματα πατάτας ( Hawa et al., 2020 ). Αυτό υποδεικνύει ότι ενώ η ωσμωτική αφυδάτωση διατηρεί την ακεραιότητα του χρώματος, οι ρυθμίσεις στη θερμοκρασία μπορούν να αξιοποιηθούν στρατηγικά για να ενισχύσουν τη φωτεινότητα, βελτιώνοντας την οπτική ελκυστικότητα των πατατών. Αυτή η σταθερότητα στο χρώμα και η ελεγχόμενη ενίσχυση της φωτεινότητας είναι κρίσιμη για την αποδοχή από τους καταναλωτές και την εμπορευσιμότητα, αναδεικνύοντας την ωσμωτική αφυδάτωση ως αξιόπιστη τεχνική για τη διατήρηση και πιθανή βελτίωση της οπτικής ποιότητας των φρέσκων κομμένων πατατών.

Ο συνδυασμός του NaCl και της γλυκερόλης σε θερμοκρασία 45°C φαίνεται να αποτελεί την ιδανική επιλογή για την ωσμωτική αφυδάτωση των πατατών. Αυτή η συνθήκη πέτυχε τη μεγαλύτερη απώλεια νερού, αύξηση της συνολικής διαλυτής ύλης και σημαντική μείωση της δραστηριότητας της πολυφαινολοξειδάσης, μειώνοντας έτσι το ενζυμικό καφέτιασμα και διατηρώντας το χρώμα των πατατών. Τα ευρήματα αυτά τονίζουν την αποτελεσματικότητα αυτού του συνδυασμού και θερμοκρασίας, καθιστώντας τον την ιδανική επιλογή για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της αφυδάτωσης και τη διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων πατάτας. Ως εκ τούτου, αυτές οι συνθήκες θα εφαρμοστούν στην επόμενη φάση ανάλυσης διάρκειας ζωής.

### 5.3 Ωμική Θέρμανση

#### 5.3.1 Βελτιστοποίηση ωμικής θέρμανσης

Τα προκαταρκτικά πειράματα για τη βελτιστοποίηση της ωμικής θέρμανσης περιλαμβάνουν τη δοκιμή διάφορων συνθηκών έντασης ρεύματος και χρόνου και την παρακολούθηση της θερμοκρασίας ανόδου. Οι συνθήκες που δοκιμάστηκαν στον ωμικό θερμαντήρα, καθώς και η θερμοκρασία ανόδου, αναφέρονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 5.9

Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/cm <sup>3</sup> )	Χρόνος (min)	T(°C)
15	5	30
15	7	40
15	10	42
20	5	45
20	7	58
20	10	66
25	5	60
25	7	62
25	10	94

#### 5.3.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των βέλτιστων δειγμάτων πατάτας με ωμική θέρμανση

Οι πατάτες που προέκυψαν από την επεξεργασία με την ωμική θερμοκρασία, μελετήθηκαν σε βάθος 8 ημερών όσον αφορά τη μεταβολή του χρώματος και του βάρους, ενώ παρατηρήθηκαν και οπτικά. Τα αποτελέσματα που αφορούν τη μεταβολή του χρώματος και του βάρους παρουσιάζονται παρακάτω

Πίνακας 5.10 Μεταβολή χρώματος των δειγμάτων πατάτας επεξεργασμένες με ωμική θέρμανση στις μελετώμενες συνθήκες σε βάθος 8 ημερών

Τάση ( Volt )	Χρόνος ( min)	Μέρα	L	a	b
15	5	0	25.87 ± 2.09	3.51 ± 0.18	10.72 ± 1.25
		8	20.11 ± 3.87	4.16 ± 0.62	7.725 ± 1.82
15	7	0	27.60 ± 1.63	3.61 ± 0.10	10.91 ± 0.37
		8	23.45 ± 5.145	4.54 ± 0.39	9.52 ± 2.09
15	10	0	25.32 ± 0.46	3.58 ± 0.16	9.84 ± 0.17
		8	26.63 ± 1.27	4.38 ± 0.42	10.92 ± 0.81
20	5	0	26.92 ± 2.07	3.81 ± 0.20	10.79 ± 1.33
		8	24.38 ± 4.32	4.21 ± 0.54	9.38 ± 2.07
20	7	0	27.39 ± 5.21	3.90 ± 0.13	10.82 ± 2.56
		8	32.01 ± 3.04	5.19 ± 0.22	12.55 ± 1.39
20	10	0	26.60 ± 4.85	3.16 ± 0.43	10.06 ± 2.41
		8	21.12 ± 1.46	4.51 ± 0.29	7.82 ± 0.27

25	5	0	26.64 ± 1.36	3.69 ± 0.14	9.97 ± 0.76
		8	27.88 ± 1.24	4.16 ± 0.23	10.63 ± 0.31
25	7	0	27.39 ± 0.43	3.64 ± 0.09	10.36 ± 0.43
		8	31.17 ± 1.435	4.44 ± 1.14	11.35 ± 0.77
25	10	0	20.73 ± 0.43	2.41 ± 0.10	6.88 ± 0.32
		8	25.27 ± 0.69	3.08 ± 0.22	8.64 ± 0.18

Ο Πίνακας 5.10 παρουσιάζει τις παραμέτρους αλλαγής χρώματος ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) των πατατών που θερμάνθηκαν με ωμική θέρμανση, σε διάφορους συνδυασμούς έντασης ηλεκτρικού πεδίου (V/cm) και χρόνου θέρμανσης (λεπτά). Η τιμή  $L^*$  υποδεικνύει τη φωτεινότητα, η τιμή  $a^*$  αναφέρεται στο φάσμα κόκκινου-πράσινου, και η τιμή  $b^*$  στο φάσμα κίτρινου-μπλε. Σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου 15 V/cm, καθώς ο χρόνος θέρμανσης αυξάνεται από 5 σε 10 λεπτά, η τιμή  $L^*$  παρουσιάζει ελαφρές διακυμάνσεις, υποδεικνύοντας μικρές αλλαγές στη φωτεινότητα. Οι τιμές  $a^*$  παραμένουν σχετικά σταθερές, υποδηλώνοντας ελάχιστες αλλαγές στο φάσμα κόκκινου-πράσινου, ενώ οι τιμές  $b^*$  μειώνονται ελαφρώς με την πάροδο του χρόνου, υποδεικνύοντας μια μικρή μείωση στην κιτρινότητα.

Σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου 20 V/cm, η τιμή  $L^*$  παραμένει αρκετά σταθερή, με μια μικρή μείωση που παρατηρείται στα 10 λεπτά. Οι τιμές  $a^*$  παρουσιάζουν ελαφρές μεταβολές, με μια μικρή μείωση στα 10 λεπτά, και οι τιμές  $b^*$  παραμένουν σχετικά σταθερές, υποδεικνύοντας συνεχή κιτρινότητα σε διάφορους χρόνους θέρμανσης. Ωστόσο, σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου 25 V/cm, παρατηρείται σημαντική μείωση στην τιμή  $L^*$  στα 10 λεπτά, υποδεικνύοντας μια αξιοσημείωτη σκουρόχρωση των πατατών. Η τιμή  $a^*$  μειώνεται σημαντικά στα 10 λεπτά, υποδεικνύοντας μείωση της ερυθρότητας, ενώ η τιμή  $b^*$  παρουσιάζει επίσης σημαντική μείωση, υποδεικνύοντας μια σημαντική μείωση στην κιτρινότητα. Αυτά τα αποτελέσματα τονίζουν ότι οι υψηλότερες εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου, ειδικά με μεγαλύτερους χρόνους θέρμανσης, οδηγούν σε σημαντική μείωση της φωτεινότητας των πατατών. Αυτό υποδηλώνει ότι οι πατάτες σκουραίνουν περισσότερο σε υψηλότερες τάσεις και μεγαλύτερους χρόνους θέρμανσης. Οι τιμές  $a^*$  και  $b^*$  υποδεικνύουν μικρές αλλαγές στο φάσμα κόκκινου-πράσινου και μείωση της κιτρινότητας, αντίστοιχα, υπό αυτές τις συνθήκες.

