



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ II : Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και
Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων**

«Ωσμωτική Αφυδάτωση Προϊόντων»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΚΡΙΒΟΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ ΚΡΟΚΙΔΑ

ΑΘΗΝΑ, 2024

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ωσμωτική αφυδάτωση προϊόντων», εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών του Τομέα Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2023-2024.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτρια μου, κα. Μαγδαληνή Κροκίδα για την ευκαιρία που μου έδωσε να αναπτύξω ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο καθώς και για την επίβλεψη και την συνεχή επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε, όποτε αυτήν ήταν αναγκαία, για την αξιοσημείωτη προθυμία της αλλά κυρίως για την εμπιστοσύνη της. Οι γνώσεις που απέκτησα θα αποτελέσουν πολύτιμα εφόδια για τις περαιτέρω σπουδές μου.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ένα μέλος του Εργαστηριακού Προσωπικού του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών, κα. Αλεξάνδρα Μάρη για τις σημαντικές υποδείξεις στην σωστή διεξαγωγή των πειραμάτων και για την στοχευμένη συνεισφορά της για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήταν άδικο να παραλείψω το σπουδαίο έργο που επιτελεί κάθε ένας από τους Καθηγητές της σχολής μου, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Επιπλέον, θα ήθελα ευχαριστήσω θερμά τους συμφοιτητές μου και φίλους μου για την συμπαράσταση σε όλη την διάρκεια φοίτησης μου στην σχολή.

Τέλος, ένα ευχαριστώ αξίζουν οι γονείς μου, Χαράλαμπος και Ελένη, τα τρία αδέρφια μου, Νικόλαος, Βασιλική και Ειρήνη – Χρυσοβαλάντου για την αδιάκοπη στήριξη τους, στους οποίους οφείλω την διαδρομή των σπουδών μου, μέχρι και σήμερα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περιεχόμενα.....	5
Ευρετήριο Εικόνων	8
Ευρετήριο Πινάκων	9
Ευρετήριο Διαγραμμάτων.....	12
Περίληψη	16
Abstract	18
1. Εισαγωγή.....	20
1.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	20
1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	20
2. Πρώτες Ύλες	21
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	21
2.1.1 Ροδάκινα.....	21
2.1.2 Βερίκοκα.....	23
2.2 Χημική σύσταση	25
2.2.1 Ροδάκινα.....	25
2.2.2 Βερίκοκα	27
2.3 Οφέλη για την υγεία.....	31
2.3.1 Ροδάκινα.....	31
2.3.2 Βερίκοκα.....	34
3. Ξήρανση	36
3.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	36
3.2 Καταστάσεις περιεχόμενου νερού	36
3.3 Μέθοδοι ξήρανσης.....	40
3.3.1 Ξήρανση σε ρεύμα αέρα	41
3.3.2 Ξήρανση Υπό Κατάψυξη	42
3.4 Ωσμωτική αφυδάτωση	45
3.4.1 Γενικά.....	45
3.4.2 Μηχανισμός και φαινόμενα μεταφοράς	47
3.4.3 Μαθηματική μοντελοποίηση	50
3.4.4 Παράμετροι Διεργασίας	52
3.4.4.1 Προεπεξεργασία Τροφίμου	53

3.4.4.2	Συγκέντρωση και μοριακό βάρος ωσμωτικού διαλύματος.....	53
3.4.4.3	Αναλογία βάρους τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο.....	54
3.4.4.4	Ανάδευση.....	54
3.4.4.5	Χρονική διάρκεια διεργασίας	55
3.4.4.6	Θερμοκρασία.....	55
3.4.5	Κριτήρια επιλογής ωσμωτικού μέσου	56
4.	Πειραματικός Σχεδιασμός	58
4.1	Εισαγωγή.....	58
4.2	Υλικά-Χημικά Αντιδραστήρια	58
4.2.1	Υλικά.....	58
4.2.2	Χημικά Αντιδραστήρια.....	58
4.3	Ωσμωτική αφυδάτωση	59
4.3.1	Πειραματική διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	59
4.3.2	Μέτρηση ποσοστού αρχικής υγρασίας	61
4.3.3	Πειραματική διαδικασία προκατεργασίας με ένζυμο	61
4.4	Προσδιορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών	63
4.4.1	Μέτρηση μεταβολής χρώματος.....	63
4.4.2	Μέτρηση ενεργότητας νερού (a_w)	64
4.4.3	Αποχύμωση ροδάκινων και βερίκοκων	65
4.4.4	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών	66
4.4.5	Προσδιορισμός ολικής οξύτητας	66
4.4.6	Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH	67
4.5	Δημιουργία τελικών προϊόντων	69
4.6	Προσδιορισμός απώλειας βάρους τελικών προϊόντων.....	69
4.7	Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος τελικών προϊόντων	70
5.	Αποτελέσματα.....	71
5.1	Προσδιορισμός αρχικής υγρασίας	71
5.1.1	Προσδιορισμός αρχικής υγρασίας ροδάκινων	71
5.1.2	Προσδιορισμός αρχικής υγρασίας βερίκοκων.....	71
5.2	Αξιολόγηση ωσμωτικής αφυδάτωσης	71
5.2.1	Απώλεια νερού (Water Loss WL)	71
5.2.1.1	Απώλεια νερού ροδάκινων	71
5.2.1.2	Απώλεια νερού βερίκοκων	78
5.2.2	Πρόσληψη στερεών (SG)	85

5.2.2.1	Πρόσληψη στερεών ροδάκινων.....	85
5.2.2.2	Πρόσληψη στερεών βερίκοκων	92
5.3	Επιλογή βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης	97
5.3.1	Επιλογή βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων	98
5.3.2	Επιλογή βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων	98
5.4	Ποιοτικά χαρακτηριστικά δειγμάτων βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης	99
5.4.1	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS)	99
5.4.1.1	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών ροδάκινων	99
5.4.1.2	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών βερίκοκων.....	100
5.4.2	Προσδιορισμός ολικής οξύτητας	101
5.4.2.1	Προσδιορισμός ολικής οξύτητας ροδάκινων	101
5.4.2.2	Προσδιορισμός ολικής οξύτητας βερίκοκων.....	102
5.4.3	Προσδιορισμός ενεργότητας νερού (a_w)	103
5.4.3.1	Προσδιορισμός ενεργότητας νερού ροδάκινων	103
5.4.3.2	Προσδιορισμός ενεργότητας νερού βερίκοκων.....	104
5.4.4	Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος	105
5.4.4.1	Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος ροδάκινων	105
5.4.4.2	Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος βερίκοκων	106
5.4.5	Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH	107
5.4.5.1	Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH ροδάκινων 107	
5.4.5.2	Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH βερίκοκων 108	
5.5	Αξιολόγηση τελικών προϊόντων	108
5.5.1	Προσδιορισμός απώλειας βάρους	108
5.5.1.1	Προσδιορισμός απώλειας βάρους ροδάκινων	108
5.5.1.2	Προσδιορισμός απώλειας βάρους βερίκοκων.....	111
5.5.2	Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος	114
5.5.2.1	Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος ροδάκινων	114
5.5.2.2	Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος βερίκοκων	119
6.	Συζήτηση	126
6.1	Συμπεράσματα	126
6.2	Μελλοντικές ενέργειες	128
7.	Βιβλιογραφία	129

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1. Το δέντρο της ροδακινιάς με τα ροδάκινα <i>Prunus persica</i>	21
Εικόνα 2. Το δέντρο της βερικοκιάς και τα βερίκοκα <i>Prunus armeniaca</i>	23
Εικόνα 3. Οι κυριότεροι παραγωγοί βερικόκων κατά μέσο όρο τις καλλιεργητικές περιόδους 2015-2018 σε χιλ. τόνους (FAOSTAT, 2020)	25
Εικόνα 4. Τυπική ισόθερμη ρόφησης – εκρόφησης ενός τρόφιμου.....	38
Εικόνα 5. Στάδια ρυθμού αφυδάτωσης	39
Εικόνα 6. Θάλαμος ξήρανσης με ρεύμα αέρα (Wang et al., 2007).....	42
Εικόνα 7. Διάγραμμα φάσεων νερού (Roos, 1995).....	43
Εικόνα 8. Θάλαμος Ξήρανσης Υπό Κατάψυξη (Millman et al. 1984)	44
Εικόνα 9. Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Yadav et. al, 2014).....	46
Εικόνα 10. Αναπαράσταση φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Ramya et al., 2016).....	50
Εικόνα 11. Φούρνος ξήρανσης Vacuum Drying Oven (BioBase)	61
Εικόνα 12. Προκατεργασία των ροδάκινων με ένζυμο πεκτινάση	62
Εικόνα 13. Προκατεργασία των βερίκοκων με ένζυμο ένζυμο πεκτινάση	62
Εικόνα 14. Χρωματόμετρο MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory Inc, Reston, Virginia).....	64
Εικόνα 15. Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού Aqua Lab 4TEV.....	65
Εικόνα 16. Φυγόκεντρος Centrifugator NF400 (nuve (LinkLab)	65
Εικόνα 17. Διαθλασίμετρο Digital ABBE Refractometer (KRUSS).....	66
Εικόνα 18. Φασματοόμετρο UV-Vis (UV-Vis Spectrophotometer UVM51, BEL PHOTONICS).....	69
Εικόνα 19. Χρώμα των κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων α) με κατάψυξη (αριστερά), β) με αέρα (κέντρο), γ) αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό (δεξιά) μετά από 20 ημέρες αποθήκευσης.....	119
Εικόνα 20. Χρώμα των κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων α) με κατάψυξη (κέντρο), β) με αέρα (μέση), γ) αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό (δεξιά) μετά από 20 ημέρες αποθήκευσης.....	125

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. Οι κύριοι παραγωγοί των ροδάκινων και νεκταρινιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε τόνους (FAS EU)	22
Πίνακας 2. Η χημική σύσταση του ροδάκινου	26
Πίνακας 3. Η χημική σύσταση του βερικόκου (Fратиanni et al. 2018).....	28
Πίνακας 4. Συγκέντρωση ωσμωτικών διαλυμάτων και συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	60
Πίνακας 5. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	73
Πίνακας 6. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	74
Πίνακας 7. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	74
Πίνακας 8. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	74
Πίνακας 9. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	77
Πίνακας 10. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	77
Πίνακας 11. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	78
Πίνακας 12. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	78
Πίνακας 13. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	80
Πίνακας 14. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	80
Πίνακας 15. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	81

Πίνακας 16. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	81
Πίνακας 17. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	84
Πίνακας 18. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	84
Πίνακας 19. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	84
Πίνακας 20. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	84
Πίνακας 21. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	87
Πίνακας 22. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	87
Πίνακας 23. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	88
Πίνακας 24. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	88
Πίνακας 25. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	91
Πίνακας 26. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	91
Πίνακας 27. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	91
Πίνακας 28. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	91

Πίνακας 29. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	93
Πίνακας 30. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	93
Πίνακας 31. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	94
Πίνακας 32. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	94
Πίνακας 33. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	96
Πίνακας 34. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	96
Πίνακας 35. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).	97
Πίνακας 36. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).....	97
Πίνακας 37. Παράμετροι χρώματος των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό μέσο.....	106
Πίνακας 38. Παράμετροι χρώματος των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό μέσο	106
Πίνακας 39. Αντιοξειδωτική δράση φρέσκων ροδάκινων και δειγμάτων με ωσμωτική αφυδάτωση βέλτιστων αποτελεσμάτων για κάθε ωσμωτικό μέσο	107
Πίνακας 40. Αντιοξειδωτική δράση φρέσκων βερίκοκων και δειγμάτων με ωσμωτική αφυδάτωση βέλτιστων αποτελεσμάτων για κάθε ωσμωτικό μέσο	108

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998).....	72
Διάγραμμα 2. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 60% γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	72
Διάγραμμα 3. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	75
Διάγραμμα 4. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998).....	76
Διάγραμμα 5. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	79
Διάγραμμα 6. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	79
Διάγραμμα 7. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας σε ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	82
Διάγραμμα 8. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998).....	83
Διάγραμμα 9. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	86
Διάγραμμα 10. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία ενζύμου και ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	86
Διάγραμμα 11. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας σε ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	89
Διάγραμμα 12. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού	

μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998).....	90
Διάγραμμα 13. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	92
Διάγραμμα 14. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία ενζύμου και ωσμωτικό διάλυμα 60% γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	93
Διάγραμμα 15. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας σε ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)	95
Διάγραμμα 16. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998).....	96
Διάγραμμα 17. Ολικά διαλυτά στερεά (TSS) (°Brix) των φρέσκων δειγμάτων ροδάκινων και αυτών που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση με τα ωσμωτικά διαλύματα στις βέλτιστες συνθήκες	100
Διάγραμμα 18. Ολικά διαλυτά στερεά (TSS) (°Brix) των φρέσκων δειγμάτων βερίκοκων και αυτών που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα	101
Διάγραμμα 19. Ολική οξύτητα των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα	102
Διάγραμμα 20. Ολική οξύτητα των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα	103
Διάγραμμα 21. Ενεργότητα (a_w) των δειγμάτων ροδάκινων που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα	104
Διάγραμμα 22. Ενεργότητα (a_w) των δειγμάτων βερίκοκων που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα	105
Διάγραμμα 23. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου.....	109
Διάγραμμα 24. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	109
Διάγραμμα 25. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου	110
Διάγραμμα 26. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου.....	112
Διάγραμμα 27. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	112

Διάγραμμα 28. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου	113
Διάγραμμα 29. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου	114
Διάγραμμα 30. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	115
Διάγραμμα 31. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου	115
Διάγραμμα 32. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου	116
Διάγραμμα 33. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	116
Διάγραμμα 34. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου	117
Διάγραμμα 35. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου	117
Διάγραμμα 36. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	118
Διάγραμμα 37. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου	118
Διάγραμμα 38. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου	120
Διάγραμμα 39. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	120
Διάγραμμα 40. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου	121
Διάγραμμα 41. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου	121
Διάγραμμα 42. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	122
Διάγραμμα 43. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου	122
Διάγραμμα 44. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου	123
Διάγραμμα 45. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου	123

Διάγραμμα 46. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου124

Περίληψη

Τα φρούτα και λαχανικά αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι τις διατροφής προσφέροντας πληθώρα απαραίτητων θρεπτικών συστατικών και βιταμινών. Καταναλώνονται σε ημερήσια βάση με την φρεσκάδα τους να χαρακτηρίζεται ως δείγμα ποιότητας.

Το πρόβλημα στην κατανάλωση των φρέσκων φρούτων και λαχανικών έγκειται στο γεγονός πως αποτελούν τρόφιμα με πολύ μικρή διάρκεια ζωής. Από τη στιγμή συγκομιδής τους η ποιότητά τους μόνο υποβαθμίζεται και σε αρκετές περιπτώσεις απορρίπτονται πριν φθάσουν στον καταναλωτή.

Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος προτείνεται μία πληθώρα διεργασιών, που βασίζεται στη μείωση της υγρασίας του τροφίμου, όπως η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, ξήρανση υπό κενό, ξήρανση με κατάψυξη. Όμως μία καινοτόμος εναλλακτική οικονομική μέθοδος με αρκετά καλά αποτελέσματα αποτελεί η ωσμωτική αφυδάτωση που οδηγεί σε φρούτα και λαχανικά με βελτιωμένες θρεπτικές, οργανοληπτικές και λειτουργικές ιδιότητες. Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια διεργασία αφαίρεσης υγρασίας από το υλικό τροφίμου, με την βύθιση του σε υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα, οδηγώντας σε προϊόντα που διατηρούν τα οργανοληπτικά και θρεπτικά τους συστατικά.

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η μέθοδος επεξεργασίας τροφίμου της ωσμωτικής αφυδάτωσης και ο συνδυασμός της με ξήρανση με αέρα, ξήρανση με κατάψυξη και αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στα φρέσκα ροδάκινα και βερίκοκα χωρίς να έχει προηγηθεί καμία διεργασία επεξεργασίας. Τα εναλλακτικά ωσμωτικά διαλύματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι το υδατικό διάλυμα γλυκερόλης και άλατος περιεκτικότητας 60% w/w + 5 % w/w, αντίστοιχα, το υδατικό διάλυμα χυμού μήλου και άλατος περιεκτικότητας 50 Brix + 5% w/w, αντίστοιχα, (αναλογία ωσμωτικού μέσου/τροφίμου 5:1). Επίσης, εφαρμόστηκε πρώτα προκατεργασία με το ένζυμο πεκτινάση και ωσμωτική αφυδάτωση με τα παραπάνω ωσμωτικά μέσα. Η διεργασία πραγματοποιήθηκε σε δύο θερμοκρασίες (25°C και 40°C) και μελετήθηκε για 24 ώρες. Με βάση τα αποτελέσματα από τα παραπάνω πειράματα ορίστηκαν οι βέλτιστες συνθήκες. Με την ολοκλήρωση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις βέλτιστες συνθήκες προσδιορίστηκαν ορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες των ροδάκινων και των βερίκοκων, όπως το χρώμα, η ενεργότητα νερού, τα ολικά διαλυτά στερεά (TSS) και η ολική οξύτητα.

Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας δείχνουν πως η ωσμωτική αφυδάτωση των συγκεκριμένων προϊόντων προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα και μπορεί να

οδηγήσει στην διεύρυνση της διάρκειας ζωής τους διατηρώντας την ποιότητα σε πολύ υψηλά επίπεδα. Σύμφωνα με την αξιολόγηση των παραμέτρων της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης διεξάχθηκε το συμπέρασμα ότι η αύξηση της θερμοκρασίας και της διάρκειας της ωσμωτικής επεξεργασίας, μέχρι ένα σημείο, προκαλούν αυξημένη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών.

Το χρώμα των ωσμωτικά αφυδατωμένων ροδάκινων και βερίκοκων που προέκυψαν από τις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης (ωσμωτικό μέσο, διάρκεια ωσμωτικής επεξεργασίας) μεταβλήθηκε για τα ροδάκινα και τα βερίκοκα, η ενεργότητα νερού παρουσιάστηκε μειωμένη για κάθε ωσμωτικό μέσο, τα ολικά διαλυτά στερεά αυξημένα σε σχέση με του φρέσκου δείγματος, η ολική οξύτητα εμφανίστηκε αυξημένη για κάθε ωσμωτικό διάλυμα ροδάκινου και βερίκοκου. Η αντιοξειδωτική ικανότητα του συνδυασμού γλυκερόλης και χλωριούχου νατρίου χαρακτηρίστηκε από υψηλότερη αύξηση από τον συνδυασμό χυμό μήλου.

Για την βελτίωση της διάρκειας ζωής των φρούτων, τα δείγματα μετά την ωσμωτική αφυδάτωση οδηγήθηκαν σε κατεργασία με ξήρανση με αέρα, ξήρανση με κατάψυξη και αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα. Η αξιολόγηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με βάση ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως η μεταβολή χρώματος και η απώλεια βάρους κατά την αποθήκευση για 20 ημέρες. Διαπιστώθηκε ότι η απώλεια βάρους για την ξήρανση κατεργασμένων δειγμάτων με ξήρανση με αέρα και αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα αυξάνεται με τον χρόνο για τα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων, αντιθέτως η τιμή της απώλειας βάρους στην ξήρανση με κατάψυξη παρουσιάζει μείωση κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Όσον αφορά, την μεταβολή χρώματος των ροδάκινων και βερίκοκων παραμένει πρακτικά σταθερή για όλες τις κατεργασίες, καθώς οι παράμετροι χρώματος δεν μεταβάλλεται σημαντικά.

Λέξεις-κλειδιά: διατηρησιμότητα, φρούτα και λαχανικά, ωσμωτική αφυδάτωση, διάρκεια ζωής

Abstract

Fruits and vegetables are an integral part of the diet, offering plenty of essential nutrients and vitamins. They are consumed on a daily basis with their freshness being characterized as a sample of quality.

The problem with eating fresh fruits and vegetables lies in the fact that they are foods with a very short lifetime. From the moment they are harvested, their quality continuously deteriorates and in many cases, they lose their nutritious value before being consumed.

Elaborating the solution of this particular problem, a multitude of processes are proposed, such as air drying, vacuum or freeze drying. But an innovative and alternative economic method with quite good results is osmotic dehydration which leads to fruits and vegetables with improved nutritional, organoleptic and functional properties. Osmotic dehydration is a process of removing moisture from the food material by immersing it in a hypertonic osmotic solution, leading to products that retain their organoleptic and nutritional components.

In the present study, the food processing method of osmotic dehydration and its combination with air or freeze drying and its storage in vacuum packaging, was studied on fresh peaches and apricots without any previous processing process. The alternative osmotic solutions, which were used are the aqueous solution of glycerol and salt content of 60% w/w + 5% w/w, the aqueous solution of apple juice and salt content of 50 Brix + 5% w/w (osmotic medium/food ratio 5:1). At first, as well, pretreatment with the pectinase enzyme and osmotic dehydration with the above osmotic media were applied.

The process was carried out at two temperatures (25°C and 40°C) and lasted 24 hours. Based on the results from the above experiments, the optimal conditions were defined. Upon completion of osmotic dehydration under optimal conditions, some physicochemical properties of peaches and apricots were determined, such as color, water activity, total soluble solids (TSS) and total acidity.

The results of our research show that the osmotic dehydration of the specific products offers multiple advantages and can lead to the extension of their lifespan, while maintaining the quality at very high levels. According to the evaluation of the parameters of the kinetics of osmotic dehydration, it was concluded that the increase in temperature and duration of the osmotic treatment cause increased water loss and solid uptake.

The color of osmotically dehydrated peaches and apricots resulting from optimal osmotic dehydration conditions (osmotic solution, duration of osmotic treatment) was altered, water activity was decreased for each osmotic solution, total soluble solids increased relative to of the fresh sample, while total acidity appeared increased for each peach and apricot osmotic solution. The antioxidant capacity of the combination of glycerol and sodium chloride was characterized by a higher increase in relation with the combination of apple juice.

To improve fruit lifespan, samples were processed after osmotic dehydration by air drying, freeze drying and storage in vacuum packaging. The samples were evaluated based on quality characteristics such as color change and weight loss during storage for 20 days. It was found that the weight loss for drying treated samples by air drying and storage under vacuum packaging increases with time for peach and apricot samples, on the contrary the value of weight loss in freeze drying shows a decrease during storage. With regard to color change of peaches and apricots this remains practically constant for all treatments, as the color parameters do not change significantly.

Keywords: fruits and vegetables, osmotic dehydration, lifespan

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Οι δίαιτες με υψηλή περιεκτικότητα σε φρούτα και λαχανικά συνιστώνται ευρέως για την ικανότητα τους να προάγουν την υγεία, συμπεριλαμβανομένης της συγκέντρωσης βιταμινών, μετάλλων και φυτοχημικών ουσιών. Ταυτοχρόνως τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά αποτελούν πηγή πολύτιμων φυτικών ινών. Τα διάφορα φρούτα και λαχανικά είναι πλούσια σε πληθώρα βιταμινών, κυρίως βιταμίνη C που δεν συντίθενται από τον ανθρώπινο οργανισμό, μέταλλα, ηλεκτρολύτες, και ωφέλιμους υδατάνθρακες που αποτελούν πηγή ενέργειας για τον ανθρώπινο οργανισμό (Slavin et al., 2012).

Τα φρούτα και λαχανικά είναι ευπαθή προϊόντα που σε αρκετές περιπτώσεις από την στιγμή της συγκομιδής τους κι έπειτα η ποιότητά τους μόνο μειώνεται ή σε ιδανικές περιπτώσεις διατηρείται σταθερή. Τα προβλήματα στην μετασυλλεκτική διάρκεια ζωής των φρούτων και λαχανικών περιλαμβάνουν την εύκολη υποβάθμιση των ιστών τους καθώς και την απώλεια σε θρεπτικά συστατικά. Η αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για φρέσκα φρούτα και λαχανικά υψηλής ποιότητας και θρεπτικής αξίας έχει οδηγήσει στην αναζήτηση μεθόδων για την διατήρηση της ποιότητας και θρεπτικής αξίας των φρέσκων φρούτων και λαχανικών (Gallagher et. al, 2011). Για την αντιμετώπιση των συγκεκριμένων ζητημάτων έχουν μελετηθεί διάφορες μέθοδοι εκ των οποίων η ωσμωτική αφυδάτωση έχει προταθεί τα τελευταία χρόνια σαν μία πολύ καλή λύση. Η ωσμωτική αφυδάτωση βασίζεται στο γεγονός πως η υψηλή περιεκτικότητα των φρούτων και λαχανικών είναι υπεύθυνη για την μειωμένη διάρκεια ζωής τους κι έτσι η απομάκρυνσή του θα την αυξήσει διατηρώντας παράλληλα την περιεκτικότητα σε βιταμίνες, μέταλλα καθώς και τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (Yadav et al., 2014).

1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία καινοτόμων προϊόντων τροφίμων με μεγάλη διάρκεια ζωής και ενίσχυση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών με την προσθήκη συστατικών υψηλής διατροφικής αξίας. Η επίτευξη του σκοπού αυτού πραγματοποιείται μέσω της μελέτης της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ξήρανσης σε αέρα, ξήρανσης με κατάψυξη και αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό αέρα σε δείγματα φρέσκων ροδάκινων και βερίκοκων. Τα δείγματα που προκύπτουν αξιολογούνται ως προς τις ποιοτικές και οργανοληπτικές τους ιδιότητες.

2. Πρώτες Ύλες

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

2.1.1 Ροδάκινα

Η ροδακινιά (*Prunus persica* L.), αποτελεί πυρηνόκαρπο, φυλλοβόλο οπωροφόρο δέντρο με μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες της Ελλάδας, αλλά και του κόσμου, καθώς καλλιεργείται σε όλη την υφήλιο μετά την μηλιά και την αχλαδιά. Η ροδακινιά, ανήκει στην οικογένεια Rosaceae και στην υποοικογένεια Prunoideae. Στην Ελλάδα καλλιεργείται κυρίως στους Ν.Θεσσαλίας, Ν. Μακεδονίας, Ν. Πέλλας και Ν. Ημαθίας.



Εικόνα 1. Το δέντρο της ροδακινιάς με τα ροδάκινα *Prunus persica*

Ο καρπός του ροδάκινου είναι ζουμερός, στρογγυλός με ασαφή φλούδα, η οποία χαρακτηρίζεται για το κίτρινο ή τριχυτό κόκκινο χρώμα. Περιέχει έναν μεγάλο σπόρο στο κέντρο και συνήθως καλλιεργείται σε θερμές περιοχές με γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 30° και 45° βόρεια και νότια (Hancock et al., 2008). Θεωρείται σαν πυρηνόκαρπο λόγω του μεγάλου μεγέθους γίγαρτο που περιέχει στο εσωτερικό του.

Στην σύγχρονη εποχή, καλλιεργούνται πληθώρα ποικιλιών ανά τον κόσμο, τα οποία χαρακτηρίζονται για τη τεράστια ποικιλομορφία. Η ποικιλομορφία αυτή οφείλεται στις διάφορες ιδιότητες του ροδάκινου, όπως το χρώμα του καρπού, το μέγεθος του καρπού, την ύπαρξη ή μη της χνουδωτής επιφάνειας στο φλοιό της

σάρκας, την εποχή άνθισης και ωρίμανσης, την αντοχή του δέντρου ροδακινιάς στις ασθένειες του περιβάλλοντος, τη συνεκτικότητα της σάρκας του καρπού αλλά και την ευκολία απομάκρυνσης της σάρκας από το πυρήνα. Επομένως, με βάση τα χαρακτηριστικά του καρπού ροδάκινου διακρίνονται σε λευκόσαρκα και κιτρινόσαρκα, ανάλογα με το χρώμα της σάρκας, σε εκπύρηνα, ημιεκπύρηνα και συμπύρηνα σύμφωνα με βαθμό αποκόλλησης του πυρήνα από την σάρκα αλλά και σε κοινά ροδάκινα και νεκταρίνια με βάση την ύπαρξη ή μη χνουδωτής επιφάνειας στο εξωτερικό περίβλημα της σάρκας (Βασιλακάκης, 2004).

Εξαιτίας της ποικιλομορφίας μεταξύ των διάφορων ειδών ροδάκινων, η καλλιέργεια του δέντρου της ροδακινιάς είναι εφικτή στις περισσότερες χώρες του κόσμου με ηλιοφάνεια τους καλοκαιρινούς μήνες. Η παραγωγή των ροδάκινων και νεκταρινιών από τους μεγαλύτερους παραγωγούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης την καλλιεργητική περίοδο 2018/19 ανέρχεται σε 3.500.000 τόνους. Πιο συγκεκριμένα, η ελληνική παραγωγή τις καλλιεργητικές περιόδους 2016/17 και 2017/18 είναι 774.568 και 902.000 τόνους, αντίστοιχα, σε αντίθεση με την καλλιεργητική περίοδο 2018/19 παρουσιάζει αύξηση 915.000 τόνους, το οποίο οφείλεται στις καιρικές συνθήκες της καλλιεργητικής περιόδου (Πίνακας 1.).

Πίνακας 1. Οι κύριοι παραγωγοί των ροδάκινων και νεκταρινιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε τόνους (FAS EU)

Χώρα	2016/17	2017/18	2018/19
Ισπανία	1.421.678	1.480.000	1.204.000
Ιταλία	1.262.127	1.362.054	1.161.000
Ελλάδα	774.568	902.000	915.000
Γαλλία	207.004	221.800	182.500

Η προέλευση των ροδάκινων εντοπίζεται περίπου από το 2000 π.Χ. στην Κίνα, όπου καλλιεργείται μέχρι και σήμερα ως αυτοφυές φυτό, παρά τις προηγούμενες πεποιθήσεις ότι ήταν ιθαγενές προϊόν της Περσίας. Η ροδακινιά αργότερα μεταφέρθηκε και στην Ινδία, την Περσία και την Ιαπωνία. Στην μεσογειακή Ευρώπη, η εισαγωγή των ροδάκινων πραγματοποιήθηκε μέσω της Περσίας, καταλήγοντας στην επιστημονική ονομασία «persica». Η Ελλάδα καλλιεργεί τον καρπό του ροδάκινου από το 300 π.Χ. Αργότερα, μεταφέρθηκε στη Ρώμη τον 1^ο αιώνα μ.Χ. και εξαπλώθηκε σε όλη τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία. Οι ιστορικές πηγές υποστηρίζουν ότι τα φρούτα ροδάκινων εισήχθησαν στην Ευρώπη από τον Μέγα Αλέξανδρο. Οι Ισπανοί και Πορτογάλοι εξερευνητές, όπως ο Χριστόφορος Κολόμβος μετέφεραν ροδάκινα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το Μεξικό και τη Νότια Αμερική, ενώ

από τον 17^ο αιώνα είναι αισθητό και στην Γαλλία και στην Αγγλία (Liao et al., 2018; Geissler, 2009; Singh et al., 2007).

2.1.2 Βερίκοκα

Το βερίκοκο (*Prunus armeniaca* L.) ανήκει στην οικογένεια *Rosaceae* και στο γένος *Prunus* L. Η οικογένεια *Rosaceae* είναι μία από τις μεγαλύτερες οικογένειες των αγγειόσπερμων και αποτελείται από περίπου 3.400 είδη, συμπεριλαμβανομένων των αμυγδάλων, των ροδάκινων, των μήλων, των δαμάσκηνων, των κερασιών και των μούρων. Τα είδη αυτά, κατανέμονται σε όλες τις βόρειες εύκρατες περιοχές του κόσμου. Η ονομασία "βερίκοκο" μάλλον προέρχεται είτε από τη λατινική λέξη "praecocia", που σημαίνει "πρώιμα ώριμο", είτε από την αραβική λέξη "albarquq", που υποδηλώνει σύντομη περίοδο ωρίμανσης.

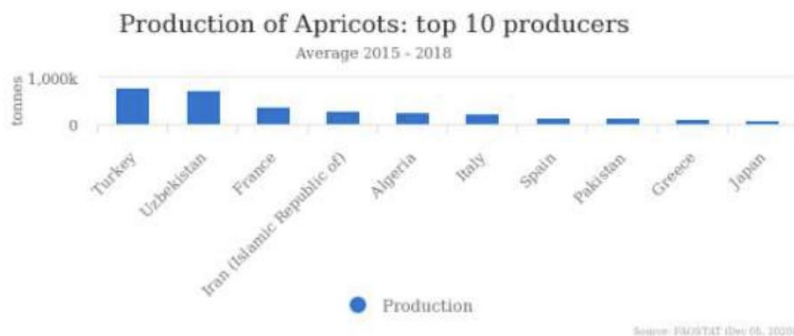


Εικόνα 2. Το δέντρο της βερικοκιάς και τα βερίκοκα *Prunus armeniaca*

Ο καρπός του βερίκοκου είναι σφαιρικός ή ωσειδής και χαρακτηρίζεται για το κίτρινο ή κοκκινωπό-πορτοκαλί χρώμα του με λεία ή βελούδινη υφή. Το εσωτερικό του καρπού απαρτίζεται από έναν μόνο σπόρο, ο οποίος βρίσκεται κεντρικά τοποθετημένος και προστατεύεται από ένα σκληρό κέλυφος. Ο σπόρος μαζί με το κέλυφος σχηματίζουν το κουκούτσι του καρπού, το οποίο έχει κοκκώδη υφή και αυλακωτή επιφάνεια (Leccese et al., 2011).

Το βερίκοκο αποτελεί φρούτο των εύκρατων περιοχών που αναπτύσσεται σε περιοχές με διακριτές εποχιακές διακυμάνσεις και συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες. Απαιτεί ψυχρό χειμώνα και μέτριες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ανοιξιάτικης περιόδου και στις αρχές του καλοκαιρινής περιόδου για την επιτυχή ανάπτυξη (Güçlü et al., 2006). Το ιδανικό κλίμα για την καλλιέργεια των βερίκοκων είναι το μεσογειακό, το οποίο χαρακτηρίζεται από ελαφρώς ζεστές θερμοκρασίες χωρίς ψυχρούς ανέμους ή συχνούς παγετούς. Αντίθετα, η συνεχής βροχόπτωση κατά την άνθιση και την συγκομιδή των βερίκοκων επιφέρει ασθένειες με ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως νέκρωση των βλαστών και των φύλλων ή και ακόμα σάπισμα των καρπών (Hormaza et al. 2007).

Τα βερίκοκα έχουν προέλευσή από την βόρεια Κίνα και την Κεντρική Ασία, με ορισμένες ποικιλίες να είναι εγγενείς στην Ινδία. Τα βερίκοκα καλλιεργούνται στην Κίνα από το 2000 π.Χ. Παρόλα αυτά, η βερίκοκιά ήταν γνώριμη και στην Αρμενία από την αρχαία εποχή. Με την πάροδο του χρόνου, εξαπλώθηκαν μέσω της Περσικής Αυτοκρατορίας και κατέληξαν στις χώρες της Μεσόγειου, όπου ευδοκίμησαν λόγω του εύκρατου κλίματος. Μάλιστα, στη Ελλάδα το φρούτο αυτό το εισήγαγε ο Μέγας Αλέξανδρος. Αρκετά χιλιάδες χρόνια, το φρούτο της βερίκοκιάς καλλιεργείται στις ορεινές περιοχές της Ευρώπης και της Ασίας. Ειδικότερα, οι κύριες περιοχές καλλιέργειας βερίκοκου περιλαμβάνουν μια έκταση από την Τουρκία μέσω του Ιράν, της Ινδίας, των Ιμαλαΐων και προς την Κίνα και την Ιαπωνία. Βέβαια, στις μεσογειακές χώρες, όπως στην Τουρκία, πραγματοποιείται η μεγαλύτερη παραγωγή βερίκοκων. Άλλες σημαντικές χώρες στην παραγωγή βερίκοκου είναι το Πακιστάν, το Ιράν, το Ουζμπεκιστάν, η Αλγερία, το Μαρόκο, η Ιαπωνία, η Αίγυπτος, η Ιταλία και η Ισπανία. Τις καλλιεργητικές περιόδους 2015-2018, η Τουρκία κυριαρχεί στην παραγωγή βερίκοκων κατά μέσο όρο με 790.275 τόνους, και μετά ακολουθούν και κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γαλλία με 383.091,5 τόνους, η Ιταλία με 237.495,5 τόνους και τελευταία η Ελλάδα με 102.952,75 τόνους (FAOSTAT, 2020).