Πρόσφατες μελέτες έχουν αναδείξει παρόμοια ευρήματα σχετικά με τις αλλαγές χρώματος στις πατάτες που θερμάνθηκαν με ωμική θέρμανση. Για παράδειγμα, οι Gratz et al. (2021) παρατήρησαν ότι υψηλότερες εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου και μεγαλύτεροι χρόνοι θέρμανσης οδήγησαν σε καλύτερη ομοιομορφία θέρμανσης και σημαντικές αλλαγές στις παραμέτρους χρώματος των δειγμάτων πατάτας, με μείωση των τιμών  $L^*$  που υποδεικνύουν σκουρόχρωση (Gratz et al., 2021). Επιπλέον, οι Makroo et al. (2020) σημείωσαν ότι η χρήση υψηλότερων συχνοτήτων κατά την ωμική θέρμανση οδήγησε σε πιο ομοιόμορφη θέρμανση και σταθερότητα χρώματος στις επεξεργασμένες πατάτες (Makroo et al., 2020). Επιπροσθέτως, οι Icier et al. (2017) διαπίστωσαν ότι η ωμική θέρμανση προκάλεσε σημαντικές αλλαγές χρώματος σε αποψυγμένα κομμάτια πατάτας, με μείωση των τιμών  $L^*$  που υποδηλώνουν σκουρόχρωση, σε συμφωνία με τα ευρήματά μας (Icier et al., 2017).

Αυτά τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη σημασία της εξέτασης των αλλαγών χρώματος κατά την βελτιστοποίηση των συνθηκών ωμικής θέρμανσης για τη μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας. Ενώ η ωμική θέρμανση είναι αποτελεσματική στη μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας, επηρεάζει επίσης το χρώμα των πατατών, πιθανώς λόγω αντιδράσεων Maillard και άλλων διαδικασιών καφετιάσματος. Η

εξισορρόπηση της μείωσης της ενζυμικής δραστηριότητας με τη διατήρηση επιθυμητών χαρακτηριστικών χρώματος είναι απαραίτητη για τη συνολική ποιότητα του προϊόντος.

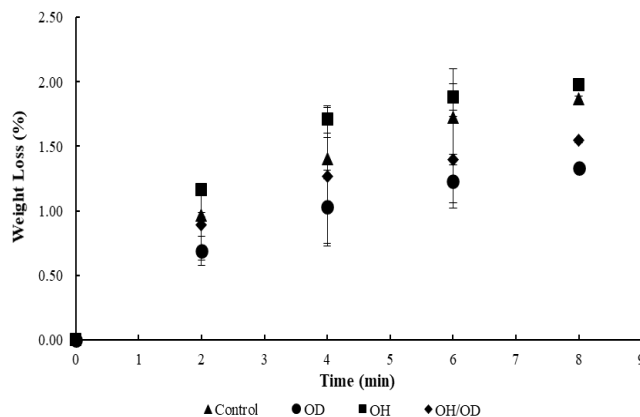
Βάσει της βελτιστοποίησης των συνθηκών ωμικής θέρμανσης για τη μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας (PPO) σε φρεσκοκομμένες πατάτες, χρησιμοποιώντας RSM και ανάλυση χρώματος, διαπιστώθηκε ότι μια ένταση ηλεκτρικού πεδίου 20 V/cm για 7 λεπτά παρείχε τις βέλτιστες συνθήκες. Αυτές οι παράμετροι μείωσαν αποτελεσματικά τη δραστηριότητα του PPO, διατηρώντας παράλληλα επιθυμητά χαρακτηριστικά χρώματος. Συνεπώς, τα δείγματα που επεξεργάστηκαν υπό αυτές τις βέλτιστες συνθήκες επιλέχθηκαν για περαιτέρω χαρακτηρισμό κατά την αποθήκευση, για να αξιολογηθεί η ποιότητα και η σταθερότητά τους με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η επιλογή εξασφαλίζει ότι οι επεξεργασμένες πατάτες παρουσιάζουν μειωμένο ενζυμικό καφέτιασμα και διατηρούν τις αισθητηριακές και θρεπτικές τους ιδιότητες κατά τη διάρκεια εκτεταμένων περιόδων αποθήκευσης.

#### 5.4 Ποιοτικός χαρακτηρισμός τελικών προϊόντων

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μελέτη της διάρκειας ζωής ποικίλων δειγμάτων πατάτας. Συγκεκριμένα, συγκρίθηκαν φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με ωσμωτική αφυδάτωση, με ωμική θέρμανση και με συνδυασμό ωσμωτικής αφυδάτωσης και ωμικής θέρμανσης. Τα δείγματα μελετήθηκαν ως προς την απώλεια βάρους, τη μεταβολή χρώματος, την υφή και το ενζυμικό μαύρισμα σε διάστημα 8 ημερών, ενώ μελετήθηκαν και τα μικροβιολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

##### Απώλεια βάρους

Η απώλεια βάρους των δειγμάτων πατάτας παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί



**Σχ 8.** Απώλεια βάρους των δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με OD, πατάτες επεξεργασμένες με OH και πατάτες επεξεργασμένες με OD/OH υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών.



Στο σχήμα 8, παρουσιάζεται η απώλεια βάρους των φρέσκων και επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών. Βάσει αυτού του σχήματος, τα δείγματα πατάτας παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στην απώλεια βάρους ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας. Η ωμική θέρμανση προκάλεσε τη μεγαλύτερη απώλεια βάρους, η οποία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά

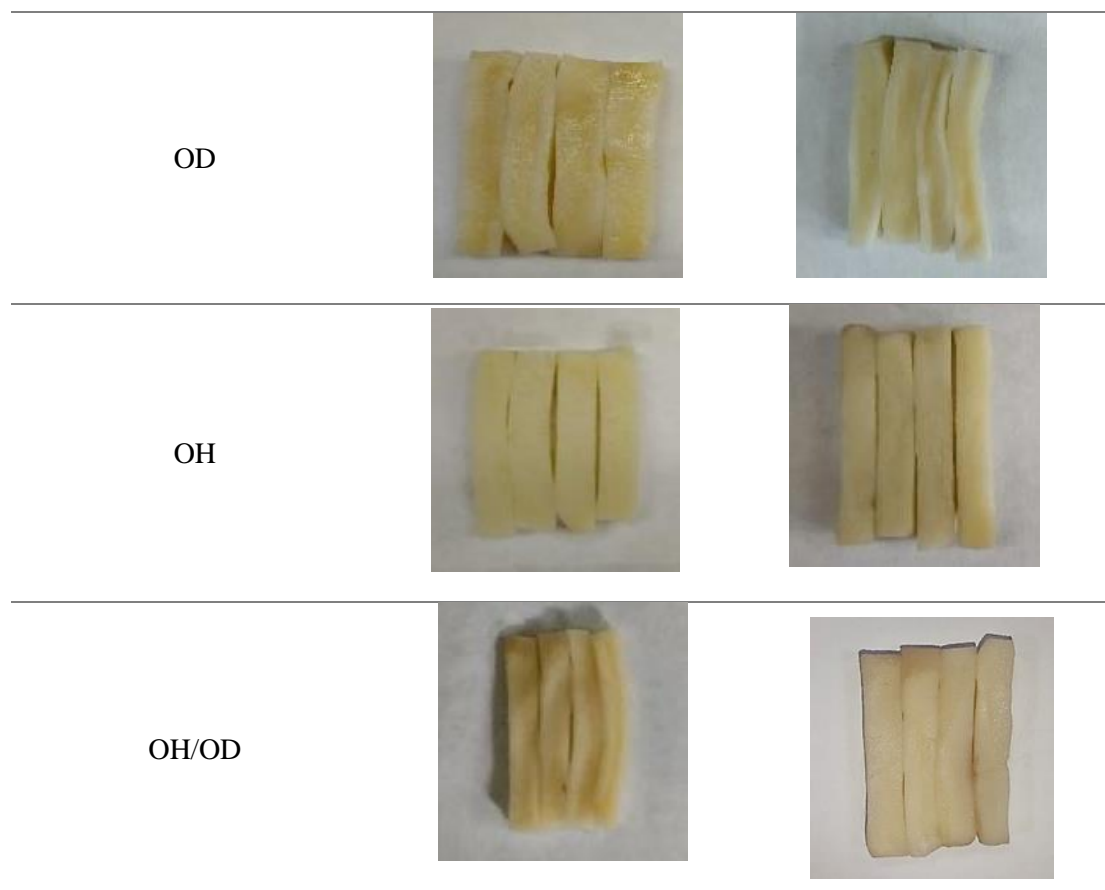
την υφή και τη συνολική ποιότητα του προϊόντος. Τα φρέσκα δείγματα ακολούθησαν με σημαντική απώλεια βάρους, ενώ ο συνδυασμός ωμικής θέρμανσης και ωσμωτικής αφυδάτωσης έδειξε μέτρια αποτελέσματα όσον αφορά την απώλεια βάρους. Αντίθετα, οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωσμωτική αφυδάτωση παρουσίασαν τη μικρότερη μείωση βάρους, καθιστώντας αυτή τη μέθοδο την πιο αποτελεσματική στη διατήρηση της υγρασίας και της συνολικής ποιότητας. Η μειωμένη απώλεια βάρους που παρατηρήθηκε με την ωσμωτική αφυδάτωση υποδεικνύει την ικανότητά της να διατηρεί καλύτερα την υφή και τη φρεσκάδα του προϊόντος, συμβάλλοντας επίσης στην πρόληψη της ανάπτυξης μικροβίων. Αυτά τα ευρήματα είναι συνεπή με τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν από τον Kutlu (2022), ο οποίος διαπίστωσε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση διατηρούσε αποτελεσματικά την υγρασία στα δείγματα κυδωνιού (Kutlu, 2022). Αυτά τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση είναι ανώτερη στη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας και της ποιότητας των φρεσκοκομμένων πατατών, υπογραμμίζοντας το δυναμικό της ως αποτελεσματική μέθοδος προεπεξεργασίας για την επέκταση της διάρκειας ζωής και τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος.

### 5.5 Ενζυμική δραστηριότητα (PPO) και αλλαγή χρώματος

Η οπτική επιθεώρηση των δειγμάτων πατάτας που αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο για 8 ημέρες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, αποκάλυψε σημαντικά ευρήματα. Τα φρέσκα δείγματα και οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία OD/OH παρουσίασαν σημαντική αλλοίωση. Συγκεκριμένα, οι πατάτες που επεξεργάστηκαν με OD/OH εμφάνισαν έντονη καφέτιασμα, καθιστώντας τις οπτικά απαράδεκτες. Τα φρέσκα δείγματα επίσης εμφάνισαν έντονο καφέτιασμα, κυρίως λόγω της αυξημένης ενζυμικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης. Αντίθετα, οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωσμωτική αφυδάτωση διατήρησαν το χρώμα και την εμφάνισή τους χωρίς σημαντικά σημάδια καφέτιασματος ή άλλης αισθητικής υποβάθμισης. Αυτό υποδεικνύει ότι η ωσμωτική αφυδάτωση διατηρεί αποτελεσματικά την οπτική ποιότητα των δειγμάτων πατάτας κατά την αποθήκευση.

**Πίνακας 5.11 Οπτική παρατήρηση των δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με OD, πατάτες επεξεργασμένες με OH και πατάτες επεξεργασμένες με OD/OH υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών.**

	Day 0	Day 8
Control		



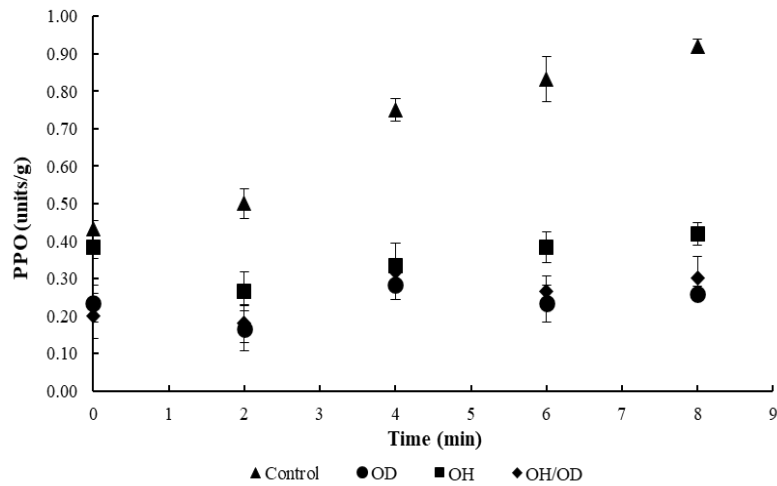
Η ανάλυση της αλλαγής χρώματος των δειγμάτων πατάτας κατά τη διάρκεια της 8ήμερης περιόδου αποθήκευσης (Πίνακας 4) παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των διαφορετικών επεξεργασιών. Η τιμή  $L^*$ , που υποδεικνύει τη φωτεινότητα, μειώθηκε σημαντικά στις φρέσκες πατάτες και σε αυτές που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με OD/OH, αντικατοπτρίζοντας το σκοτεινίσιμα τους με την πάροδο του χρόνου. Η τιμή  $a^*$ , που υποδηλώνει την ερυθρότητα, αυξήθηκε στα φρέσκα δείγματα, υποδηλώνοντας ενζυμικό καφετίσιμα. Ομοίως, η τιμή  $b^*$ , που δείχνει την κίτρινη απόχρωση, μειώθηκε στις πατάτες που επεξεργάστηκαν με OD/OH, επιβεβαιώνοντας την οπτική παρατήρηση του καφετίσιματος. Στην περίπτωση της ωσμωτικής αφυδάτωσης, οι πατάτες που επεξεργάστηκαν με OD παρουσίασαν σχετικά σταθερή τιμή  $L^*$ , ενώ οι τιμές  $a^*$  και  $b^*$  εμφάνισαν ελάχιστες μεταβολές. Αυτή η σταθερότητα στις παραμέτρους χρώματος υποδηλώνει ότι η ωσμωτική αφυδάτωση είναι αποτελεσματική στη διατήρηση της ακεραιότητας του χρώματος των δειγμάτων πατάτας. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με τη μελέτη του Kutlu, 2022, η οποία διαπίστωσε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση διατήρησε την ποιότητα των επεξεργασμένων δειγμάτων κυδωνιού, διατηρώντας τη σταθερότητα του χρώματός τους (Kutlu, 2022).