Εικόνα 3. Οι κυριότεροι παραγωγοί βερικόκων κατά μέσο όρο τις καλλιεργητικές περιόδους 2015-2018 σε χιλ. τόνους (FAOSTAT, 2020)

Η ευρεία χρήση των βερικόκων τα καθιστά στα φρούτα με την μεγαλύτερη ζήτηση. Μπορούν να καταναλωθούν σε διάφορες μορφές, όπως φρέσκα, αποξηραμένα και κατεψυγμένα. Τέλος, χρησιμοποιούνται συχνά για την παρασκευή μαρμελάδων, ζελέ, μαρμελάδων και κομπόστας.

2.2 Χημική σύσταση

2.2.1 Ροδάκινα

Το ροδάκινο είναι ένα εξαιρετικά θρεπτικό φρούτο με μεγάλη κατανάλωση τους καλοκαιρινούς μήνες και πλούσιο με ευεργετικά αντιοξειδωτικά. Τα 100g ροδάκινου περιέχουν κυρίως 89g νερό, 9,9g υδατάνθρακες, από τους οποίους τα 8,4 είναι σάκχαρα, περίπου 1g πρωτεΐνη, ενώ υπάρχει και ελάχιστη ποσότητα λίπους. Εκτός απ' αυτά, περιέχονται και κάποια στοιχεία, όπως Ca, Mg, K, Na, και N αλλά και άλλα στοιχεία σε μικρές ποσότητες, όπως Mn, Zn, Cu, Fe. Το κυριότερο από τα χημικά στοιχεία είναι το K, καθώς περιέχεται σε μεγαλύτερη ποσότητα στο φρούτο. Παρά το γεγονός ότι απαρτίζονται από φυσικά σάκχαρα, ο γλυκαιμικός δείκτης των ροδάκινων είναι χαμηλός, περίπου 5, παρόμοιος με τα φρούτα με λιγότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα (Dabbou et al., 2017; Manzoor et al. 2012).

Πίνακας 2. Η χημική σύσταση του ροδάκινου

Θρεπτικό συστατικό	Περιεκτικότητα σε 100g φρέσκου φρούτο
Νερό (g)	89
Πρωτεΐνες (g)	0,9
Λιπίδια (g)	0,3
Φυτικές ίνες (g)	1,5
Υδατάνθρακες (g)	9,9
Τέφρα (g)	0,8
Συνολικά σάκχαρα (g)	8,4
Ενέργεια (kJ)	164
Ασβέστιο (mg)	1
Σίδηρος (mg)	2
Μαγνήσιο (mg)	9
Φώσφορος (mg)	20
Κάλιο (mg)	190
Χαλκός (mg)	0,1
Ψευδάργυρος (mg)	0,2
Βιταμίνη C (mg)	6,6
Βιταμίνη E (mg)	0,7
Βιταμίνη A (IU)	362
Χολίνη (mg)	6,2

Επιπρόσθετα, ο καρπός των ροδάκινων είναι πλούσιος σε πολυφαινόλες, συμπεριλαμβανομένων σημαντικών φαινολικών ενώσεων, όπως το χλωρογενικό οξύ, οι κατεχίνες και οι επικατεχίνες. Ακόμα, τα ροδάκινα περιέχουν άφθονες ανθοκυανίνες και καροτενοειδή. Τα καροτενοειδή είναι φυσικές χρωστικές που βρίσκονται σε πολλά φρούτα και λαχανικά, υπεύθυνα για μια σειρά χρωμάτων από κίτρινο έως κόκκινο. Τα κύρια καροτενοειδή σε αυτά τα φρούτα είναι το β-καροτένιο, το α-καροτένιο, η ζεαξανθίνη και η λουτεΐνη.

Ακόμα, είναι πλούσιο σε πρόδρομες ουσίες της βιταμίνης A, καροτενοειδή όπως β-καροτίνη, α-καροτίνη και β-κρυπτοξανθίνη. Τα κουκούτσια περιέχουν επίσης φαινολικές ενώσεις όπως κατεχίνη, επικατεχίνη και χλωρογενικό οξύ.

Οι φυτικές ίνες και οι βιταμίνες περιέχονται σε υψηλές ποσότητες στο ροδάκινο. Ο καρπός του ροδάκινου αποτελείται από 10,5 g διαλυτών και αδιάλυτων φυτικών ινών ανά 100g φρούτου (Siddiq, 2006). Οι κυριότερες βιταμίνες στο φρούτο είναι η βιταμίνη A, η βιταμίνη C και η χολίνη, σε αντίθεση με την βιταμίνη E, K, B₅, B₆,

θειαμίνη, ριβοφλαβίνη και νιασίνη, οι οποίες περιέχονται σε μικρότερες ποσότητες (Liu et al. 2015).

Στα ροδάκινα, η πλειοψηφία των υδατανθράκων βρίσκεται με τη μορφή σακχάρων. Η συνολική περιεκτικότητα σε σάκχαρα είναι από 89,16 έως 184,49 g/L, με τη σακχαρόζη, τη φρουκτόζη, τη σορβιτόλη και τη γλυκόζη να είναι τα κύρια σάκχαρα. Συγκεκριμένα, το ποσοστό της σακχαρόζης είναι 55,74% – 72,96%, της γλυκόζης 6,65% – 15,42%, της φρουκτόζης 6,77% – 16,82% και της σορβιτόλης 1,07% – 10,75% (Reig et al., 2013).

Η ποσότητα του λίπους στα 100 g ροδάκινου είναι περίπου 0,3 g. Παρόλα αυτά, τα λιπαρά οξέα είναι αρκετά σημαντικά, καθώς δρουν ως φορείς για ορισμένες λιπόφιλες βιταμίνες και βιοδραστικές ενώσεις που περιέχονται στα φρούτα. Ορισμένα λιπαρά οξέα είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των κυττάρων, επειδή είναι πρόδρομοι των προσταγλανδινών. (Duan et al., 2013).

Τα φρέσκα ροδάκινα περιέχουν δύο κύρια καροτένια: τη β-κρυπτοξανθίνη και τη β-καροτίνη. Οι τιμές της β-κρυπτοξανθίνης κυμαίνονται από 60 μg/kg έως 360 μg/kg στη φλούδα και από 60 μg/kg έως 160 μg/kg στη σάρκα. Από την άλλη πλευρά, οι τιμές β-καροτίνης κυμαίνονται από 110 μg/kg έως 3790 μg/kg στη φλούδα και από 40 μg/kg έως 1680 μg/kg στη σάρκα. Τα ροδάκινα με κίτρινη σάρκα είχαν τιμές καροτενοειδών 0,8-3,7 mg β-καροτίνης ανά 100 g ιστού, ενώ τα λευκόσαρκα ροδάκινα είχαν τιμές 0,0-0,1 mg και τα κόκκινα ροδάκινα είχαν τιμές 0,1-1,9 mg. (Vizotto et al., 2007).

Τέλος, τα ροδάκινα όχι μόνο είναι διατροφικά πολύτιμα, αλλά χαρακτηρίζονται για την ξεχωριστή γεύση και το άρωμα τους, που αποδίδεται στην ισορροπία των πτητικών οργανικών ενώσεων, των πολυφαινολικών ενώσεων, των σακχάρων, των καροτενοειδών και των πτητικών ενώσεων.

2.2.2 Βερίκοκα

Το βερίκοκο είναι ένα πυρηνόκαρπο φρούτο πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, όπως υδατάνθρακες, γεγονός που το καθιστά πολύτιμη πηγή φυτικών ινών, μετάλλων και βιταμινών. Στα 100g φρέσκου βερίκοκου περιέχονται 86,3g νερό στο εδώδιμο τμήμα του, 6,8g υδατάνθρακες, 0,4g πρωτεΐνες και 0,1g λιπίδια (Fратиanni et al. 2018). Εκτός απ' αυτά, επίσης, υπάρχουν και δευτερογενείς μεταβολίτες, οι οποίοι λειτουργούν ως αντιοξειδωτικά. Μεταξύ των άλλων φρούτων του γένους Prunus, τα βερίκοκα είναι από τα πιο πλούσια σε υδατάνθρακες, φυτικών ινών, μετάλλων (κυρίως κάλιο αλλά και σίδηρο, φώσφορο, ασβέστιο) και βιταμινών (θειαμίνη, ριβοφλαβίνη, νιασίνη, βιταμίνη C και βιταμίνη A). Τέλος, το βερίκοκο

αποτελεί μια συμπυκνωμένη πηγή φυτοχημικών που είναι βιολογικά ενεργά (Leccese et al., 2011).

Πίνακας 3. Η χημική σύσταση του βερίκοκου (Fратиanni et al. 2018)

Θρεπτικά συστατικά	Περιεκτικότητα σε 100g φρέσκου φρούτου
Νερό (g)	86,3
Πρωτεΐνες (g)	0,4
Λιπίδια (g)	0,1
Φυτικές ίνες (g)	1,5
Διαλυτές φυτικές ίνες (g)	0,71
Αδιάλυτες φυτικές ίνες (g)	0,83
Υδατάνθρακες (g)	6,8
Συνολικά σάκχαρα (g)	6,8
Ενέργεια (kJ)	117
Νάτριο (mg)	1
Κάλιο (mg)	320
Σίδηρος (mg)	0,5
Φώσφορος (mg)	16
Ασβέστιο (mg)	16
Θειαμίνη, B ₁ (mg)	0,03
Ριβοφλαβίνη, B ₂ (mg)	0,03
Νιασίνη, B ₃ (mg)	0,5
Βιταμίνη C (mg)	13
Βιταμίνη A, RAE (μg)	360

Το βερίκοκο είναι μια σχετικά συμπυκνωμένη πηγή υδατανθράκων σε σύγκριση με άλλα πυρηνόκαρπα φρούτα. Τα φρέσκα βερίκοκα έχουν μεταξύ 10 – 13% υδατάνθρακες και περίπου 9 g συνολικής ζάχαρης ανά 100 g βάρους φρούτου. Υπάρχει μία ποικιλία σακχάρων, συμπεριλαμβανομένης της γλυκόζης, της φρουκτόζης, της σακχαρόζης και της σορβιτόλης (D-γλυκιτόλη). Η κύρια ζάχαρη στα βερίκοκα, ωστόσο, είναι η σακχαρόζη (4 g/100 g βάρους φρούτου). Τα αναγωγικά και μη αναγωγικά σάκχαρα περιέχονται στα βερίκοκα σε ποσοστό 3,73% και 5,71%, αντίστοιχα. (Leccese et al., 2007).

Η συγκέντρωση υδατανθράκων στα φρέσκα βερίκοκα κυμαίνεται από 11-13%, παρέχοντας 50 kcalς ενέργειας ανά 100g σε βάση νωπού βάρους. Τα βιοδραστικά φυτοχημικά συστατικά των βερίκοκων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο

βιολογικό σύστημα και συμβάλλουν στην πρόληψη των οξειδωτικών καταπονήσεων (Leccese et al., 2011).

Τα βερίκοκα περιέχουν μια ποικιλία οργανικών οξέων, με το μηλικό οξύ να είναι το πιο άφθονο μετά από το κιτρικό οξύ. Άλλα οργανικά οξέα που περιλαμβάνονται στα βερίκοκα είναι το γαλακτικό, το οξαλικό, το φουμαρικό και το γλυκερικό. Επιπλέον, τα βερίκοκα περιέχουν φαινολικά οξέα όπως κινικό, άπαχο, χλωρογενικό και καφεϊκό (Hasib et al., 2002). Ο καρπός περιέχει οργανικά οξέα, όπως μηλικό οξύ (500-900mg/100g) και κιτρικό οξύ (30-50mg/100g) ως κύρια οξέα (Gurrieri et al., 2001), ενώ υπάρχουν αναφορές για την παρουσία και άλλων οξέων, όπως τρυγικό, γλυκόξινο, οξαλικό, γαλακτουρονικό, κινικό, μηλονικό, οξικό και φουμαρικό οξύ (Hasib et al., 2002).

Το βερίκοκο έχει σημαντική ποσότητα αζωτούχων ενώσεων (1,5%), με το 75% αυτών να αντιπροσωπεύει το πρωτεϊνικό κλάσμα. Το ασπαρτικό οξύ είναι το πιο άφθονο αμινοξύ, ακολουθούμενο από το γλουταμινικό οξύ. Τα αμινοξέα που περιέχουν θείο υπάρχουν σε μικρές ποσότητες (Gurrieri et al., 2001). Το βερίκοκο, επίσης, είναι καλή πηγή διαιτητικών ινών, περιέχοντας περίπου 1,5-2,4g ανά 100g σε βάση νωπού βάρους. Ακόμα, τα βερίκοκα είναι πλούσια σε βασικά μέταλλα, όπως κάλιο, φώσφορο, ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο και σελήνιο (Ali et al., 2011).

Άλλο ένα σημαντικό συστατικό που περιέχουν τα βερίκοκα είναι οι βιταμίνες. Αποτελούν καλή πηγή διαφόρων βιταμινών, συμπεριλαμβανομένης της προ-βιταμίνης A, των βιταμινών C, K, E, της θειαμίνης (B1), της ριβοφλαβίνης (B2), της νιασίνης (B3), της πυριδοξίνης (B6), του φολικού οξέος (B9) και του παντοθενικού οξέος.

Όπως και άλλα φρούτα, τα βερίκοκα είναι επίσης χαμηλά σε λιπαρά. Η περιεκτικότητα σε λιπαρά των βερίκοκων είναι περίπου 0,9 g ανά 100 g βάρους καρπού. Από αυτό, περίπου 0,2 g αποτελείται από μονοακόρεστα τριγλυκερίδια, ενώ η ποσότητα των κορεσμένων λιπαρών που υπάρχουν είναι αμελητέα. Τα κύρια λιπαρά οξέα που βρίσκονται στα βερίκοκα είναι το παλμιτικό, το ελαϊκό και το λινολεϊκό, με το λινολεϊκό οξύ να είναι το πιο άφθονο με 76 mg ανά 100 g φρούτου (Femenia et al., 1995).

Ενώ η σάρκα του βερίκοκου περιέχει μικρές ποσότητες πρωτεϊνών και λιπών, ο πυρήνας του βερίκοκου είναι πλούσιος και στα δύο, περιέχοντας περίπου 20-30% πρωτεΐνες και 40-52% λίπος (Alpaslan et al., 2006). Η μέση περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες στους καρπούς βερίκοκου κυμαίνεται από 1,4-2,0%, ενώ η περιεκτικότητα σε λίπος κυμαίνεται από 0,4-0,6%. Οι σπόροι βερίκοκου, από την άλλη πλευρά, έχουν περιεκτικότητα σε λάδι που κυμαίνεται από 40-52%, το οποίο είναι πλούσιο σε ακόρεστα λιπαρά οξέα (Alpaslan et al., 2006).

Τα καροτενοειδή και οι πολυφαινόλες, που είναι φαινολικά οξέα και флаβονοειδή, παίζουν σημαντικό ρόλο στη γεύση, το χρώμα και τη διατροφική αξία των βερίκοκων (Dragovic-Uzelac et al., 2007).

Αναλυτικότερα, τα βερίκοκα είναι μια πλούσια πηγή καροτενοειδών, τα οποία είναι λιποδιαλυτές χρωστικές. Αυτά τα καροτενοειδή, όπως το β-καροτένιο, το α-καροτένιο, το γ-καροτένιο και το λυκοπένιο, δρουν ως αντιοξειδωτικά, προστατεύοντας τα κύτταρα από οξειδωτική βλάβη. Μεταξύ αυτών των καροτενοειδών, το β-καροτένιο είναι το πιο άφθονο, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 50% της συνολικής περιεκτικότητας σε καροτίνη στα βερίκοκα. Επιπλέον, μικρές ποσότητες άλλων καροτενοειδών όπως η β-κρυπτοξανθίνη, η λουτεΐνη, το φυτόνιο, το φυτοφλουένιο και η ζεαξανθίνη μπορούν επίσης να βρεθούν στα βερίκοκα. Η κατανάλωση τριών μεσαίου μεγέθους βερίκοκων μπορεί να παρέχει περίπου το 50% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης β-καροτίνης (Kalyoncu et al., 2009).

Επιπλέον, η παρουσία ενώσεων όπως το λιμονένιο, το π-κινένιο, η α-τερπινεόλη, το γεράνι και η λιναλοόλη δίνει στα βερίκοκα το μοσχομυριστό τους άρωμα φρούτων. Αυτό το αρωματικό προφίλ προσθέτει στην αισθητηριακή εμπειρία κατά την κατανάλωση βερίκοκων.

Οι φαινολικές ουσίες είναι βασικές χημικές ουσίες των φυτών που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη λειτουργία των ζωντανών συστημάτων. Οι πολυφαινόλες και τα καροτενοειδή παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω των αντιοξειδωτικών τους ιδιοτήτων και των δυνατοτήτων τους για τη θεραπεία χρόνιων ασθενειών. Η συνολική φαινολική σύνθεση των βερίκοκων έχει εκτιμηθεί ότι κυμαίνεται μεταξύ 50 και 563 mg GAE/100 g σε βάση νωπού βάρους. Ωστόσο, ορισμένα φαινολικά συστατικά μειώνονται με την ωρίμανση των καρπών (Η συγκέντρωσή τους συνήθως αυξάνεται με την ωρίμανση των καρπών και φτάνει στη μέγιστη συσσώρευσή της στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης) (Dragovic-Uzelac et al., 2007).

Μια άλλη ομάδα φυτοθρεπτικών συστατικών που βρίσκεται σε αφθονία στα φυτά είναι οι πολυφαινόλες. Αυτοί οι δευτερογενείς μεταβολίτες παράγονται από τα φυτά ως αμυντικός μηχανισμός έναντι ξένων εισβολέων. Στα βερίκοκα, διάφορες φαινολικές ενώσεις συμβάλλουν στη γεύση του φρούτου. Αυτά περιλαμβάνουν υδροξυβενζοϊκό οξύ, υδροκουμαρίνες, υδροκινναμικό οξύ, προανθοκυανιδίνες, ανθοκυανιδίνες, флаβανόνες, флаβόνες και флаβονόλες (Fatima et al., 2018).

Τα βερίκοκα περιέχουν διάφορα φαινολικά οξέα, συμπεριλαμβανομένων των παραγώγων χλωρογενικού, νεοχλωρογενικού, ισοχλωρογενικού, καφεϊκού, β-κουμαρικού, p-κουμαρικού και φερουλικού οξέος. Αυτές οι ενώσεις βρίσκονται συνήθως στα βερίκοκα. Η συνολική περιεκτικότητα των φρέσκων βερίκοκων σε флаβονοειδή έχει βρεθεί ότι κυμαίνεται από 1,00 έως 12,00 mg ανά 100g . Τα κύρια

φλαβονοειδή στα βερίκοκα είναι οι φλαβανόλες, οι ανθοκυανίνες και οι φλαβονόλες. Οι κατεχίνες έχουν αναγνωρισθεί ως η πιο διαδεδομένη φαινολική ένωση στα βερίκοκα από την Τουρκία. Ομοίως, τα βερίκοκα από την Κροατία βρέθηκε ότι περιέχουν χλωρογενικό οξύ ως την κύρια φαινολική ένωση. Τα φλαβονοειδή στα βερίκοκα υπάρχουν κυρίως ως γλυκοζίτες και ρουτινοσίδες της κερκετίνης, της καεμφερόλης και της ρουτίνης (Dragovic-Uzelac et al., 2007).

Όταν πρόκειται για φρούτα πλούσια σε καροτενοειδή, τα βερίκοκα είναι μεταξύ των φρούτων με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε αυτά και συγκεκριμένα σε β-καροτένιο που κυμαίνεται μεταξύ 2,00-20,77mg/100g (Ali et al., 2011). Τα κύρια καροτενοειδή που βρίσκονται στα βερίκοκα είναι το β-καροτένιο, το γ-καροτένιο και το λυκοπένιο, με το β-καροτένιο να αποτελεί περισσότερο από το 50% των συνολικών καροτενοειδών. Άλλα καροτενοειδή που υπάρχουν στα βερίκοκα περιλαμβάνουν τη β-κρυπτοξανθίνη, τη λουτεΐνη, το φυτοένιο, το φυτοφλουένιο και τη ζεαξανθίνη. Το πορτοκαλί χρώμα των βερίκοκων μπορεί να αποδοθεί στην αφθονία του β-καροτενίου, το οποίο χρησιμεύει ως πρόδρομος της βιταμίνης A (Ruiz et al., 2005).

Τα βερίκοκα μπορούν να χρησιμεύσουν ως εξαιρετική διατροφική πηγή β-καροτενίου, του κύριου καροτενοειδούς που συμβάλλει στο πορτοκαλί χρώμα του φρούτου. Στην πραγματικότητα, 250 γραμμάρια φρέσκων βερίκοκων ή 30 γραμμάρια αποξηραμένων βερίκοκων μπορούν να παρέχουν επαρκή ποσότητα καροτενοειδών για την κάλυψη των αναγκών του οργανισμού σε βιταμίνη A (Marty et al., 2005). Ως εκ τούτου, τα βερίκοκα μπορούν να θεωρηθούν σημαντική πηγή προ-βιταμίνης A στη διατροφή του ατόμου.

2.3 Οφέλη για την υγεία

2.3.1 Ροδάκινα

Ο καρπός του ροδάκινου είναι πλούσιος σε θρεπτικά συστατικά, τα οποία είναι απαραίτητα για την διατήρηση της ανθρώπινης υγείας, όπως βιταμίνες, μέταλλα και άλλες βιοδραστικές ουσίες. Η υψηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, ενισχύει ένα υγιές πεπτικό σύστημα. Ακόμα, περιέχονται ουσίες, οι οποίες βοηθάνε στη μείωση των επιπέδων τριγλυκεριδίων και χοληστερόλης, καθώς και παράγοντες κινδύνου για καρδιαγγειακές παθήσεις, όπως η υπέρταση. Μπορεί να βοηθήσουν στη μείωση των αλλεργικών αντιδράσεων που παράγει το σώμα σας ως αποτέλεσμα των αλλεργιογόνων. Τέλος, έχουν την δυνατότητα να αυξήσουν το ανοσοποιητικό, να αποτοξινώσουν το σώμα και να μειώσουν τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα.

Η αντιοξειδωτική δράση των ροδάκινων είναι η εντονότερη μεταξύ των πυρηνόκαρπων φρούτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στις πολυφαινόλες, και

συγκεκριμένα στα χλωρογενικά και νεοχλωρογενικά οξέα. Το χολογενικό οξύ, το οποίο σχηματίζεται από την αντίδραση μεταξύ καφεϊκού και κινικού οξέος, περιέχει πολλαπλές ομάδες υδροξυλίου που εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες. Επιπλέον, άλλες φαινόλες, όπως γαλλικό οξύ, (+)-κατεχίνη, καφεϊκό οξύ και (-)-επικατεχίνη προστατεύουν τα όργανα από το οξειδωτικό στρες ενισχύοντας τη δραστηριότητα των ενζύμων που δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες (υπεροξειδάση της γλουταθειόνης) και μειώνοντας την παραγωγή μιτοχονδριακών ROS (Brewer, 2011).

Τα σημαντικά οφέλη των ροδάκινων για την υγεία του συνδέονται με μια σειρά από βιοδραστικές ουσίες που λειτουργούν ως φυσικά αντιοξειδωτικά. Αυτές οι ουσίες καταπολεμούν τα είδη των ελεύθερων ριζών που βλάπτουν το DNA, τις πρωτεΐνες και τα λίπη. Οι χημικές ουσίες αυτές καταπραΰνουν τον οργανισμό από διάφορες ασθένειες, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου, των καρδιακών παθήσεων και των προβλημάτων που σχετίζονται με την ηλικία. Για παράδειγμα, η καροτίνη έχει αποδειχθεί ότι προστατεύει από τον καρκίνο του πνεύμονα και του παχέος εντέρου (Noratto et al., 2009).

Μία από τις αιτίες των καρδιαγγειακών θανάτων είναι η αγγειακή αβεστοποίηση, η οποία είναι η εναπόθεση ασβεστίου στις στεφανιαίες αρτηρίες. Η διαδικασία της αβεστοποίησης προκαλεί τη σκλήρυνση των αρτηριών, η οποία εν τέλει αυξάνει τη συστολική αρτηριακή πίεση και την καρδιακή δραστηριότητα. Η αβεστοποίηση οφείλεται στις φυλλοκινόνες, μια ανεπάρκεια βιταμίνης K. Η προθρομβίνη, μια αντιπηκτική πρωτεΐνη, απαιτεί βιταμίνη K για την ενεργοποίηση της και η πρωτεΐνη εξωκυτταρικής μήτρας (MCP) είναι πιο πιθανό να καρβοξυλιωθεί με την παρουσία της βιταμίνης K. Η MCP, η οποία παράγεται από λεία κύτταρα, δεσμεύει ιόντα ασβεστίου στα αγγειακά τοιχώματα εμποδίζοντας τη συσσώρευση ασβεστίου στις αρτηρίες. Η σύνθεση του καρβοξυλιωμένου MGP, μιας βιολογικά ανενεργής πρωτεϊνικής μήτρας, επηρεάζεται από την ανεπάρκεια βιταμίνης K και αδυνατεί να εκτελέσει αποτελεσματικά τη λειτουργία της (Presnell et al., 2002). Η βιταμίνη K, λοιπόν, των ροδάκινων βοηθά στην πρόληψη της αβεστοποίησης, η οποία μειώνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακών θανάτων.

Άλλα δύο συστατικά που χαρακτηρίζονται για τα καρδιαγγειακά πλεονεκτήματα είναι ο σίδηρος και το κάλιο. Η έλλειψη σιδήρου θεωρείται ως σημαντικός παράγοντας κινδύνου που σχετίζονται με τον επιπολασμό της καρδιαγγειακής νόσου. Ωστόσο, η υπερβολική δόση σιδήρου οφείλει να αποφεύγεται, καθώς συμβάλλει στην παραγωγή δραστικών ριζών Οξυγόνου (ROS), η οποία προκαλεί οξειδωτικό στρες και άλλες παθολογικές καταστάσεις, όπως η αθηροσκλήρωση (Bresgen et al. Eckl, 2015). Διατηρώντας την ισορροπία υγρών του σώματος και ρυθμίζοντας τον καρδιακό ρυθμό, η περιεκτικότητα σε κάλιο των ροδάκινων παρουσιάζει επίσης, προστατευτική δράση έναντι των καρδιαγγειακών παθήσεων (Eilat-Adar et al., 2013).

Η πηκτίνη, ένα πολυμερές που απαρτίζεται από μόρια γαλακτουρονικού οξέος συνδεδεμένα με ομοιοπολικούς δεσμούς, χαρακτηρίζεται για την αναστολή της ανάπτυξης του όγκου. Στους ζωικούς οργανισμούς, έχει αποδειχθεί ότι μια προσαρμοσμένη έκδοση του pH της πηκτίνης ελαττώνει αποτελεσματικά τη μετάσταση των καρκινικών κυττάρων του πνεύμονα. Η τροποποιημένη πηκτίνη αποδυναμώνει τη μεσοκυτταρική αλληλεπίδραση, συλλαμβάνοντας τη γαλεκτίνη-3, μια δεσμευτική πρωτεΐνη που εμπλέκεται στην προώθηση της ανάπτυξης και της μετάστασης των καρκινικών κυττάρων (Zhao et al., 2009). Τέλος, αναστέλλοντας τις μεταλλοπρωτεϊνάσες, ο 3-γλυκοσίδης κυανιδίνης των ροδάκινων αποτρέπει τόσο την καρκινική ανάπτυξη (Chen et al., 2006).

Ακόμα, οι βιταμίνες των φρούτων αυτών, παρουσιάζουν ευεργετικές ιδιότητες για την ανθρώπινη υγεία. Τα καροτενοειδή των ροδάκινων, όπως η β-καροτίνη, η α-καροτίνη και η β-κρυπτοξανθίνη είναι πρόδρομοι της βιταμίνης Α. Η βιταμίνη Α είναι απαραίτητη για την διατήρηση της όρασης, με την έλλειψή της να προκαλεί μία ποικιλία οφθαλμικών διαταραχών (Fraser et al., 2004).

Η παρουσία ορισμένων флаβονοειδών στο ροδάκινο, όπως η ρουτίνη ή η κουερκετίνη, βοηθά στην πρόληψη του σχηματισμού θρόμβων, παρουσιάζοντας αντιπηκτικές ιδιότητες. Επιπλέον, οι флаβανόλες των ροδάκινων αναστέλλουν την ενεργοποίηση των αιμοπεταλίων και βελτιώνουν τη λειτουργία των αιμοπεταλίων μετά από ένα μήνα λήψης συμπληρωμάτων (Gil et al., 2002).

Οι φαινολικές ενώσεις του ροδάκινου, και ιδιαίτερα τα флаβονοειδή, είναι γνωστό ότι είναι ευεργετικές για την πρόληψη νευροεκφυλιστικών ασθενειών, όπως το Πάρκινσον και το Αλτσχάιμερ. Αυτές οι ενώσεις έχουν την ικανότητα να διασχίζουν τον αιματοεγκεφαλικό φραγμό. Επηρεάζουν διάφορα μονοπάτια σηματοδότησης στον εγκέφαλο, συμπεριλαμβανομένης της ενεργοποιημένης από μιτογόνο πρωτεϊνικής κινάσης (MAPK), της φωσφοϊνοσιτιδικής 3-κινάσης και των μονοπατιών NF-κB. Ο NF-κB, ειδικότερα, εμπλέκεται στην προώθηση του νευροτροφικού παράγοντα που προέρχεται από τον εγκέφαλο (BDNF), ο οποίος υποστηρίζει την ανάπτυξη και την επιβίωση των νευρώνων και των συνάψεων. Ωστόσο, το NF-κB μπορεί επίσης να συμβάλει στο οξειδωτικό στρες σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου, όπως ο μετωπιαίος λοβός, ο ιππόκαμπος, η παρεγκεφαλίδα και το ραβδωτό σώμα (Macready et al., 2009).

Η φλεγμονή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην σχετιζόμενη με την ηλικία παρακμή του εγκεφάλου και συνδέεται άμεσα με την παρουσία αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS). Είναι ασαφές ότι η φλεγμονή είναι συνέπεια ή αιτία του ROS, καθώς η σχέση μεταξύ των δύο κινείται αμφίδρομα. Με την εμφάνιση της φλεγμονής, τα ενεργοποιημένα μικρογλοιακά κύτταρα παράγουν υψηλά επίπεδα ROS και οδηγούν

σε οξειδωτικό στρες. Αυτό το οξειδωτικό στρες, που προκύπτει από φλεγμονή, σχετίζεται με την ανάπτυξη της νόσου του Πάρκινσον και του Αλτσχάιμερ. Η φλεγμονή σχετίζεται επίσης με την αυξημένη ενεργοποίηση ορισμένων ενώσεων, συμπεριλαμβανομένης της επαγωγίσιμης συνθάσης του μονοξειδίου του αζώτου (iNOS), της ιντερλευκίνης-1β (IL-1β) και του NF-κΒ (Lau et al., 2005).

Οι κατεχίνες έχουν την ικανότητα να χηλιώνουν τα μέταλλα και να δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες, ενώ εκτός από αυτό φαίνεται να εμπλέκονται αλλαγές στα μονοπάτια κυτταρικής σηματοδότησης και επιβίωσης, καθώς η επιγαλλοκατεχίνη προτάθηκε ότι έχει αντι-αποπτωτικό ρόλο σε ορισμένες περιοχές του εγκεφάλου (Mandel et al., 2004).

2.3.2 Βερίκοκα

Τα βερίκοκα χαρακτηρίζονται για την μακρά ιστορία χρήσης τους ως αναλγητικά, ανθελμινθικά, αντιασθματικά, αντιπυρετικά, αντισηπτικά, αντισπασμωδικά, καταπραϋντικά, εμετικά, μαλακτικά, αποχρεμπτικά, καθαρτικά, οφθαλμικά, θωρακικά, τονωτικά και καταπραϋντικά. Τα οφέλη του χυμού βερίκοκου περιλαμβάνουν την αναζωογόνηση των υγρών του σώματος, την απόσβεση της δίψας και την αποτοξίνωση του σώματος, ενώ το έλαιο σπόρων βερίκοκου χρησιμοποιείται για τη θεραπεία του βήχα και άλλων αναπνευστικών παθήσεων. Το πλούσιο διατροφικό προφίλ των βερίκοκων, που περιλαμβάνει φυτοθρεπτικά συστατικά, σακχαρίτες, οργανικά οξέα, μέταλλα και βιταμίνες, πιστεύεται ότι είναι η αιτία των θεραπευτικών τους αποτελεσμάτων (Kan et al., 2010).

Οι οξειδωτικές καταπονήσεις, που προκύπτουν από την παραγωγή αντιδραστικών ειδών οξυγόνου και ελεύθερων ριζών, προκαλούν βλάβες σε μακρομόρια, όπως πρωτεΐνες, λιπίδια και νουκλεϊκά οξέα. Οι συνθήκες αυτές, οδηγούν στην ανάπτυξη χρόνιων διαταραχών, όπως ο καρκίνος, η φλεγμονή, τα έλκη, ο διαβήτης και οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες του καρπού βερίκοκου μπορούν να αποδοθούν στην άφθονη φυτοχημική του σύνθεση. Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι το βερίκοκο έχει τη δυνατότητα να θεωρηθεί λειτουργικό τρόφιμο λόγω της ικανότητάς του να απομακρύνει τις ελεύθερες ρίζες (Leccese et al., 2007).

Δεσμεύοντας τις ελεύθερες ρίζες, οι φαινολικές ουσίες όπως τα υδροξυβενζοϊκά οξέα μειώνουν το οξειδωτικό στρες στα κύτταρα. Λόγω του οξειδοαναγωγικού δυναμικού τους και της παρουσίας ομάδων υδροξυλίου στις θέσεις ορθο και παρά, τα φαινολικά μπορούν να δράσουν ως αναγωγικοί παράγοντες. Αυτές οι φαινολικές ενώσεις εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες σβήνοντας το μεμονωμένο οξυγόνο ή

ενεργώντας ως δότες υδρογόνου, εμποδίζοντας τα ROS να επιτεθούν στους ιστούς και τα όργανα του σώματος. Επιπλέον, οι χηλικοί παράγοντες σιδήρου (όπως η καφεΐνη) αποβάλλουν τον επιπλέον σίδηρο από το σώμα σχηματίζοντας σταθερά, υδατοδιαλυτά σύμπλοκα (Ali et al., 2011).

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε φαινόλες, τα βερίκοκα έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες, προστατεύοντας τους ιστούς και τα κύτταρα από οξειδωτική βλάβη. Τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου (ROS), όπως η ρίζα υπεροξειδίου (O₂), η ρίζα υδροξυλίου (OH) και το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H₂O₂) παράγονται από το οξειδωτικό στρες στα κύτταρα, το οποίο έχει αρνητικό αντίκτυπο στη δομή του DNA, των πρωτεϊνών και των λιπιδίων και βλάπτει τη φυσιολογική τους λειτουργία. Οι ελεύθερες ρίζες παράγονται επίσης από έναν μηχανισμό μεταφοράς ηλεκτρονίων με την παρουσία του σιδήρου στη σιδηρούχα (Fe²⁺) μορφή του. Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στο οξειδωτικό στρες προκαλώντας το σχηματισμό ριζικών ειδών οξυγόνου (ROS) και αντιδραστικών ειδών αζώτου (RNS) περιλαμβάνουν την έκθεση σε ακτινοβολίες UV-B και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες, την κατανάλωση ξενοβιοτικών τροφίμων και τους μηχανισμούς τους (Leccese et al., 2007).