**Πίνακας 5.12 Αλλαγή χρώματος των δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με OD, πατάτες επεξεργασμένες με OH και πατάτες επεξεργασμένες με OD/OH υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών.**

	Ημέρες	$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>Control</b>	0	$34.76 \pm 1.59^a$	$1.55 \pm 0.43^a$	$12.08 \pm 1.02^a$

	2	27.42 ± 6.94 <sup>a</sup>	1.82 ± 0.68 <sup>a</sup>	10.06 ± 3.72 <sup>a</sup>
	4	31.78 ± 1.56 <sup>a</sup>	2.38 ± 0.29 <sup>a</sup>	12.40 ± 0.89 <sup>a</sup>
	6	30.45 ± 1.38 <sup>a</sup>	2.41 ± 0.21 <sup>a</sup>	11.64 ± 0.44 <sup>a</sup>
	8	31.02 ± 1.02 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.14 <sup>a</sup>	12.03 ± 0.24 <sup>a</sup>
<b>OD</b>	0	32.06 ± 0.75 <sup>a,b</sup>	1.90 ± 0.14 <sup>a</sup>	11.98 ± 0.47 <sup>a,b</sup>
	2	36.83 ± 0.30 <sup>a</sup>	1.11 ± 0.08 <sup>b</sup>	10.82 ± 0.12 <sup>a,b</sup>
	4	31.07 ± 1.13 <sup>b</sup>	1.01 ± 0.19 <sup>b</sup>	16.89 ± 0.36 <sup>a</sup>
	6	28.31 ± 3.83 <sup>b</sup>	0.85 ± 0.29 <sup>b</sup>	9.30 ± 2.26 <sup>b</sup>
	8	30.25 ± 1.56 <sup>b</sup>	1.06 ± 0.21 <sup>b</sup>	12.32 ± 0.58 <sup>a</sup>
<b>OH</b>	0	28.93 ± 1.23 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.16 <sup>a</sup>	10.77 ± 0.67 <sup>a</sup>
	2	29.56 ± 1.75 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.11 <sup>a</sup>	11.37 ± 1.02 <sup>a</sup>
	4	31.29 ± 1.46 <sup>a</sup>	1.63 ± 0.09 <sup>a</sup>	11.46 ± 0.64 <sup>a</sup>
	6	31.13 ± 2.77 <sup>a</sup>	1.79 ± 0.23 <sup>a</sup>	11.68 ± 1.33 <sup>a</sup>
	8	30.45 ± 1.85 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.12 <sup>a</sup>	11.56 ± 1.02 <sup>a</sup>
<b>OH/OD</b>	0	32.84 ± 1.17 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.15 <sup>a</sup>	12.62 ± 0.79 <sup>a</sup>
	2	31.20 ± 1.69 <sup>a</sup>	1.25 ± 0.38 <sup>a</sup>	11.41 ± 0.69 <sup>a</sup>
	4	26.31 ± 4.99 <sup>a</sup>	1.70 ± 0.89 <sup>a</sup>	9.12 ± 3.04 <sup>a</sup>
	6	26.69 ± 7.02 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.49 <sup>a</sup>	8.33 ± 2.52 <sup>a</sup>
	8	28.24 ± 2.03 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.21 <sup>a</sup>	10.23 ± 2.01 <sup>a</sup>

Στο Σχ. 9, παρουσιάζεται η ενζυμική δραστηριότητα των φρέσκων και επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών. Βάσει των αποτελεσμάτων, η ενζυμική δραστηριότητα έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεξεργασμένων δειγμάτων ( $p < 0.05$ ). Τα φρέσκα δείγματα παρουσίασαν σημαντική αύξηση της δραστηριότητας PPO κατά τη διάρκεια της 8ήμερης περιόδου, επιβεβαιώνοντας τις οπτικές παρατηρήσεις της αυξημένης ενζυμικής καφέτιασης. Οι πατάτες που επεξεργάστηκαν με OD/OH, παρά το έντονο καφέτιασμα που εμφάνισαν, είχαν χαμηλή δραστηριότητα PPO, υποδεικνύοντας ότι ο συνδυασμός επεξεργασιών μειώνει αποτελεσματικά την ενζυμική καφέτιαση μέσω της σημαντικής μείωσης της δραστηριότητας του PPO. Ωστόσο, το αυξημένο καφέτιασμα που παρατηρήθηκε πιθανόν να οφείλεται σε αντιδράσεις Maillard. Τα δείγματα που υποβλήθηκαν μόνο σε ωσμωτική αφυδάτωση εμφάνισαν σημαντική μείωση της δραστηριότητας PPO, υποδηλώνοντας μειωμένη ενζυμική καφέτιαση. Παρομοίως, τα δείγματα που υποβλήθηκαν σε ωμική θέρμανση έδειξαν καλά αποτελέσματα με μειωμένη δραστηριότητα PPO, αν και εμφάνισαν ελαφρώς περισσότερο καφέτιασμα σε σύγκριση με την ωσμωτική αφυδάτωση. Η αποτελεσματικότητα της ωμικής θέρμανσης στη μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας υποστηρίζεται επίσης από μελέτες όπως αυτή του Makroo et al. (2020), η οποία έδειξε σημαντική απενεργοποίηση του PPO σε χυμό καρπουζιού που υποβλήθηκε σε ωμική θέρμανση (Makroo et al., 2020).

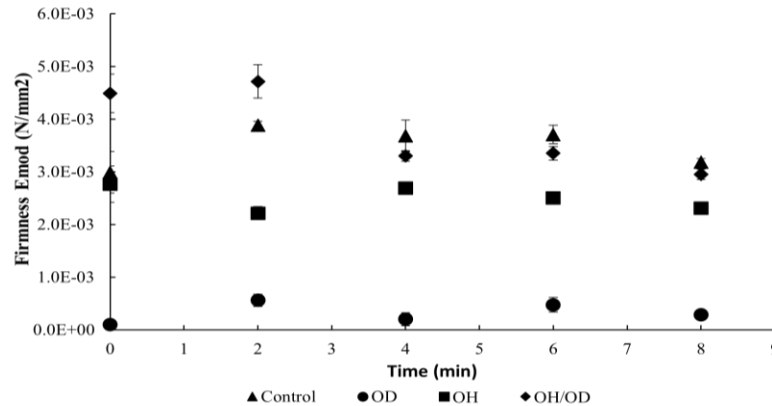


**Σχ 9. Ενζυμική δραστηριότητα των δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με OD, πατάτες επεξεργασμένες με OH και πατάτες επεξεργασμένες με OD/OH υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών.**