Μια ένωση που προέρχεται από μια ιαπωνική ποικιλία βερίκοκου και ονομάζεται "MK615" έχει επίσης επιδείξει αντικαρκινική δράση έναντι ανθρώπινων καρκινικών κυττάρων του παγκρέατος, καρκινικών κυττάρων του παχέος εντέρου και καρκινικών κυττάρων του ήπατος. Οι σπόροι βερίκοκου, μαζί με άλλους σπόρους από την οικογένεια των πρεμνοειδών, έχουν χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία διαφόρων παθολογικών διαταραχών, όπως το άσθμα, η βρογχίτιδα, το εμφύσημα, η λέπρα, ο καρκίνος του παχέος εντέρου, η λευκοδερμία και ο πόνος (Chang et al., 2005)

Τα αντιοξειδωτικά συστατικά του βερίκοκου, όπως τα φαινολικά συστατικά και καροτενοειδή, είναι αποτελεσματικά στην καταπολέμηση των στεφανιαίων καρδιακών παθήσεων (ΣΚΠ). Τα βερίκοκα περιέχουν φαινολικές ενώσεις όπως το χλωρογενικό οξύ, το β-καροτένιο και το λυκοπένιο, οι οποίες εμποδίζουν την οξείδωση της λιποπρωτεΐνης χαμηλής πυκνότητας (LDL) και έτσι βελτιώνουν την αντιοξειδωτική κατάσταση του οργανισμού (Chang et al., 2006).

Τέλος, τα βερίκοκα αποτελούν πλούσια πηγή φυτικών ινών, τόσο διαλυτών όσο και αδιάλυτων (Ishaq et al., 2009). Οι διαλυτές φυτικές ίνες είναι γνωστό ότι μειώνουν την LDL χοληστερόλη, δεσμεύοντας τα χολικά οξέα ή τη χοληστερόλη κατά το σχηματισμό ενδοκοιλιακών μικκυλίων, μειώνοντας έτσι την περιεκτικότητα σε χοληστερόλη στα ηπατικά κύτταρα και αυξάνοντας την κάθαρση της LDL χοληστερόλης (Aller et al., 2004).

3. Ξήρανση

3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Στον τομέα της τεχνολογίας τροφίμων αναζητούνται συνεχώς τεχνικές για την επεξεργασία ωμών φρούτων και λαχανικών με σκοπό να διατηρείται η θρεπτική τους αξία. Οι μέθοδοι αυτοί, αποσκοπούν στη παραγωγή ελκυστικών τροφίμων εμπλουτισμένων με συστατικά, τα οποία υποβαθμίζονται κατά τις παραδοσιακές μεθόδους θέρμανσης και μηχανικής επεξεργασίας και μπορούν να προστεθούν στα τρόφιμα σκόπιμα για να ενισχύσουν τα θρεπτικά τους χαρακτηριστικά. Επομένως, έχουν αναπτυχθεί καινοτόμοι μέθοδοι ξήρανσης που αυξάνουν την διάρκεια ζωής των τροφίμων (Kowalska, 2005).

Η ξήρανση είναι μια διεργασία που χρησιμοποιείται αρκετά στην σύγχρονη βιομηχανία τροφίμων. Χαρακτηρίζεται ως μια προαιρετική τελική βαθμίδα μια σειράς διαδικασιών με το προϊόν να χαρακτηρίζεται για την εξαιρετική ποιότητα στην τελική συσκευασία. Ο όρος ξήρανση στερεών χρησιμοποιείται για να περιγράψει την απομάκρυνση μικρή ποσότητα πτητικής ουσίας (νερού) από την στερεά φάση με την προσφορά θερμότητας για την παραγωγή αφυδατωμένων τροφίμων. Η εξατμιζόμενη ουσία απομακρύνεται με ένα ρεύμα αέρα (μέσο ξήρανσης) και λαμβάνει χώρα μια ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας. Επομένως, η ξήρανση είναι μια διεργασία κατά την οποία πραγματοποιούνται ταυτόχρονα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας μεταξύ στερεών και αδρανών αερίων ή κενού και παρουσιάζεται μια ελάττωση της αρχικής περιεκτικότητας νερού από μια αρχική τιμή σε μια χαμηλή τελική τιμή.

3.2 Καταστάσεις περιεχόμενου νερού

Το νερό παίζει καθοριστικό ρόλο στη χημική και μικροβιολογική σταθερότητα των τροφίμων, καθώς και στην επιρροή της οργανοληπτικής αντίληψης των καταναλωτών (Blanda et al., 2009).

Το νερό που εντοπίζεται στα τρόφιμα και απορρίπτεται με την διεργασία της εξάτμισης βρίσκεται σε δύο μορφές: ως ελεύθερο νερό και ως δεσμευμένο νερό. Ελεύθερο νερό χαρακτηρίζεται το νερό που περιέχεται στις απομακρυσμένες περιοχές από τα μη υδατικά συστατικά του τρόφιμου, δηλαδή είναι παγιδευμένο σε τριχοειδής πόρους. Επομένως, όσο μειώνονται οι τριχοειδείς πόροι τόσο μειώνεται η τάση ατμών του, δηλαδή η πίεση που ασκούν ατμοί του νερού όταν το νερό βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του. Αντίθετα, το δεσμευμένο νερό είναι αυτό που βρίσκεται στις κοντινές περιοχές στα μη υδατικά συστατικά του προϊόντος. Η ποσότητα του δεσμευμένου νερού δεν είναι ίδια σε όλα τα είδη τροφίμων. Το

δεσμευμένο νερό διακρίνεται ανάλογα με το βαθμό δέσμευσης του στις παρακάτω βαθμίδες:

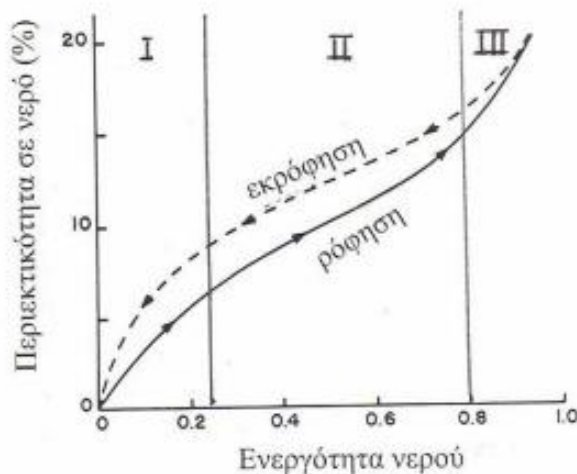
- Στο ισχυρά δεσμευμένο νερό ή μονομοριακό στρώμα νερού, το οποίο αποτελεί τμήμα των μη υδατικών συστατικών, όπως αυτό που είναι ροφημένο σε υδρόφιλα, φορτισμένα ή πολικά συστατικά του τροφίμου (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες).
- Στο γεινιάζον νερό, που καταλαμβάνει τα στρώματα, τα οποία συνδέονται με τα μη υδατικά συστατικά και ενώνεται κυρίως με τις ιοντικές ομάδες αυτών των συστατικών.
- Στο πολυστρωματικό νερό, το οποίο καλύπτει τα αμέσως επόμενα στρώματα μετά από αυτά που περιέχουν το γεινιάζον νερό και δεν είναι τόσο ισχυρά συνδεδεμένο, καθώς συνδέεται με δεσμούς υδρογόνου.

Οι ιδιότητες του ελεύθερο νερού και του δεσμευμένου νερού διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό και δεν σχετίζονται με αυτές του συνολικού νερού στο τρόφιμο. Ως σημείο πήξης του ελεύθερου νερού ορίζεται η θερμοκρασία που είναι μικρότερη των 0 °C και εξαρτάται από την συγκέντρωση των διαλυμένων συστατικών, ενώ το δεσμευμένο νερό διατηρείται σε υγρή κατάσταση μέχρι και τους -40 °C. Αντίστοιχα, το ελεύθερο νερό μπορεί να δράσει ως διαλύτης προστιθέμενων ουσιών σε αντίθεση με το δεσμευμένο νερό που δεν διαθέτει διαλυτική ικανότητα και το πολυστρωματικό νερό που έχει μικρή διαλυτική ικανότητα.

Ο βαθμός δέσμευσης του νερού στην εσωτερική δομή του τροφίμου καθορίζει την απομάκρυνση του νερού. Όσο πιο ισχυρά είναι συνδεδεμένο το νερό τόσο δυσκολότερη είναι η αφαίρεση του. Άρα, το ελεύθερο νερό απομακρύνεται ευκολότερα με θερμότητα εξάτμισης ίση με αυτή του καθαρού νερού. Στη συνέχεια, το πολυστρωματικό νερό απομακρύνεται δυσκολότερα και εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερη θερμότητα εξάτμισης από αυτή του καθαρού νερού. Το γεινιάζον νερό είναι το αμέσως επόμενο που εξατμίζεται με αυξημένη θερμότητα εξάτμισης. Τέλος, το νερό που είναι τμήμα των μη υδατικών συστατικών απομακρύνεται δυσκολότερα.

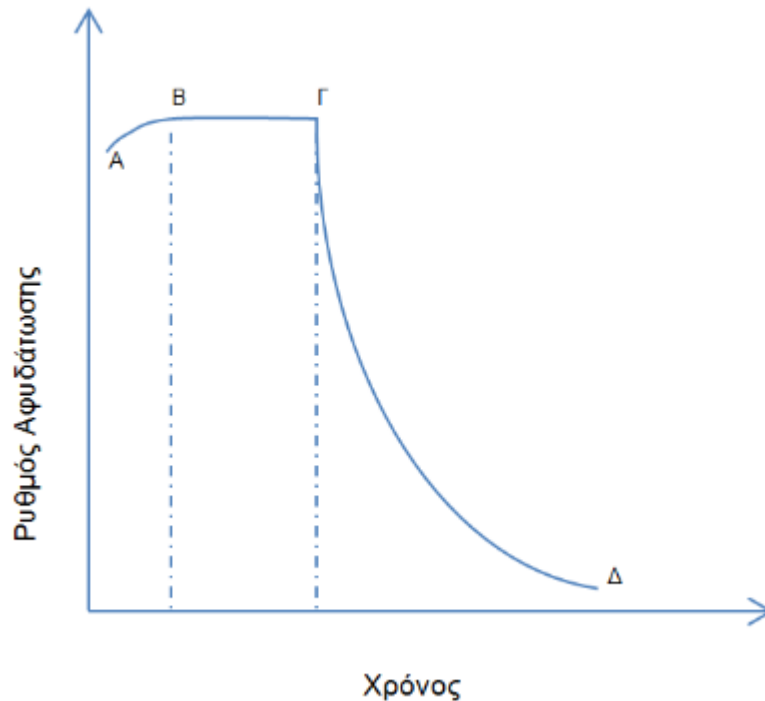
Άλλη μια ιδιότητα που καθορίζεται από βαθμό δέσμευσης του νερού είναι η δράση και ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Για την δημιουργία μικροοργανισμών, το πολυστρωματικό νερό και το ελεύθερο νερό είναι μερικώς και πλήρως διαθέσιμα, αντίστοιχα. Από την άλλη πλευρά, το γεινιάζον νερό και το νερό που αποτελεί μέρος των μη υδατικών συστατικών δεν διευκολύνουν την μικροβιακή ανάπτυξη. Από αυτήν την άποψη, η ενεργότητα του νερού, δηλαδή ο βαθμός συγκράτησης του νερού μέσα στο τρόφιμο καθορίζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και από αυτήν η σταθερότητα του τροφίμου. Η ενεργότητα του νερού μπορεί να θωρηθεί και ως δείκτης της σχετική υγρασίας ισορροπίας του τροφίμου. Συνεπώς, η

αποτελεσματικότητα της ξήρανσης ως μια μέθοδος συντήρησης των τροφίμων σχετίζεται με την απομάκρυνση του νερού.



Εικόνα 4. Τυπική ισόθερμη ρόφησης – εκρόφησης ενός τρόφιμου

Η ισόθερμη ρόφησης-εκρόφησης του τρόφιμου χωρίζεται σε τρεις ζώνες - περιοχές (Εικόνα 4). Στην Ζώνη I αντιστοιχεί το μονομοριακό στρώμα νερού και όπως παρατηρείται οι τιμές ενεργότητας νερού δεν ξεπερνούν την τιμή 0.25. Το λιγότερο ισχυρά δεσμευμένο νερό (γεινιάζον νερό) περιέχεται στην Ζώνη II της ισόθερμης ρόφησης με τις τιμές ενεργότητας νερού να κυμαίνονται από 0.25 – 0.75. Στην Ζώνη III κυριαρχεί το ελεύθερο νερό που είναι παγιδευμένο σε τριχοειδής πόρους με μέγιστη τιμή ενεργότητας 1.00. Όσο μειώνεται η ακτίνα των τριχοειδών πόρων τόσο ελαττώνεται η τάση ατμών.



Εικόνα 5. Στάδια ρυθμού αφυδάτωσης

Ο ρυθμός κατά την διεργασία της ξήρανσης δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται στα διάφορα στάδια. (Εικόνα 5). Η καμπύλη ξήρανσης είναι αποτέλεσμα πολλών παραμέτρων όπως από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του τροφίμου, τις παραμέτρους της διεργασίας αλλά και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Η μεταβολή της υγρασίας ως προς τον χρόνο αφυδάτωσης αποτελείται από τρία στάδια : το στάδιο προσαρμογής (ΑΒ), το στάδιο σταθερού ρυθμού αφυδάτωσης (ΒΓ), το στάδιο μειωμένου ρυθμού αφυδάτωσης (ΓΔ). Στο πρώτο στάδιο της προσαρμογής κυριαρχεί η ισορροπία της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας μεταξύ του μέσου ξήρανσης και της επιφάνειας του τροφίμου. Στο στάδιο του σταθερού ρυθμού αφυδάτωσης η επιφάνεια του τροφίμου είναι κορεσμένη με υγρασία, εξαιτίας του μεγαλύτερου ή ίσου ρυθμού μεταφοράς του νερού από το εσωτερικό στην επιφάνεια με αυτόν με τον οποίον εξατμίζεται το νερό από την επιφάνεια του προϊόντος. Άρα, η απομάκρυνση του νερού ελέγχεται από την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια. Στο στάδιο του μειωμένου ρυθμού αφυδάτωσης η επιφάνεια δεν είναι κορεσμένη σε υγρασία, καθώς ο ρυθμός εξάτμισης της υγρασίας από την επιφάνεια είναι μεγαλύτερος από αυτόν της μεταφοράς του νερού στην επιφάνεια. Επομένως, το ελέγχον στάδιο της διεργασίας είναι η εσωτερική μεταφορά υγρασίας προς την επιφάνεια. Το σημείο Γ στο οποίο παρατηρείται αυτή η μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης από το στάδιο σταθερού ρυθμού αφυδάτωσης στο στάδιο μειωμένου ρυθμού αφυδάτωσης ονομάζεται κρίσιμη περιεκτικότητα σε υγρασία και επηρεάζεται τόσο από την αρχική

περιεκτικότητα σε υγρασία του τροφίμου πριν την διεργασία της αφυδάτωσης όσο και από τις συνθήκες ξήρανσης και την γεωμετρία του προϊόντος.

3.3 Μέθοδοι ξήρανσης

Ορισμένες μέθοδοι ξήρανσης επιτρέπουν την παραγωγή αφυδατωμένων προϊόντων τροφίμων με υψηλά διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά αλλά και αυξημένο χρόνο ζωής. Η επιλογή της μεθόδου ξήρανσης ή ο συνδυασμός αυτών είναι καθοριστικής σημασίας και εξαρτάται από πολλούς βασικούς παράγοντες, όπως:

- Τα χαρακτηριστικά των φρέσκων προϊόντων που πρόκειται να ξηραθούν
- Το επιθυμητό τελικό επίπεδο υγρασίας
- Η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων
- Η τελική χρήση των προϊόντων
- Το κόστος κεφαλαίου και επεξεργασίας
- Η ενεργειακή κατανάλωση

Οι μέθοδοι ξήρανσης ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στην αδιαβατική ξήρανση και στην μη αδιαβατική ξήρανση. Στους μη διαβατικούς ξηραντήρες το προς εξέταση τρόφιμο ακτινοβολείται ή έρχεται σε επαφή με μια επιφάνεια και πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του τροφίμου, η υγρασία του προϊόντος απομακρύνεται με την εφαρμογή κενού ή με την με την χρήση κάποιου αερίου. Στους αδιαβατικούς ξηραντήρες, αντιθέτως ένα ρεύμα αέρα προσφέρει την θερμότητα ξήρανσης και απάγει το νερό που εξατμίζεται.

Οι αδιαβατικοί ξηραντήρες διακρίνονται στους ξηραντήρες με αιώρηση μικρών σταγονιδίων προϊόντος σε ρεύμα αέρα και στους ξηραντήρες με ρεύμα αέρα, το οποίο μεταφέρεται πάνω από την επιφάνεια του τροφίμου. Στους ξηραντήρες με αιώρηση σε ρεύμα αέρα περιλαμβάνονται οι ξηραντήρες ρευστοστερεάς κλίνης, οι ξηραντήρες με ψεκασμό και οι ξηραντήρες πνευματικής μεταφοράς. Στους ξηραντήρες με ρεύμα αέρα το τρόφιμο μπορεί να μελετάται ακίνητο πάνω σε ειδικές κατασκευές (ράφια) (σήραγγες ξήρανσης, θάλαμοι ξήρανσης,) ή να μετακινείται μέσα στον ξηραντήρα (περιστρεφόμενοι ξηραντήρες, ξηραντήρες με μεταφορική ταινία).