Συνοπτικά, η ωσμωτική αφυδάτωση αποδείχθηκε η πιο αποτελεσματική μέθοδος για τη διατήρηση του χρώματος και της εμφάνισης των πατατών χωρίς σημαντικά σημάδια καφέτιασματος ή άλλης αισθητικής υποβάθμισης, μειώνοντας επίσης σημαντικά την ενζυμική δραστηριότητα. Η ωμική θέρμανση έδειξε επίσης αποτελεσματικότητα στη μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας, αλλά οδήγησε σε ελαφρώς μεγαλύτερο καφέτιασμα σε σύγκριση με την ωσμωτική αφυδάτωση μόνη της. Τα φρέσκα δείγματα και οι πατάτες που επεξεργάστηκαν με OD/OH παρουσίασαν σημαντική αλλοίωση και αυξημένη ενζυμική δραστηριότητα, με τις πατάτες που επεξεργάστηκαν με OD/OH να παρουσιάζουν έντονο καφέτιασμα λόγω αντιδράσεων Maillard. Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία της βελτιστοποίησης των μεθόδων επεξεργασίας για την ισορροπία της μείωσης της ενζυμικής δραστηριότητας με τη διατήρηση της οπτικής και θρεπτικής ποιότητας των δειγμάτων πατάτας.

## 5.6 Σκληρότητα

Σχ 10. Μόνοιμοι ελαστικότητας των δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με OD,



πατάτες επεξεργασμένες με OH και πατάτες επεξεργασμένες με OD/OH υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών.

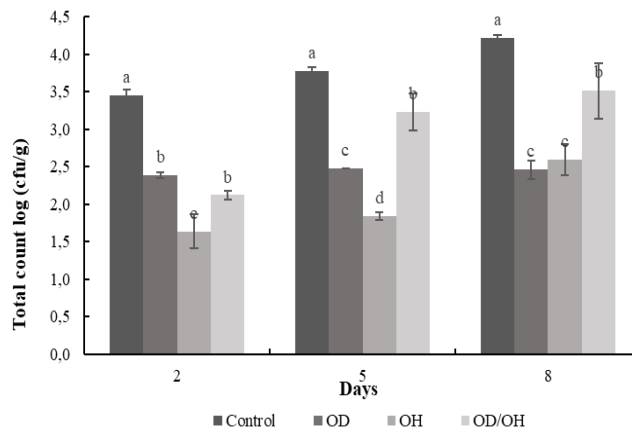
Η ανάλυση σκληρότητας των δειγμάτων πατάτας υπό διάφορες επεξεργασίες, όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 10, αποκαλύπτει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των διαφορετικών μεθόδων συντήρησης στις υφιστάμενες ιδιότητες των πατατών. Τα φρέσκα δείγματα παρουσίασαν τιμές σκληρότητας παρόμοιες με αυτές των πατατών που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία OD/OH, υποδεικνύοντας ότι η συνδυασμένη αυτή διαδικασία βοηθά στη διατήρηση της σκληρότητας των πατατών. Αυτό το εύρημα υποδηλώνει ότι η ενσωμάτωσή της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης μπορεί να διατηρήσει αποτελεσματικά την δομική ακεραιότητα των ιστών της πατάτας, κάνοντάς τους συγκρίσιμους με τα φρέσκα δείγματα όσον αφορά τη σκληρότητα. Παρόλο που οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωμική θέρμανση παρουσίασαν ελαφρώς χαμηλότερες τιμές σκληρότητας σε σύγκριση με τα φρέσκα δείγματα και τις πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD/OH, οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές ( $p > 0.05$ ). Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί με τα ευρήματα των Gratz et al. (2021), οι οποίοι ανέφεραν ότι η επεξεργασία με ωμική θέρμανση διατηρεί αποτελεσματικά τη δομική ακεραιότητα των πατατών, διατηρώντας τις υφιστάμενες ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των φρέσκων δειγμάτων (Gratz et al., 2021). Παρόμοια συμπεράσματα αντλήθηκαν από τον Kutlu (2022), ο οποίος διαπίστωσε ελάχιστες διαφορές στη σκληρότητα των κυδωνιών που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με OH σε σύγκριση με άλλες μεθόδους συντήρησης, υπογραμμίζοντας την ικανότητα της επεξεργασίας με ωμική θέρμανση να διατηρεί αποτελεσματικά τη σκληρότητα (Kutlu, 2022). Αντίθετα, η ωσμωτική αφυδάτωση οδήγησε στις χαμηλότερες τιμές του μέτρου ελαστικότητας, υποδεικνύοντας ότι οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD είναι σημαντικά πιο μαλακές. Αυτό το αποτέλεσμα συμφωνεί με την έρευνα που διεξήγαγαν οι Goula et al., 2017, οι οποίοι σημείωσαν σημαντική μείωση της σκληρότητας στις πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι, ενώ η ωσμωτική αφυδάτωση είναι αποτελεσματική σε άλλες πτυχές της συντήρησης, οδηγεί σε αξιοσημείωτη μαλάκυνση του ιστού της πατάτας, επηρεάζοντας αρνητικά τη συνολική υφή (Goula et al., 2017).

Τα δεδομένα δείχνουν σαφώς την αποτελεσματικότητα των συνδυασμένων επεξεργασιών ωσμωτικής αφυδάτωσης και ωμικής θέρμανσης στη διατήρηση της σκληρότητας των πατατών, με την ωμική θέρμανση να παρέχει ελαφρώς καλύτερη διατήρηση της σκληρότητας σε σύγκριση με την ωσμωτική αφυδάτωση μόνη της. Ωστόσο, η σημαντική μαλάκυνση που παρατηρήθηκε στα δείγματα που

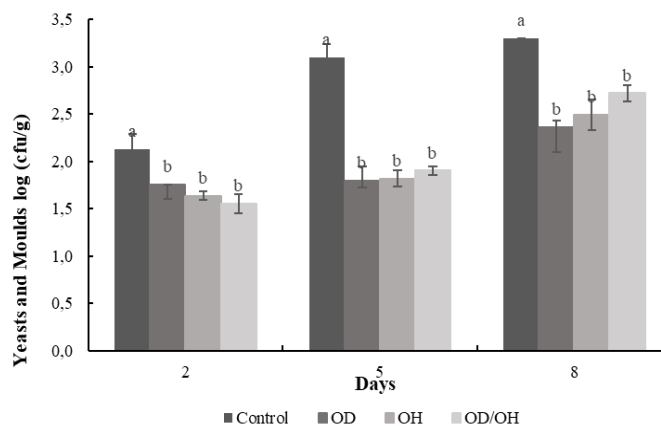
υποβλήθηκαν σε OD υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω βελτιστοποίηση αυτής της μεθόδου για τη βελτίωση των υφιστάμενων αποτελεσμάτων. Συνολικά, ο συνδυασμός των επεξεργασιών ωσμωτικής αφυδάτωσης και ωμικής θέρμανσης δείχνει προοπτικές στη διατήρηση της σκληρότητας των πατατών, γεγονός που είναι κρίσιμο για τη διατήρηση της ποιότητάς τους και την αποδοχή από τους καταναλωτές κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και επεξεργασίας.

### 5.7 Μικροβιακή Ανάλυση

Η μικροβιολογική ανάλυση, συμπεριλαμβανομένου του συνολικού αριθμού μικροβίων και ζυμών και μούχλας, των δειγμάτων πατάτας παρουσιάζεται στο Σχ. 11 και 12, αντίστοιχα.



Σχ 11. Συνολικός αριθμός μικροβίων των δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με OD, πατάτες επεξεργασμένες με OH και πατάτες επεξεργασμένες με OD/OH υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών. Μέσος όρος ± τυπική απόκλιση με το ίδιο γράμμα υποδηλώνει μη σημαντική διαφορά ( $p > 0.05$ ).



Σχ 12. Ζύμες και μύκητες των δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες επεξεργασμένες με OD, πατάτες επεξεργασμένες με OH και πατάτες επεξεργασμένες με OD/OH υπό βέλτιστες συνθήκες σε διάστημα 8 ημερών. Μέσος όρος ± τυπική απόκλιση με το ίδιο γράμμα υποδηλώνει μη σημαντική διαφορά ( $p > 0.05$ ).

Η μικροβιολογική ανάλυση παρείχε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια ζωής και το μικροβιακό φορτίο των δειγμάτων. Όλα τα δείγματα παρέμειναν εντός του επιτρεπόμενου μικροβιακού ορίου των 5. Ωστόσο, οι φρέσκες πατάτες παρουσίασαν μια μέτρηση 4.5 μετά από 8 ημέρες, καταγράφοντας τον υψηλότερο συνολικό αριθμό. Αντίθετα, οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία OD είχαν μέτρηση 2.5 μετά από 8 ημέρες, δείχνοντας την αποτελεσματικότητα της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη μείωση της μικροβιακής ανάπτυξης και την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωμική θέρμανση (OH) έδειξαν επίσης υποσχόμενα αποτελέσματα με χαμηλά μικροβιακά φορτία, ενώ οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD/OH παρουσίασαν μέτρια αποτελέσματα.

Οι φρέσκες πατάτες παρουσίασαν το υψηλότερο συνολικό φορτίο από την ημέρα 2 έως την ημέρα 8, υποδεικνύοντας ότι είναι πιο επιρρεπείς στην μικροβιακή ανάπτυξη. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωσμωτική αφυδάτωση είχαν τον δεύτερο υψηλότερο αριθμό την ημέρα 2 αλλά τον χαμηλότερο την ημέρα 8, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη μείωση της μικροβιακής ανάπτυξης. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωμική θέρμανση και οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD/OH ξεκίνησαν με τους χαμηλότερους αριθμούς την ημέρα 2 αλλά παρουσίασαν υψηλότερους αριθμούς σε σύγκριση με τις πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD την ημέρα 8. Παρά ταύτα, διατηρούσαν χαμηλότερα μικροβιακά επίπεδα από τις φρέσκες πατάτες, δείχνοντας κάποιο έλεγχο της μικροβιακής ανάπτυξης. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με αυτά που ανέφεραν οι Makroo et al. (2020), οι οποίοι βρήκαν ότι η επεξεργασία με ωμική θέρμανση απενεργοποιεί αποτελεσματικά τα μικροοργανισμούς που προκαλούν αλλοίωση λόγω τόσο θερμικών όσο και μη θερμικών επιδράσεων (Makroo et al., 2020).

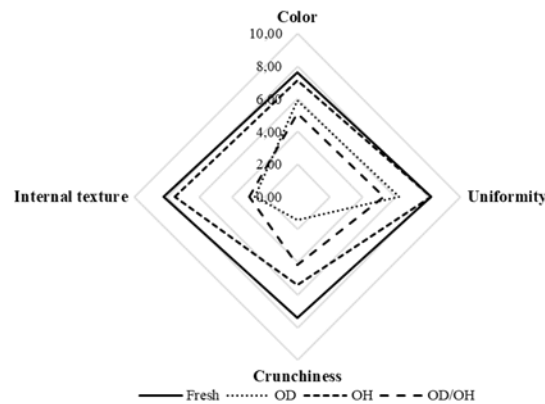
Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στην ανάλυση ζυμών και μούχλας. Τα φρέσκα δείγματα είχαν μέτρηση 3.5 log CFU/g μετά από 8 ημέρες, ενώ οι επεξεργασμένες πατάτες παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές καθ' όλη τη διάρκεια των 8 ημερών. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωσμωτική αφυδάτωση είχαν τον δεύτερο υψηλότερο αριθμό την ημέρα 2 αλλά τον χαμηλότερο την ημέρα 8, υποδεικνύοντας μείωση της ανάπτυξης ζυμών και μούχλας με την πάροδο του χρόνου. Αντίθετα, οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD/OH ξεκίνησαν με χαμηλούς αριθμούς αλλά αυξήθηκαν στη δεύτερη υψηλότερη τιμή την ημέρα 8. Αυτή η τάση υποδηλώνει ότι, ενώ η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει αποτελεσματικά την ανάπτυξη ζυμών και μούχλας αρχικά, η συνδυασμένη επεξεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης και ωμικής θέρμανσης μπορεί να παρέχει μέτριο έλεγχο σε εκτενή χρονική περίοδο.

Αυτό το εύρημα υποστηρίζεται από τη μελέτη των Su et al. (2021), οι οποίοι ανέφεραν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει σημαντικά τους μικροβιακούς αριθμούς και βελτιώνει την συνολική ποιότητα των πατατών τηγανιστών με μικροκύματα-κενό (Su et al., 2021b). Επίσης, οι Gratz et al. (2021) διαπίστωσαν ότι η επεξεργασία με ωμική θέρμανση βοηθά στη διατήρηση χαμηλότερων μικροβιακών επιπέδων σε σύγκριση με τα φρέσκα δείγματα, κάτι που είναι σύμφωνο με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (Gratz et al., 2021). Τ tanto η ωμική θέρμανση όσο και ο συνδυασμός των επεξεργασιών ωσμωτικής αφυδάτωσης και ωμικής θέρμανσης λειτουργούν καλά, με την ωμική θέρμανση να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Οι Müller et al. (2020) εξέτασαν την επίδραση διαφορετικών μεταβλητών της διαδικασίας στην απονέκρωση μικροβίων μέσω ωμικής θέρμανσης και τόνισαν τα πλεονεκτήματά της σε σχέση με την κλασική θέρμανση, που περιλαμβάνει συντομότερους χρόνους θέρμανσης και πιο ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας (Müller et al., 2020). Η παρούσα μελέτη υποστηρίζει αυτά τα

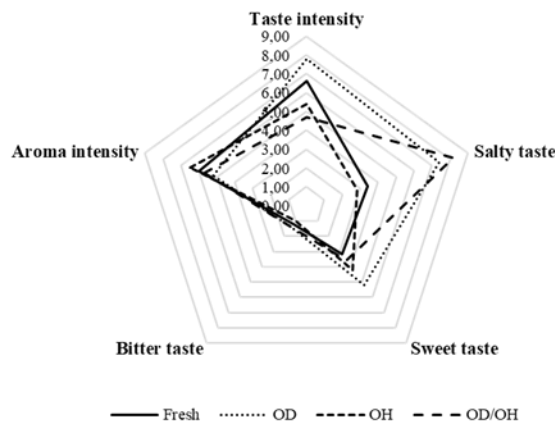
ευρήματα, δείχνοντας ότι οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με OH διατηρούν χαμηλότερα μικροβιακά επίπεδα σε σύγκριση με τις φρέσκες πατάτες (Petrushin et al., 2024).