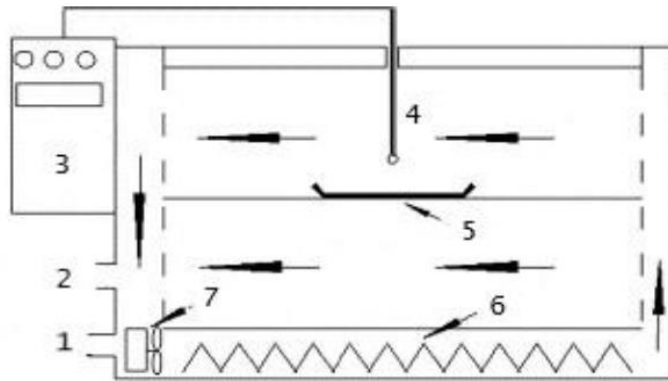
Οι μη αδιαβατικοί ξηραντήρες που εφαρμόζονται για την αφυδάτωση τροφίμων στην βιομηχανία χωρίζονται σε ξηραντήρες κενού, σε ξηραντήρες τυμπάνου και σε θαλάμους ξήρανσης υπό κατάψυξη.

Μεταξύ των μεθόδων που αναλύθηκαν παραπάνω, αυτές που εφαρμόζονται σε βιομηχανική κλίμακα είναι η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, η ξήρανση υπό κατάψυξη, η ξήρανση υπό κενό και η ωσμωτική αφυδάτωση. Παρουσιάζονται αναλυτικά στην συνέχεια.

3.3.1 Ξήρανση σε ρεύμα αέρα

Στην βιομηχανική παραγωγή προϊόντων τροφίμων, η ξήρανση σε θερμό ρεύμα αέρα αποτελεί την πιο κοινή εφαρμοσμένη μέθοδο ξήρανσης κατά την οποία μεταφέρεται θερμότητα και μάζα σε συνδυασμό με την αλλαγή φάσης. Η ξήρανση των φρούτων σε ρεύμα αέρα, με την απομάκρυνση νερού και την μείωση της ενεργότητας, αποτρέπει την ανάπτυξη μικροβιακού πληθυσμών με τα αφυδατωμένα προϊόντα να διακρίνονται για την υψηλή φαινομενική πυκνότητα και το χαμηλό πορώδες τους αλλά και από την εύκολη αποθήκευση και μεταφορά τους. Οι σημαντικότεροι παράμετροι που επηρεάζουν την ξήρανση σε ρεύμα αέρα ενός προϊόντος είναι το μέγεθος του τρόφιμου, καθώς και η θερμοκρασία του θερμού αέρα. Σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες θερμού αέρα, η αφαίρεση νερού επιβάλλει σημαντικές αλλοιώσεις στις διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του τροφίμου, όπως στο χρώμα, στην γεύση, στο άρωμα αλλά και στα θρεπτικό περιεχόμενο του αφυδατωμένου προϊόντος.

Σύμφωνα με μέθοδο ξήρανσης σε ρεύμα αέρα κατά την αφυδάτωση του τροφίμου εισάγεται ο αέρας, στον οποίο έχει πραγματοποιηθεί θέρμανση σε ξηραντήρες ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο θερμός αέρας, επομένως, έρχεται σε άμεση επαφή με το προϊόν τροφίμου και η θερμότητα του μεταδίδεται σ' αυτό μέσω συναγωγής, αλλά και οι υδρατμοί διαφεύγουν από το τρόφιμο στον αέρα με συναγωγή. Η ροή του αέρα μέσα στον ξηραντήρα είναι καθορισμένη, διαπερνώντας το υπό ξήρανση τρόφιμο που είναι τοποθετημένο σε συγκεκριμένες θέσεις. Η θερμοκρασία του αέρα παίρνει τιμές ανάμεσα 40 - 80° C και η ταχύτητα του κυμαίνεται συνήθως από 0,5 - 5 m/s. Τέλος, η διάρκεια της διεργασίας ξήρανσης εξαρτάται από την θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα χωρίς να ξεπερνάει τις 20h (Aversa et al. 2007).

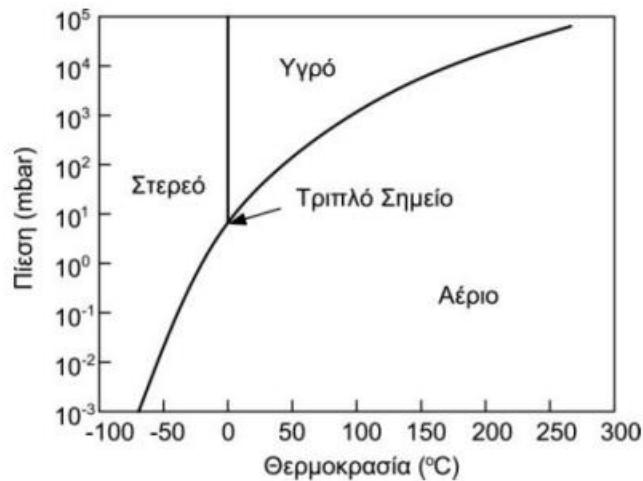


Εικόνα 6. Θάλαμος ξήρανσης με ρεύμα αέρα (Wang et al., 2007)

3.3.2 Ξήρανση Υπό Κατάψυξη

Η βιομηχανική εφαρμογή της ξήρανση υπό κατάψυξη ή λυοφιλίωση παρατηρήθηκε πρώτη φορά για την παραγωγή ανθρώπινου ξηρού πλάσματος και στην συνέχεια για την ξήρανση αντιβιοτικών και βιολογικών υλικών. Στην σύγχρονη εποχή, χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων υψηλών προδιαγραφών, όπως φαρμακευτικά σκευάσματα, τρόφιμα με υψηλά ποσοστά πρωτεϊνών και πτητικών ουσιών και ευαίσθητων στην ενζυμική αμαύρωση (φρούτα, λαχανικά κ), καθώς χαρακτηρίζεται ως η βέλτιστη διεργασία στην παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Η ξήρανση υπό κατάψυξη είναι μια μέθοδος κατά την οποία πραγματοποιείται εξάχνωση του πάγου από ένα καταψυγμένο προϊόν. Το προς ξήρανση υλικό αρχικά υφίσταται μια κατάψυξη και επακολουθεί μεταφορά θερμότητας στο προϊόν με μειωμένη απόλυτη πίεση μικρότερης των 620 Pa, η οποία προκαλεί εξάχνωση των κρυστάλλων πάγου (Εικόνα 7.). Το ξηρό προϊόν που παράγεται είναι λυόφιλο, δηλαδή έχει την τάση να ενυδατώνεται ταχύτατα. Η ξήρανση υπό κατάψυξη επιτυγχάνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προϊόντα εξαιρετικής ποιότητας, λόγω έλλειψης των μικροβιολογικών αντιδράσεων.



Εικόνα 7. Διάγραμμα φάσεων νερού (Roos, 1995)

Οι ξηραντήρες ασυνεχούς λειτουργίας είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται για την ξήρανση υπό κατάψυξη. Αρχικά, το καταψυγμένο τρόφιμο υπό την εφαρμογή κενού εισάγεται στα ράφια του ξηραντήρα. Μια εναλλακτική λύση είναι η κατάψυξη του τροφίμου στο εσωτερικό του ξηραντήρα με την εφαρμογή υψηλού κενού και την απομάκρυνση της υγρασίας του προϊόντος. Η μεταφορά θερμότητας στο προϊόν επιτυγχάνεται μέσω αγωγής και ακτινοβολίας από τα ράφια του ξηραντήρα και συναγωγή με το θερμό αέρα. Εσωτερικά από τα ράφια διέρχεται νερό υψηλής θερμοκρασίας. Με την βοήθεια ατμοπαγίδων μέσα στον θάλαμο ξήρανσης δεσμεύονται οι υδρατμοί που παράγονται. Η πίεση ρυθμίζεται από μια αντλία κενού και από την θερμοκρασία της ατμοπαγίδας.

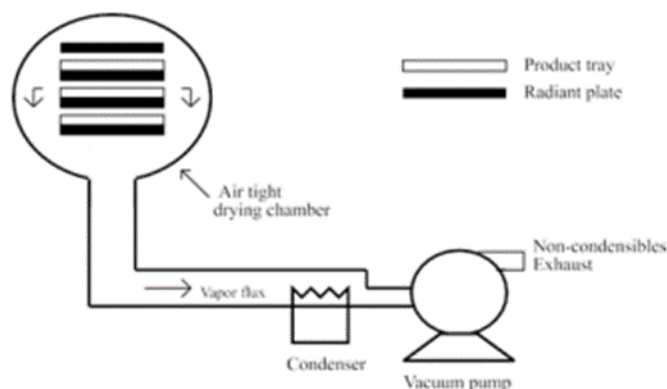
Η ξήρανση του τροφίμου ξεκινάει από τις επιφάνειες που είναι εκτεθειμένες στην θερμότητα και κατευθύνεται προς το εσωτερικό του. Η εξάχνωση πραγματοποιείται στο τμήμα του πάγου και οι υδρατμοί απομακρύνονται από το ξηρό στρώμα προς τον αέρα του θαλάμου ξήρανσης. Τα φαινόμενα μεταφοράς που πραγματοποιούνται κατά την διεργασία της ξήρανσης υπό κατάψυξη είναι η μεταφορά θερμότητας προς την επιφάνεια του τροφίμου και μέσω του ξηρού στρώματος προς τον πάγο και η μεταφορά μάζας μέσω του ξηρού τροφίμου προς την επιφάνεια και εντέλει προς τον αέρα του θαλάμου. Η αντίσταση στη μεταφορά μάζας είναι μικρότερη από την αντίσταση στην μεταφορά θερμότητας καθώς η διεργασία πραγματοποιείται υπό κενό και άρα η θερμότητα μεταφέρεται με μικρούς συντελεστές μεταφοράς με αγωγή και ακτινοβολία. Τέλος, στην μεταφορά θερμότητας η αντίσταση στο εσωτερικό του τροφίμου είναι η μεγαλύτερη εξαιτίας της μικρής θερμικής αγωγιμότητας του τροφίμου.

Τα πλεονεκτήματα της ξήρανση υπό κατάψυξη είναι αρκετά και αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται αρκετά στην βιομηχανία τροφίμων (Liu et al., 2022) :

- Διατήρηση της ποιότητας του τροφίμου (βιολογική αξία, βιταμίνες, χρώμα, γεύση, άρωμα)
- Δυνατότητα παραγωγής νέων δομών και προϊόντων, λ.χ μικροεγκλεισμού βιολογικών μορίων
- Διατήρηση του αρχικού όγκου των προϊόντων
- Δημιουργία μεγάλους πορώδους
- Γρήγορη διεξαγωγή χημικών και άλλων αντιδράσεων στα αποξηραμένα τρόφιμα
- Ταχεία επανενυδάτωση των αποξηραμένων προϊόντων

Τα μειονεκτήματα της ξήρανσης υπό κατάψυξη παρουσιάζονται παρακάτω :

- Τα τρόφιμα με την επανενυδάτωση είναι ρευστά, δεν αποκτούν την υφή και τις μηχανικές ιδιότητες του αρχικού νωπού προϊόντος
- Μεγάλο κόστος και επενδύσεις σε εξοπλισμό
- Μεγάλη ενεργειακή απαίτηση (κατάψυξη των τροφίμων, κενό, κατάψυξη για την εξάχνωση, θέρμανση)



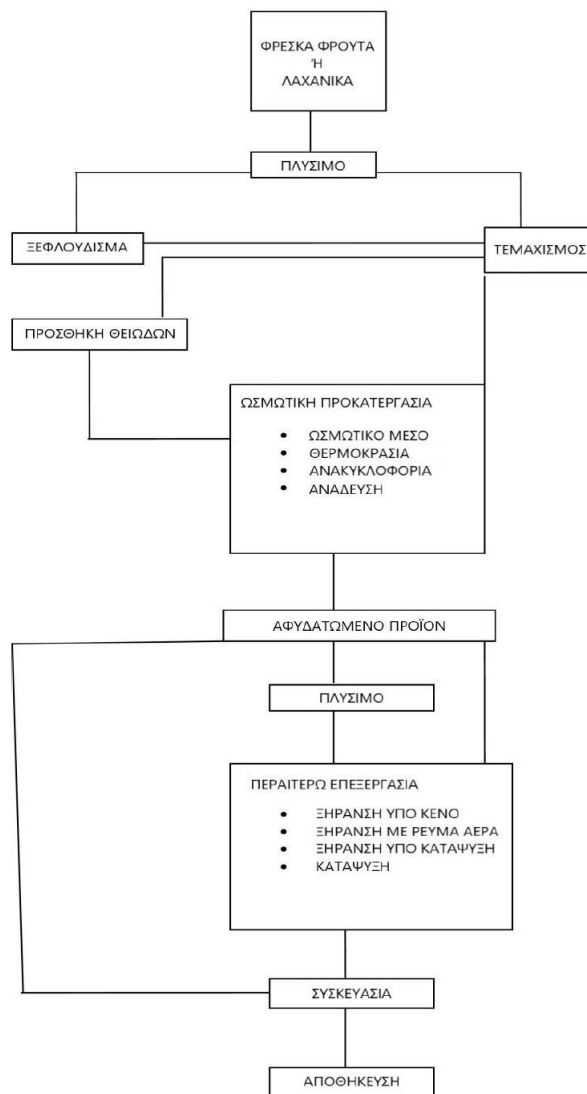
Εικόνα 8. Θάλαμος Ξήρανσης Υπό Κατάψυξη (Millman et al. 1984)

3.4 Ωσμωτική αφυδάτωση

3.4.1 Γενικά

Η ωσμωτική αφυδάτωση χαρακτηρίζεται ως μια διεργασία μερικής αφαίρεσης υγρασίας από το προϊόν τροφίμου, μέσω της εμβάπτισης του σε υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα (με υψηλή ωσμωτική πίεση). Λόγω της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης του τροφίμου πραγματοποιείται μια διαδικασία μεταφοράς πολλαπλών συστατικών, στην οποία το διάλυμα και τα διαλυμένα στερεά ρέουν ταυτόχρονα. Τα δύο φαινόμενα ροών αντίθετης κατεύθυνσης που λαμβάνουν χώρα στην διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης λόγω της διαφοράς ωσμωτικής πίεσης είναι : α) μεταφορά υγρασίας από την εσωτερική μάζα του τροφίμου προς το ωσμωτικό μέσο με ταυτόχρονη αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος και β) διάχυση των στερεών του ωσμωτικού διαλύματος προς το εσωτερικό του τροφίμου, ενισχύοντας την σύσταση του προϊόντος (Ahmed et al., 2016, Raoult-Wack, 1994). Παράλληλα με τα φαινόμενα των δύο διαχύσεων, επιτυγχάνεται δευτερεύουσα μεταφορά οργανικών οξέων, σακχάρων, βιταμινών και μετάλλων προς το ωσμωτικό μέσο, τα οποία συμβάλλουν στην σύνθεση των οργανοληπτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος (Raoult-Wack, 1994).

Το ωσμωτικό μέσο που χρησιμοποιείται συνήθως στην διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι υψηλής συγκέντρωσης σάκχαρο, όπως γλυκόζη, μαλτοδεξτρίνη, δεξτρόζη, υψηλής συγκέντρωσης άλατος, όπως χλωριούχο νάτριο, χλωριούχο ασβέστιο αλλά και υψηλής συγκέντρωσης οξέων, όπως οργανικά οξέα (κιτρικό, ασκορβικό, γαλακτικό, οξικό).



Εικόνα 9. Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Yadav et. al, 2014)

Τα τελικά αποτελέσματα της συγκεκριμένης διεργασίας είναι η παραγωγή προϊόντος με μειωμένη περιεχόμενη υγρασία αλλά και η ενίσχυση του τροφίμου με συστατικά από το ωσμωτικό διάλυμα. Όσον αναφορά την υγρασία του ωσμωτικά αφυδατωμένου προϊόντος, διατηρείται σε αρκετά υψηλό ποσοστό 20-50%, με συνέπεια να επιτυγχάνεται η παραγωγή τροφίμων με ενδιάμεση υγρασία, τα οποία όμως διακρίνονται για αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης. (Panagiotou et al., 1998; Raoult-Wack et al., 1995).

Επομένως, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια μέθοδο προκατεργασίας τροφίμων για άλλες διεργασίες, όπως η ξήρανση υπό κενό, η ξήρανση με κατάψυξη, η ξήρανση με ρεύμα αέρα αλλά και η κατάψυξη. Ο απώτερος σκοπός αυτής της εφαρμογής είναι η ενίσχυση των θρεπτικών, λειτουργικών και οργανοληπτικών

χαρακτηριστικών του τροφίμου, αποφεύγοντας την διάρρηξη στην δομή. Ειδικότερα, η ωσμωτική αφυδάτωση διατηρεί την μικροβιακή σταθερότητα ελαττώνοντας την ενεργότητα των τροφίμων, βελτιώνει την υφή του προϊόντος και την σταθερότητα των χρωστικών ουσιών, ενώ παράλληλα αυξάνει την αναλογία σακχάρου προς οξύ. Τέλος, η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ελαχιστοποιεί το κόστους συσκευασίας, αποθήκευσης αλλά και διανομής και χαρακτηρίζεται ως συμφέρουσα λύση για το χαμηλό ενεργειακό της κόστος.

Σε βιομηχανική κλίμακα, η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι εφικτή μόνο αν εφαρμοστεί η ανακύκλωση του ωσμωτικού διαλύματος. Για να επιτευχθεί αυτό απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο καθαρισμός και η εξυγίανση με τη βοήθεια διάφορων διεργασιών σε συνδυασμό, όπως φιλτράρισμα και παστερίωση συνδιαστικά με την προσθήκη στερεών, με σκοπό το ωσμωτικό μέσο να αποκτήσει την αρχική του σύσταση. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ανακύκλωση των ωσμωτικών διαλυμάτων που απαρτίζονται από περισσότερα από ένα συστατικό, για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας, απαιτείται ο προσδιορισμός των ποσοστών συστατικών αυτών. (Raoult-Wack, 1994)

3.4.2 Μηχανισμός και φαινόμενα μεταφοράς

Η διαφορά της ωσμωτικής πίεσης είναι υπεύθυνη για την απομάκρυνση του νερού από το προϊόν τροφίμου στο ωσμωτικό μέσο (Berk, 2018). Πιο συγκεκριμένα, η κινητήρια δύναμη της διεργασίας της ωσμωτικής επεξεργασίας, η οποία βοηθάει στην μεταφορά μάζας από το τρόφιμο στο ωσμωτικό μέσο και αντίστροφα, διαμέσου κυτταρικού τοιχώματος. (Cánonas Barbosa et. al, 1996).