### 5.8 Αισθητική Αξιολόγηση

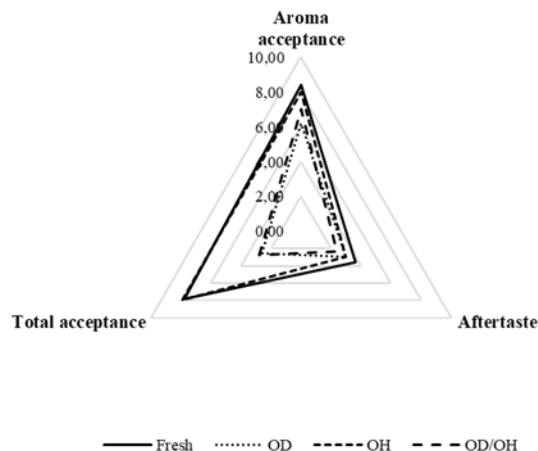
Η αισθητική αξιολόγηση των φρέσκων και επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας παρουσιάζεται στα Σχ. 13-15. Βάσει της αισθητικής αξιολόγησης των φρέσκων και επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας, η μελέτη παρέχει ολοκληρωμένες πληροφορίες σχετικά με την υφή, τη γεύση, το άρωμα και τη γενική αποδοχή των διάφορων επεξεργασιών.



Σχ 13. Υφή και οπτική παρατήρηση δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OD, πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OH και πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OD/OH.



Σχ 14. Γεύση και άρωμα δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OD, πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OH και πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OD/OH.



**Σχ 15. Αποδοχή αρώματος, γεύση μετά και συνολική αποδοχή δειγμάτων πατάτας: φρέσκες πατάτες, πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OD, πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OH και πατάτες που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία OD/OH.**

Στο Σχ. 13, η υφή και η οπτική παρατήρηση των φρέσκων και επεξεργασμένων δειγμάτων πατάτας παρουσιάζονται. Οι φρέσκες πατάτες διατήρησαν τη φυσική τους σκληρότητα και οπτική ελκυστικότητα, αποτελώντας σημείο αναφοράς για σύγκριση. Η ωσμωτική αφυδάτωση είχε ως αποτέλεσμα μια αξιοσημείωτη αλλαγή στην υφή ( $p < 0.05$ ), κάνοντάς τις ελαφρώς πιο ελαστικές ενώ διατηρούσαν μια ελκυστική οπτική εμφάνιση. Παρόμοια, οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία OD/OH είχαν την ίδια υφή με τις OD-επεξεργασμένες πατάτες, αλλά η εμφάνισή τους ήταν ελαφρώς χειρότερη από τα άλλα δείγματα. Η ωμική θέρμανση παρήγαγε πατάτες με υφή που γενικά έγινε δεκτή λόγω της τρυφερότητάς της και της οπτικής της ελκυστικότητας. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με τη μελέτη του Kutlu (2022), η οποία βρήκε ότι η επεξεργασία με ωμική θέρμανση διατηρεί την δομική ακεραιότητα και την οπτική ποιότητα των δειγμάτων κυδωνιών (Kutlu, 2022).

Όσον αφορά τη γεύση και το άρωμα (Σχ. 14), οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία OD παρουσίασαν έντονη γεύση με προστιθέμενη γλυκύτητα και σημαντική αύξηση της αλμυρότητας ( $p < 0.05$ ) λόγω της ωσμωτικής διαδικασίας, κάτι που δεν ήταν ευνοϊκό. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε ωμική θέρμανση είχαν μια διακριτική γεύση, επηρεασμένη από τη διαδικασία θέρμανσης, η οποία έγινε καλά δεκτή και θεωρήθηκε η πιο αποδεκτή, κοντά στη φυσική γεύση των φρέσκων δειγμάτων. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία OD/OH προσέφεραν μια ισορροπημένη γεύση, συνδυάζοντας τη γλυκύτητα από την ωσμωτική αφυδάτωση και το μοναδικό προφίλ γεύσης από την ωμική θέρμανση, αλλά η υπερβολική αλμυρότητα ήταν ένα σημαντικό μειονέκτημα. Οι αξιολογήσεις του αρώματος ακολούθησαν μια παρόμοια τάση, με όλα τα δείγματα να παρουσιάζουν ένα ισορροπημένο αρωματικό προφίλ. Αυτές οι παρατηρήσεις υποστηρίζονται από τους Gratz et al. (2021), οι οποίοι ανέφεραν ότι η επεξεργασία με ωμική θέρμανση ενισχύει τη γεύση και το άρωμα των προϊόντων πατάτας λόγω της βελτιωμένης ομοιομορφίας θέρμανσης (Gratz et al., 2021).

Η συνολική αποδοχή (Σχ. 15), συμπεριλαμβανομένων της αποδοχής του αρώματος και της γεύσης μετά, ήταν σημαντικά υψηλότερη ( $p < 0.05$ ) για τις πατάτες που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με OH, οι οποίες έγιναν δεκτές ως οι πιο κοντά στις φρέσκες πατάτες. Παρατηρήθηκαν για την τρυφερότητα και τη μοναδική γεύση τους, που μοιάζουν πολύ με τα φρέσκα δείγματα, κάνοντάς τις την πιο ευνοϊκή επεξεργασία. Οι συμμετέχοντες εκτίμησαν τα συνδυασμένα οφέλη των δύο επεξεργασιών στις πατάτες

που υποβλήθηκαν σε OD/OH, με αποτέλεσμα ένα προϊόν που ήταν τόσο γευστικό όσο και οπτικά ελκυστικό, αλλά η υπερβολική αλμυρότητα εμπόδισε την αποδοχή του. Ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης έδειξε προοπτικές, αλλά ήταν λιγότερο ευνοϊκός λόγω της αλμυρότητας. Οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD επαινέθηκαν για την ενισχυμένη γλυκύτητά τους και τη διατηρημένη δομή τους, αλλά η υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι ήταν ένας σημαντικός αρνητικός παράγοντας. Αυτό συμφωνεί με τα ευρήματα των Pantelidou et al. (2021), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση ενσωματώνει αποτελεσματικά λειτουργικά συστατικά στις πατάτες ενώ διατηρεί την αισθητική ποιότητα (Pantelidou et al., 2021).

Αυτή η αισθητική αξιολόγηση αναδεικνύει τη δυνατότητα της ωμικής θέρμανσης να ενισχύσει τα αισθητικά χαρακτηριστικά των προϊόντων πατάτας, κάνοντάς τα πιο ελκυστικά για τους καταναλωτές και κοντά στις ποιότητες των φρέσκων πατατών. Ενώ ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης έδειξε προοπτικές, απαιτούνται προσαρμογές στη διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για τη μείωση της περιεκτικότητας σε αλάτι και τη βελτίωση της συνολικής αποδοχής.