Τα ημι-εμπειρικά μοντέλα που έχουν επινοηθεί για την ακριβή περιγραφή της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης στηρίζονται στην μικροσκοπική και στη μακροσκοπική θεώρηση. Στη μακροσκοπική θεώρηση, αγνοούνται οι μηχανισμοί που επιτυγχάνονται σε επίπεδο κυττάρου και εφαρμόζεται η παραδοχή της ομογένειας του ιστού του προϊόντος - τρόφιμου. Επομένως, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας της ωσμωτικής επεξεργασίας προσεγγίζονται από μακροσκοπικές σχέσεις που εκφράζουν μακροσκοπικά μεγέθη (απώλεια νερού, πρόσληψη στερεών). Αντίθετα, στην πολυπλοκότερη και ακριβέστερη μικροσκοπική θεώρηση λαμβάνεται υπόψη η ετερογενής φύση του κυτταρικού ιστού τρόφιμου και η ιδιαιτερότητα του εκάστοτε κυττάρου.

Η πιο κοινή χρησιμοποιημένη μέθοδος προσέγγισης των φαινομένων μεταφοράς μάζας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, σύμφωνα με την μικροσκοπική

θεώρηση, βασίζεται στον δεύτερο νόμο διάχυσης του Fick, ο οποίος περιγράφει την διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (\text{Εξίσωση 1})$$

Όπου,

C : η συγκέντρωση (M)

D_e : ο συντελεστής διάχυσης (m^2/s)

x : η χαρακτηριστική απόσταση της διάχυσης (m)

t : ο χρόνος (s)

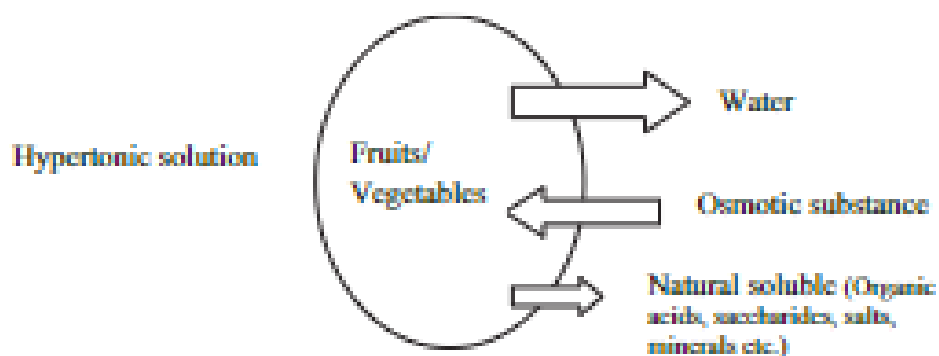
Στον νόμο διάχυσης του Fick, τα φαινόμενα που περιγράφονται είναι η μεταφορά μάζας διαλυτών συστατικών από το στερεό υλικό στον περιβάλλον αλλά και η αντίθετη κατεύθυνση. Οι παραδοχές που υφίστανται είναι η ομοιόμορφη κατανομής της θερμοκρασίας, η σταθερή συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου κατά την ωσμωτική επεξεργασία αλλά και η αμελητέα συνεισφορά της επιφανειακής αντίστασης του υλικού σε σχέση με την εσωτερική αντίσταση του προϊόντος. Απώτερο σκοπό εφαρμογής του νόμου του Fick αποτελεί ο προσδιορισμός των συντελεστών διάχυσης στερεών (D_{es}) και υγρασίας (D_{ew}) προκειμένου να εξηγηθούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας νερού και στερεών. Αρχικά, επιτυγχάνεται ο υπολογισμός της συγκέντρωσης της υγρασίας και των στερεών σε κάθε χρονική στιγμή t της διεργασίας και στην συνέχεια ολοκληρώνονται στις οριακές συνθήκες. Έτσι, διαπιστώνεται ότι ο νόμος του Fick επιφέρει αποτελέσματα σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό με την προϋπόθεση ότι το προϊόν τρόφιμου θεωρείται πορώδη στερεό (Matusek et al., 2002).

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας στην διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης διακρίνονται σε μεμονωμένα στάδια. Στο πρώτο στάδιο, η ωσμωτική πίεση στην επιφάνεια του τροφίμου αυξάνεται λόγω της μεταφοράς του νερού από το εξωτερικό στρώμα του προϊόντος στο ωσμωτικό μέσο. Εφόσον, η ωσμωτική πίεση ξεπεράσει την κρίσιμη τιμή της, στη κυτταρική μεμβράνη δημιουργείται μια ρωγμή και συρρικνώνεται με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η ελάττωση της αναλογίας των κυττάρων που δεν έχουν υποστεί ωσμωτική επεξεργασία. Ωστόσο, η ημιδιαπερατή κυτταρική μεμβράνη δεν είναι επιλεκτική, καθώς οι διαλυμένες ουσίες ρέουν και από το τροφίμου στο υπερτονικό διάλυμα αλλά και από το ωσμωτικό διάλυμα στο προϊόν.

Κατά το δεύτερο στάδιο, τα κύτταρα του πρώτου στρώματος του υλικού τροφίμου έρχονται σε επαφή με το ωσμωτικό διάλυμα και απομακρύνουν το νερό λόγω της βαθμίδας συγκέντρωσης που κυριαρχεί μεταξύ του υπερτονικού

διαλύματος και των κυττάρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση του υλικού. Μετά την απομάκρυνση του νερού από το πρώτο στρώμα, αναπτύσσεται μια διαφορά χημικού δυναμικού νερού μεταξύ των κυττάρων του πρώτου στρώματος και των κυττάρων του δεύτερου στρώματος. Έπειτα, τα κύτταρα του δεύτερου στρώματος προσδίδουν νερό στα κύτταρα του πρώτου στρώματος και συρρικνώνονται. Η μεταφορά μάζας και συρρίκνωσης των εσωτερικών κυττάρων επεκτείνεται από την επιφάνεια προς το κέντρο του τρόφιμου έως τα κύτταρα στο κέντρο του προϊόντος να αφυδατωθούν με την ροή μεταφοράς μάζας να εξισορροπείται. (Ahmed et al., 2016).

Κατά την ωσμωτική επεξεργασία η διάχυση των διαλυμένων ουσιών σε υπερτονικό διάλυμα σακχάρων ή αλάτων προκαλεί την σύνθεση ενός στρώματος στερεών εσωτερικά από την εξωτερική επιφάνεια του τρόφιμου (Collignan et al., 1994). Η δημιουργία της στερεάς στρώσης προκαλεί μείωση της διαφοράς ωσμωτικής πίεσης μεταξύ του προϊόντος και του διαλύματος εμποδίζοντας τη μεταφορά μάζας με το άλας να εισέρχεται στον κυτταρικό ιστό. Επομένως, το διάλυμα άλατος αποτρέπει τον σχηματισμό του στρώματος και επιτρέπει την ανάπτυξη μεγαλύτερων ρυθμών πρόσληψης στερεών και απώλειας νερού. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που η πρόσληψη των στερεών στο εσωτερικό των κυττάρων του τρόφιμου δεν είναι σημαντική στο αρχικό στάδιο της ωσμωτικής αφυδάτωσης, σε αντίθεση με την απώλεια υγρασίας, η οποία επιτυγχάνεται ταχύρρυθμα τις πρώτες ώρες έως ότου τελικά ο ρυθμός μεταφοράς μειώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο ρυθμός μεταφοράς των στερεών να αυξάνεται στο τρόφιμο. (Collignan et al., 1994 ; Ahmed et al. 2016). Το φαινόμενο της ωσμωτικής αφυδάτωσης εφαρμόζεται ώσπου να επέλθει μια υγρή κατάσταση ισορροπίας μεταξύ του του ωσμωτικού διαλύματος και του τροφίμου.



Εικόνα 10. Αναπαράσταση φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Ramya et al., 2016)

Για να εφαρμοστεί μια μαθηματική προσέγγιση ωσμωτικής αφυδάτωσης απαιτείται ο υπολογισμός δύο ποσοτήτων του συνολικού αποτελέσματος της ωσμωτικής αφυδάτωσης : η απώλεια νερού (WL), δηλαδή το ποσοστό του νερού που διαχέεται από το υλικό τροφίμου στο διάλυμα λόγω της διαφοράς ωσμωτικής πίεσης του τροφίμου και του διαλύματος και η πρόσληψη στερεών (SG), δηλαδή η ποσότητα των στερεών που διαχέονται από την διάλυμα στο τρόφιμο μείον την ποσότητα των στερεών του τροφίμου που μετακινούνται στο διάλυμα. Οι ποσότητες αυτές υπολογίζονται από τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (Panagiotou et. al 1998):

- Απώλεια νερού (WL)(g νερού/100g αρχικού βάρους) :

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{M_0} \quad (\text{Εξίσωση 2})$$

- Πρόσληψη στερεών (SG) (g ολικών στερεών/ 100g αρχικού βάρους) :

$$SG = \frac{m - m_0}{M_0} \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

Όπου,

M_0 : το αρχικό βάρος του φρέσκου τροφίμου πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (g)

m_0 : το αρχικό ξηρό βάρος του φρέσκου τροφίμου (g)

M : το βάρος του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής αφυδάτωσης (g)

m : το ξηρό βάρος του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής αφυδάτωσης (g)

3.4.3 Μαθηματική μοντελοποίηση

Έχουν εφαρμοστεί πολυάριθμα εμπειρικά μαθηματικά μοντέλα για την ακριβή περιγραφή της κινητικής των φαινομένων μεταφοράς μάζας (απώλειας νερού και πρόσληψη στερεών) της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Το κύριο πλεονέκτημα των μοντέλων αυτών, είναι ότι δεν περιέχουν περιορισμούς στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, δηλαδή δεν λαμβάνεται υπόψη το σχήμα, το μέγεθος αλλά και η δομή του τροφίμου, καθιστώντας τα πιο απλούστερη λύση. Μάλιστα, τα αποτελέσματα προσαρμογής τους σε αρκετές περιπτώσεις είναι καλύτερα από αυτά του δεύτερου νόμου του Fick. Επιπλέον, για τη εφαρμογή των εμπειρικών μοντέλων

δεν απαιτούνται προϋποθέσεις για τις παραμέτρους της διεργασίας, όπως η συγκέντρωση, η αναλογία βάρους διαλύματος προς τροφίμου και η ανάδευση (Assis et al., 2016).

Το εμπειρικό μοντέλο που επιφέρει πολύ καλά αποτελέσματα στην περιγραφή της κινητικής της μεταφοράς μάζας είναι αυτό των Panagiotou et al. (1998). Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο πρώτης τάξης, η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών αποτελούν μια εκθετική προσέγγιση της απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών σε άπειρο χρόνο διεργασίας, αντίστοιχα.

$$\frac{d(WL)}{dt} = -K_{WL}(WL - WL_e) \quad (\text{Εξίσωση 4})$$

$$\frac{d(SG)}{dt} = -K_{SG}(SG - SG_e) \quad (\text{Εξίσωση 5})$$

Για $t=0$, δεν υπάρχει απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, με την ολοκλήρωση των παραπάνω εξισώσεων προκύπτει ότι :

$$WL = WL_e[1 - \exp(-K_{WL}t)] \quad (\text{Εξίσωση 6})$$

$$SG = SG_e[1 - \exp(-K_{SG}t)] \quad (\text{Εξίσωση 7})$$

Όπου,

WL_e : η απώλεια νερού σε άπειρο χρόνο επεξεργασίας

K_{WL} : η σταθερά ρυθμού απώλειας νερού κατά την διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας

SG_e : η πρόσληψη στερεών σε άπειρο χρόνο επεξεργασίας

K_{SG} : η σταθερά ρυθμού πρόσληψης στερεών κατά την διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας

Η επίδραση των μεταβλητών διεργασίας (συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας, μέγεθος δείγματος φρούτου, θερμοκρασία, χρόνος επεξεργασίας, ανάδευση) στα φαινόμενα μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση περιγράφεται στις ακόλουθες εμπειρικές εξισώσεις :

$$K_{WL} = K_o \left(\frac{C}{100}\right)^{K_c} \left(\frac{T}{100}\right)^{K_T} \left(\frac{d}{10}\right)^{K_d} \left(1 + \left(\frac{u}{100}\right)\right)^{K_u} \quad (\text{Εξίσωση 8})$$

$$K_{SG} = k_o \left(\frac{C}{100}\right)^{k_c} \left(\frac{T}{100}\right)^{k_T} \left(\frac{d}{10}\right)^{k_d} \left(1 + \left(\frac{u}{100}\right)\right)^{k_u} \quad (\text{Εξίσωση 9})$$

$$WL_e = Y_{eo} \left(\frac{C}{100}\right)^{Y_{ec}} \left(\frac{T}{100}\right)^{Y_{eT}} \quad (\text{Εξίσωση 10})$$

$$SG_e = y_{eo} \left(\frac{C}{100}\right)^{y_{ec}} \left(\frac{T}{100}\right)^{y_{eT}} \quad (\text{Εξίσωση 11})$$

Η εκτίμηση όλων των παραμέτρων της μεθόδου πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μη γραμμική παλινδρόμηση μέθοδο ανάλυσης, ξεχωριστά για την απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών κατά την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου απαιτείται μια σειρά παραδοχών (Panagiotou et al., 1998) :

1. Η αρχική συγκέντρωση νερού και σακχάρων στο φρούτο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα.
2. Η ωσμωτική αφυδάτωση θεωρείται μια ισόθερμη διεργασία ισορροπίας.
3. Η αναλογία βάρους ωσμωτικού διαλύματος προς τρόφιμο είναι αρκετά υψηλή καθώς η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος θεωρείται σταθερή.
4. Δεν υπάρχουν σημαντικές διεργασίες διάχυσης εκτός της διάχυσης νερού από το προϊόν στο ωσμωτικό μέσο και της διάχυσης της διαλυμένης ουσίας από το ωσμωτικό διάλυμα στο φρούτο.
5. Οι δύο ροές , η ροή νερού από το προϊόν στο ωσμωτικό διάλυμα και η ροή διαλυμένης ουσίας από το ωσμωτικό μέσο στο φρούτο είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

3.4.4 Παράμετροι Διεργασίας

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του τρόφιμου (ποικιλία, γεωμετρία, δομή, φυσικοχημικές ιδιότητες, ωριμότητα, πρόσθετα), η προεπεξεργασία του φυτικού προϊόντος (μηχανική, χημική) και τα χαρακτηριστικά του ωσμωτικού διαλύματος, οι παράμετροι της διεργασίας, όπως η συγκέντρωση και το μοριακό βάρος του ωσμωτικού μέσου, η αναλογία βάρους ωσμωτικού διαλύματος προς βάρος τροφίμου, ο χρόνος της διεργασίας, η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος, ο ρυθμός ανάδευσης αλλά και η παράλληλη εκτέλεση άλλων τεχνικών, όπως υπερήχων, μικροκυμάτων, παλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο υψηλής έντασης, υπερυψηλή υδροστατική πίεση, υπερκρίσιμη εκχύλιση με διοξείδιο του άνθρακα (Raoult-Wack,

1994; Torreggiani 1993). Στην συνέχεια, αναλύονται κάποιοι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κινητική μεταφορά μάζας της ωσμωτικής αφυδάτωσης :

3.4.4.1 Προεπεξεργασία Τροφίμου

Η προεπεξεργασία του τροφίμου αποτελεί μια βασική παράμετρος για την ταχεία και αποτελεσματική διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η προεπεξεργασία, όπως η λεύκανση, η θείωση, το ζεμάτισμα, η αλκαλική εμβάπτιση, η εφαρμογή υψηλής υδροστατικής πίεσης και κατάψυξης-απόψυξης έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές πριν από την ωσμωτική αφυδάτωση για να μειώσει τις επιβλαβείς αλλαγές στα βιολογικά υλικά που προκαλούνται από τη συμβατική τεχνολογία ξήρανσης. Ο συνδυασμός λεύκανσης και ωσμωτικής προεπεξεργασίας πριν την ξήρανση είχε ως αποτέλεσμα καλύτερη διατροφική ποιότητα και αισθητική αποδοχή. Οι κατεργασίες προεπεξεργασίας του τροφίμου διευκολύνουν την πρόσληψη στερεών και μειώνει τον λόγο απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών, το οποίο εξηγείται από την καταστροφή της επιλεκτικότητας των κυτταρικών τοιχωμάτων του τροφίμου και την αύξηση της διάχυσης ουσιών στο τρόφιμο. Για την περαιτέρω αύξηση του ρυθμού μεταφοράς μάζας εφαρμόζονται οι τεχνολογίες του κενού, των υπερήχων, των μικροκυμάτων, των παλλόμενων ηλεκτρικών πεδίων υψηλής έντασης, της υπερυψηλής υδροστατικής πίεσης, της υπερκρίσιμης εκχύλισης με διοξείδιο του άνθρακα και φυγόκεντρης δύναμης πριν ή παράλληλα της ωσμωτικής επεξεργασίας. Η διαδικασία επιβολής κενού απελευθερώνει τον αέρα που είναι εγκλωβισμένος και βοηθάει στην μεταφορά υγρασίας έξω από το κυτταρικό τοίχωμα του τροφίμου. Αντιθέτως, κατά την διεργασία της εφαρμογής παλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου υψηλής έντασης, αυξάνεται η διαπερατότητα της κυτταρικού τοιχώματος με την αποσύνθεση και μείωση της σκληρότητας του κυτταρικού ιστού. Στο τρόφιμο που επιβάλλεται υπερυψηλή υδροστατική πίεση αυξάνεται επίσης η κυτταρική διαπερατότητα με αποτέλεσμα την έντονη μεταφορά μάζας μέσω της κυτταρικής μεμβράνης και τελικά την μείωση του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης (Ahmed et al. 2016, Biswal et al. 1991)

3.4.4.2 Συγκέντρωση και μοριακό βάρος ωσμωτικού διαλύματος

Με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας γίνονται εντονότερα με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών του τροφίμου, έως ότου αποκατασταθεί ισορροπία. Αυτήν η αύξηση του ρυθμού πρόσληψης στερεών από το τρόφιμο είναι μικρότερη από την αντίστοιχη αύξηση του ρυθμού απώλειας νερού από το φυτικό προϊόν, επομένως η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος να συνεπάγεται μεγαλύτερη αφυδάτωση στο τρόφιμο (Ahmed et al., 2016).