## 5. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Ενέργειες

## Συμπέρασμα

Αυτή η μελέτη αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βελτίωση της ποιότητας και της διατήρησης των πατατών. Ο συνδυασμός NaCl και γλυκερόλης αποδείχθηκε ότι είναι οι πιο αποτελεσματικοί ωσμωτικοί παράγοντες, επιτυγχάνοντας τη μεγαλύτερη απώλεια νερού και αύξηση του TSS, υποδεικνύοντας επιτυχή μεταφορά μάζας. Η θερμοκρασία ήταν καθοριστικός παράγοντας, με υψηλότερες θερμοκρασίες να ενισχύουν σημαντικά την απώλεια νερού, το TSS και να μειώνουν τη δραστηριότητα PPO, που είναι κρίσιμη για την πρόληψη της ενζυματικής καφένωσης. Η διαδικασία διατήρησε το χρώμα των πατατών και αύξησε ελαφρώς τη φωτεινότητα, ενισχύοντας την οπτική τους ελκυστικότητα. Ενώ ο τύπος του ωσμωτικού διαλύματος είχε ελάχιστη επίδραση στην κινητική σταθερά της απώλειας νερού, τα ευρήματα τονίζουν τη σημασία της βελτιστοποίησης της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του διαλύματος για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της αφυδάτωσης και της ποιότητας. Αυτά τα αποτελέσματα υποστηρίζουν τη χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βιομηχανία τροφίμων για τη βελτίωση της διάρκειας ζωής, των αισθητικών ιδιοτήτων και της συνολικής αποδοχής των αποξηραμένων προϊόντων πατάτας.

Βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τόσο η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου όσο και ο χρόνος θέρμανσης επηρεάζουν σημαντικά τη μείωση της ενζυματικής δραστηριότητας στις φρέσκες κομμένες πατάτες κατά τη διάρκεια της ωμικής θέρμανσης. Υψηλότερες εντάσεις του ηλεκτρικού πεδίου και μεγαλύτεροι χρόνοι θέρμανσης αποδείχθηκαν πιο αποτελεσματικοί στη μείωση της δραστηριότητας PPO, με τις βέλτιστες συνθήκες να παρατηρούνται σε 25 V/cm και 10 λεπτά. Ωστόσο, αυτές οι συνθήκες οδήγησαν επίσης σε αξιοσημείωτες αλλαγές χρώματος, περιλαμβάνοντας μείωση της φωτεινότητας και της κίτρινης απόχρωσης, και μείωση της ερυθρότητας, υποδεικνύοντας ότι ενώ η ωμική θέρμανση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ενεργοποίηση των ενζύμων, απαιτείται προσεκτική εξέταση των παραμέτρων επεξεργασίας για την εξασφάλιση της συνολικής ποιότητας του προϊόντος.

Η επεξεργασία των φρέσκων κομμένων πατατών με ωσμωτική αφυδάτωση, ωμική θέρμανση και τον συνδυασμό τους έδειξε σημαντικές βελτιώσεις στη διάρκεια ζωής. Η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσίασε τη μικρότερη μείωση βάρους, υποδεικνύοντας καλύτερη διατήρηση της υγρασίας και συνολική διατήρηση της ποιότητας. Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση ήταν αποτελεσματική στη μείωση της ενζυματικής καφένωσης, η οποία βοήθησε στη διατήρηση της αισθητικής ποιότητας των πατατών. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι ότι η ωσμωτική αφυδάτωση μείωσε αποτελεσματικά την ανάπτυξη μικροβίων και διατήρησε την υγρασία. Ωστόσο, οδήγησε σε σημαντική μαλάκυνση του ιστού της πατάτας, επηρεάζοντας αρνητικά την συνολική υφή. Οι OD-επεξεργασμένες πατάτες παρουσίασαν επίσης υπερβολική αλμυρότητα, η οποία ήταν αρνητική στις αισθητικές αξιολογήσεις. Η ωμική θέρμανση αναδείχθηκε ως η πιο ευνοϊκή μέθοδος για τη διατήρηση των αισθητικών χαρακτηριστικών των πατατών. Συνέπεσε με τη φυσική υφή, γεύση και άρωμα των φρέσκων δειγμάτων. Παρά το γεγονός ότι προκάλεσε τη μεγαλύτερη απώλεια βάρους, οι OH-επεξεργασμένες πατάτες διατήρησαν τις οπτικές και υφές ποιότητές τους, καθιστώντας τις ιδιαίτερα αποδεκτές για τους καταναλωτές. Αυτή η μέθοδος αποδείχθηκε η καλύτερη για τη διατήρηση των φυσικών ποιοτήτων των πατατών, εξασφαλίζοντας ότι οι πατάτες παρέμειναν ελκυστικές τόσο στην εμφάνιση όσο και στη γεύση. Ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ωμικής θέρμανσης οδήγησε σε ισορροπημένη σκληρότητα παρόμοια με αυτή των φρέσκων δειγμάτων, διατηρώντας την δομική ακεραιότητα. Ωστόσο, αυτή η συνδυασμένη επεξεργασία ενίσχυσε την καφένωση που

σχετίζεται με τις αντιδράσεις Maillard, η οποία επηρέασε αρνητικά την οπτική ελκυστικότητα. Ενώ οι πατάτες που υποβλήθηκαν σε OD/OH παρουσίασαν μέτρια μείωση βάρους, η υπερβολική αλμυρότητα μείωσε τη συνολική τους αποδοχή. Αυτή η διπλή μέθοδος επεξεργασίας έδειξε προοπτικές αλλά απαιτεί προσαρμογές για τη βελτίωση των αισθητικών της ποιότητων.

Συνολικά, ενώ η ωμική θέρμανση φαίνεται να προσφέρει τις περισσότερες υποσχέσεις για τη διατήρηση των αισθητικών χαρακτηριστικών των πατατών, η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, απαιτούνται προσαρμογές για τη μείωση της περιεκτικότητας σε αλάτι και τη βελτίωση της υφής. Η περαιτέρω βελτιστοποίηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι ουσιώδης για την ισορροπία των ωφελιμάτων διατήρησης με τη διατήρηση της υφής και της αισθητικής ποιότητας, καθιστώντας την μια πιο βιώσιμη μέθοδο προεπεξεργασίας για την επέκταση της διάρκειας ζωής και την ενίσχυση της ποιότητας του προϊόντος.

Μελλοντικές Ενέργειες

## Βιβλιογραφία

Encyclopedia Brittanica et al.,2018

M.Yu. Karpukhin, F. Keita et al.,2020 Biochemical composition of potato tubers of various varieties and the economic efficiency of its cultivation in the conditions of the Middle Urals

Eva Tsakou MedNutrition et al.,2020)

Anon , International Potato Center et al., 2019)

Oliviera Fernand A.R., Oliviera Jorge C (2000). Processing foods: quality optimization and process. In Advances in osmotic dehydration(7th chapter) (pp.176-177)

Mari, A.; Parisouli, D.N.; Krokida, M. Exploring Osmotic Dehydration for Food Preservation: Methods, Modelling, and Modern Applications. *Foods* 2024, *13*, 2783. <https://doi.org/10.3390/foods13172783>

U. D. Chavan, R. Amarowicz (2012): Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables

M. Dalla Rosa, F. Giroux / *Journal of Food Engineering* 49 (2001) 223-236)

M. Dalla Rosa, F. Giroux / *Journal of Food Engineering* 49 (2001) 223-236)

A.L Raoult-Wack (1994) *Trends in Food Science & Technology* , 5(8) , p.255-260

Knirsch , Marcos Camargo , rt al. "Ohmic Heating – a Review." *Trends in Food Science & Technology*, vol. 21,no. 9, Sept. 2010,pp.436-441

A Comprehensive review on applications of ohmic heating (OH) , Mohamed Sakr , Shuli Liu

Glucose : Detection and Analysis , A.L. Galant, R.C. Kaufman , J.D.Wilson

Blomberg, A. and Adler, L. (1992) Physiology of osmotolerance in fungi. *Adv. Microb. Physiol.* 33, 145-212.