Άλλη μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την ωσμωτική διεργασία είναι το μοριακό βάρος του ωσμωτικού μέσου, καθώς μεταβάλλει σε σημαντικό βαθμό την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών. Όσο αυξάνεται το μοριακό βάρος του ωσμωτικού διαλύματος, δηλαδή το μέγεθος των μορίων τόσο μειώνεται ο ρυθμός πρόσληψης στερεών και εντείνεται η απώλεια του νερού (Raoult-Wack 1994).

3.4.4.3 Αναλογία βάρους τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο

Η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα έχει μεγάλη σημασία κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασία τροφίμων, καθώς επηρεάζει την κινητική μεταφοράς μάζας σε μεγάλο βαθμό. Αρκετοί ερευνητές μελέτησαν την επίδραση της διαφορετικής αναλογίας δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα (% w/w τρόφιμο: ωσμωτικό διάλυμα, από 1:1 έως 1:5) στη κινητική μεταφοράς μάζας.

Η υψηλή αναλογία είναι πλεονεκτική, καθώς συνεπάγει την διατήρηση της ωσμωτικής πίεσης κατά την διεργασία, λόγω της μικρής αραιώσης του ωσμωτικού διαλύματος και επομένως διευκολύνει την πιο έντονη διαδικασία μεταφοράς μάζας. Οι χαμηλότερες αναλογίες (1:4 ή 1:3) εφαρμόζονται για την παρακολούθηση της επίδρασης της συγκέντρωσης της ωσμωτικής ουσίας. Όμως, μια υψηλή αναλογία (1:20 έως 1:30) αυξάνει την ποσότητα του ωσμωτικού διαλύματος και εντείνει το πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης του στην διεργασία. Για αυτό το λόγο, για πρακτικούς και οικονομικούς σκοπούς, είναι προτιμότερη η χαμηλή αναλογία φρούτου προς ωσμωτικού διαλύματος. Η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα 1:2 ή 1:3 είναι βέλτιστη (Lazarides et al., 1995, Ahmed et al., 2016, Mavroudis et al. 1998, Tortoe, 2010).

3.4.4.4 Ανάδευση

Για την αποτελεσματική επαφή μεταξύ υψηλής συγκέντρωσης ωσμωτικού διαλύματος και τροφίμου προτιμάται η χρήση ανάδευσης στην διεργασία της ωσμωτικής επεξεργασίας. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ο ρυθμός μεταφοράς μάζας, καθώς μειώνεται η αντίσταση και εφαρμόζεται μια διαδικασία αραιώσης. Η χρήση διαλυμάτων σακχάρων με υψηλή συγκέντρωση εμποδίζει την επαφή μεταξύ του ωσμωτικού διαλύματος και του τροφίμου ελαχιστοποιώντας τον ρυθμό μεταφοράς μάζας λόγω επίπλευση των κομματιών του τροφίμου στην επιφάνεια του ωσμωτικού μέσου (Ahmed et al., 2016). Η τεχνική της ανάδευσης αποτρέπει τον σχηματισμό επιφανειακού στρώματος στερεών στην εξωτερική πλευρά του υλικού, το οποίο επηρεάζει την μετακίνηση του νερού. Τα μοναδικά μειονεκτήματα της ανάδευσης είναι ότι οδηγεί σε μείωση του ρυθμού πρόσληψης στερεών στην μεγαλύτερη περίοδο της διαδικασίας και η ευπάθεια του τροφίμου. Το πρώτο, μπορεί να οφείλεται στη μεγαλύτερη απώλεια νερού, η οποία μεταβάλλει τη

βαθμίδα συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας μέσα στα σωματίδια του τρόφιμου (Ahmed et al., 2016).

3.4.4.5 Χρονική διάρκεια διεργασίας

Η αύξηση του χρόνου παραμονής του τρόφιμου στο ωσμωτικό διάλυμα επιφέρει μεγαλύτερη απώλεια νερού στην ωσμωτική αφυδάτωση, έως ότου αποκατασταθεί η ισορροπία ενεργοτήτων νερού του τρόφιμου και του διαλύματος (Raoult-Wack, 1994;Torreggiani et al., 2001;Ahmed et al., 2016). Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι η μεταφορά μάζας πραγματοποιούνται σε ταχύτερο ρυθμό στις πρώτες 2h διεργασίας όμως στην συνέχεια προκαλείται μείωση του ρυθμού απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών στον περαιτέρω χρόνο της διεργασίας. Προκειμένου να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα και να μην δημιουργηθούν αλλοιώσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προς εξεταζόμενου τρόφιμου, το χρονικό διάστημα της διεργασίας ορίζεται αυτό πριν την ισορροπία (Ahmed et al., 2016).

3.4.4.6 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία της διεργασίας αποτελεί την πιο κρίσιμη παράμετρο για την πορεία της ωσμωτικής επεξεργασίας. Κατά την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του ιξώδους του ωσμωτικού διαλύματος και επιτάχυνση της διαδικασίας μεταφοράς μάζας (Segui et al., 2010). Ο ρυθμός απώλειας νερού ευνοείται με την αύξηση της θερμοκρασίας, καθώς αυξάνεται ο ρυθμός της ωσμωτικής πίεσης λόγω, της πορώδους δομής του υλικού που βοηθά τους ιστούς να απελευθερώσουν τον παγιδευμένο αέρα. Αντιθέτως, η πρόσληψη στερεών δεν ευνοείται αναλογικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτή αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό σε θερμοκρασίες άνω των 50 °C, όπου δημιουργείται διόγκωση και πλαστικοποίηση της κυτταρικής μεμβράνης του τροφίμου. Η καλύτερη μεταφορά νερού στην επιφάνεια του προϊόντος παρατηρήθηκε σε χαμηλότερα ιξώδη ωσμωτικά μέσα (Contreras et al., 1981).

Η αύξηση της θερμοκρασίας παρουσιάζει επιπλέον συνέπειες, στην δομή των κυττάρων μεταβάλλοντάς την, ενώ ταυτόχρονα οδηγεί και σε απώλεια θρεπτικών ουσιών και μειωμένη επιλεκτικότητα των κυτταρικών μεμβρανών (Segui et al., 2010). Τέλος, οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν αρνητικά το χρώμα, την υφή και την γεύση των δειγμάτων τροφίμων με την ενζυμική αμαύρωση και αλλοίωση των οργαληπτικών χαρακτηριστικών.

Η εξάρτηση του φαινομένου της διάχυσης μέσω της σταθεράς διάχυσης από την θερμοκρασία παρουσιάζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$D_{eff} = D_o \exp \left(- \frac{E_a}{RT} \right) \quad (\text{Εξίσωση 12})$$

Όπου,

D_0 : η σταθερά διάχυσης στην κατάσταση αναφοράς (cm^2/s)

E_a : η ενέργεια ενεργοποίησης (kcal/mol)

R : η σταθερά των αερίων (J/mol K)

T : η θερμοκρασία (K)

Η βέλτιστη θερμοκρασία επιλέγεται με βάση τον τύπο της εξεταζόμενης πρώτης ύλης, την ποιότητα του τελικού προϊόντος και την ταχύτητα επεξεργασίας. Η ωσμωτική προεπεξεργασία σε χαμηλή θερμοκρασία εξασφαλίζει την διατήρηση του επιθυμητού χρώματος, της γεύσης και των οργανοληπτικών ιδιοτήτων αλλά παρατείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος από 5-12 ημέρες, ανάλογα με τους κύκλους ωσμωτικής αφυδάτωσης (Moraga et al., 2011).

3.4.5 Κριτήρια επιλογής ωσμωτικού μέσου

Οι οργανοληπτικές και θρεπτικές ιδιότητες του προς επεξεργασία προϊόντος, καθώς το μοριακό βάρος αλλά και το κόστος του ωσμωτικού διαλύματος αποτελούν τα βασικά κριτήρια για την ορθή επιλογή της ωσμωτικής ουσίας. Ειδικότερα, απαραίτητη προϋπόθεση για να θεωρηθεί ένα ωσμωτικό μέσο κατάλληλο για την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ενός υλικού τρόφιμου είναι να προκαλεί αποτελεσματική ώσμωση, δηλαδή αυξημένη απώλεια νερού, χαμηλή ενεργότητα νερού, να παρέχει ικανοποιητικά φυσικοχημικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά στο προϊόν, εξαιρετικές οργανοληπτικές και διατροφικές ιδιότητες, τα οποία παράλληλα να σχετίζεται με αποδεκτή τιμή του προϊόντος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα ευρέως συμβατικά ωσμωτικά διαλύματα είναι κυρίως η γλυκόζη, φρουκτόζη, σακχαρόζη και μαλτοδεξτρίνη. Αρκετές σύγχρονες επιστημονικές έρευνες βασίζονται σε μη συμβατικές ωσμωτικές ουσίες, οι οποίες διακρίνονται κυρίως για το χαμηλό μοριακό βάρος τους, την ενίσχυση στις διατροφικές ιδιότητες του προϊόντος αλλά και την ελάχιστη επιρροή στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του υλικού τρόφιμου. Τέτοια ωσμωτικά υλικά είναι η τρεχαλόζη, η ραφτιλόζη και η λακτιτόλη (Li et al., 2005).

Στην διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των λαχανικών γενικότερα επιλέγεται υψηλής συγκέντρωσης ωσμωτικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου, ενώ για τα φρούτα υψηλής συγκέντρωσης σάκχαρο. Σε ειδικές περιπτώσεις, εφαρμόζονται και ωσμωτικά μέσα όπως γλυκόζη, φρουκτόζη, σοβιτόλη, πηκτίνη και μαλτοδεξτρίνη αλλά και διαλύματα προεπεξεργασίας, όπως μεταδιθειώδες νάτριο ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$),

μεταθειώδες κάλιο ($K_2S_2O_5$), ελαϊκό αιθυλεστέρα (EA) + $Na_2S_2O_5$, EA + $K_2S_2O_5$ και ανθρακικό κάλιο (K_2CO_3) (Ispir, 2009).

4. Πειραματικός Σχεδιασμός

4.1 Εισαγωγή

Τα ωσμωτικά διαλύματα, στα οποία εμβαπτίστηκαν τα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων, είναι ο συνδυασμός γλυκερόλης με χλωριούχο νάτριο και ο συνδυασμός συμπυκνωμένου χυμού μήλου με χλωριούχο νάτριο. Εξετάστηκε ακόμα και η προεπεξεργασία με το ένζυμο πεκτινάση πριν την ωσμωτική αφυδάτωση των υλικών. Στα δείγματα, μετά την ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες διεργασίας, προσδιορίστηκαν ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως το χρώμα, η ενεργότητα νερού (a_w), τα ολικά διαλυτά στερεά (TSS), η ολική οξύτητα αλλά και η αντιοξειδωτική ικανότητα μέσω της μεθόδου DPPH. Επίσης, μετρήθηκαν το βάρος, το χρώμα των δειγμάτων κατά την αποθήκευση για 20 μέρες σε χρονικά διαστήματα των 2 ημερών. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την περίπτωση, ήταν αφυδατωμένα ροδάκινα και βερίκοκα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες και στη συνέχεια κατεργασία με α) ξήρανση με αέρα, β) ξήρανση με κατάψυξη και γ) αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα.

Στην συνέχεια, περιγράφονται πιο αναλυτικά τα υλικά, τα χημικά αντιδραστήρια και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

4.2 Υλικά-Χημικά Αντιδραστήρια

4.2.1 Υλικά

Στην διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν ροδάκινα και βερίκοκα, ως πρώτη ύλη, τα οποία παραλήφθηκαν από τοπικό κατάστημα φρούτων και λαχανικών. Τα φρούτα ήταν φρέσκα και αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο στους 3°C μέχρι την χρήση τους. Αξίζει να αναφερθεί ότι, τα φρέσκα ροδάκινα και βερίκοκα είναι αδύνατον να αποθηκεύονται για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.

4.2.2 Χημικά Αντιδραστήρια

Για την παρασκευή των ωσμωτικών διαλυμάτων προμηθεύτηκαν η γλυκερόλη, ο συμπυκνωμένος χυμός μήλου αλλά και το χλωριούχο νάτριο (NaCl). Επίσης, για την προκατεργασία με ένζυμο, πριν την ωσμωτική διεργασία, προμηθεύτηκε το ένζυμο πεκτινάση σε υγρή μορφή.

4.3 Ωσμωτική αφυδάτωση

4.3.1 Πειραματική διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης

Αρχικά, πριν την έναρξη της μεθόδου της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρασκευάστηκαν τα ωσμωτικά διαλύματα. Τα ωσμωτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο συνδυασμός γλυκερόλης 60% (w/w) με NaCl 5% (w/w) και ο συνδυασμός χυμού μήλου 50 °Brix με NaCl 5% (w/w). Προκειμένου να υποβοηθηθεί η πλήρης ανάμειξη των διαλυμάτων και η διάλυση του στερεού άλατος, τα διαλύματα τοποθετήθηκαν σε θερμαινόμενη πλάκα M6.1 (Cat) με μηχανικό αναδευτήρα με θέρμανση περίπου στους 100°C και ανάδευση με μαγνήτη στις 500 rpm.

Για την έναρξη της μεθόδου της ωσμωτικής αφυδάτωσης, ζυγίστηκαν περίπου 20 g φρέσκων δειγμάτων σε ψηφιακό ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων KERN EW (KERN) και τοποθετήθηκαν σε γυάλινα βαζάκια. Τα δείγματα ήταν τεμαχισμένα σε ισοπαχείς φέτες. Στην συνέχεια, προστέθηκαν τα ωσμωτικά διαλύματα γλυκερόλης 60% (w/w) με χλωριούχο νάτριο 5% (w/w) και ο χυμός μήλου 50 °Brix με χλωριούχο νάτριο 5% (w/w). Η ωσμωτική αφυδάτωση μελετήθηκε σε θερμοκρασία 25°C και 45°C, ενώ η χρονική διάρκεια αφυδάτωσης για κάθε συνδυασμό ήταν από 10 min, έως 1440 min. Η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα που ερευνήθηκε ήταν 1:5. Μετά την προσθήκη του ωσμωτικού μέσου, τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο ρυθμισμένο υδατόλουτρο Bath PRECISTERM (Selecta) στην κατάλληλη θερμοκρασία 25°C και 45°C αντίστοιχα. Μετά το πέρας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, πραγματοποιήθηκε απομάκρυνση των δειγμάτων από το ωσμωτικό διάλυμα και τοποθετήθηκαν πάνω σε διηθητικό χαρτί για την απομάκρυνση του περίσσιου διαλύματος.

Στην συνέχεια, τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ζυγίστηκαν και αφού τοποθετήθηκαν πάνω σε ένα μικρού μεγέθους μεταλλικό δίσκο εισήχθησαν στον φούρνο ξήρανσης Vacuum Drying Oven (BioBase). Η ξήρανση του δείγματος πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 100°C έως ότου σταθερού τελικού βάρους. Τέλος, τα ξηρά ωσμωμένα δείγματα ζυγίστηκαν για τον προσδιορισμό του ξηρού τους βάρους.

Στον παρακάτω πίνακα 4. παρουσιάζονται συνοπτικά οι παράμετροι σχεδιασμού (συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου, θερμοκρασία, χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης) της ωσμωτικής αφυδάτωσης που μελετήθηκαν :

Πίνακας 4. Συγκέντρωση ωσμωτικών διαλυμάτων και συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης

Ωσμωτικό Διάλυμα	Συγκέντρωση	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης(min)
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	60 – 5% (w/w)	25 - 45	10 - 1440
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	50°Brix – 5% (w/w)	25 - 45	10 - 1440

Η γλυκερόλη επιλέχθηκε ως ωσμωτικό μέσο καθώς είναι από τις πιο κοινές υγροσκοπικές ουσίες με αντιμικροβιακές ιδιότητες. Τα πλεονεκτήματα χρήσης της είναι η ελάττωση της ενεργότητας του νερού του προϊόντος, η πρόσδεση μια γλυκιάς γεύσης αλλά και η αποτροπή ανάπτυξης μικροοργανισμών κατά την αποθήκευση του τροφίμου (Giannioti et al. 2001).

Ο χυμός μήλου, λόγω των φυσικών σακχάρων του προσδίδει γλυκιά γεύση, βελτιώνει το χρώμα και την υφή του τροφίμου, καθώς και αυξάνει την απόδοση της διεργασίας ενισχύοντας την αντοχή του προϊόντος. Ο χυμός μήλου που χρησιμοποιήθηκε ως ωσμωτικό μέσο ήταν από συμπυκνωμένο φυσικό χυμό μήλου.

Η χρήση χλωριούχου νατρίου (NaCl) στα ωσμωτικά διαλύματα αποσκοπεί στην αύξηση της απόδοσης της ωσμωτικής διεργασίας αλλά και τη βελτίωση της γεύσης του τελικού ωσμωτικά προκατεργασμένου προϊόντος, εξασθενώντας την γλυκύτητα των υδατανθράκων (Lerici et al., 1985)

Όσον αναφορά για την αναλογία βάρους τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο που επιλέχθηκε 1:5, καθώς μια υψηλή αναλογία δεν επιτρέπει τη αραιώση του ωσμωτικού διαλύματος, επομένως να μην ελαττώνεται η κινητήρια δύναμη κατά τη επεξεργασία. Το πρόβλημα, της συγκεκριμένης αναλογίας είναι ότι αυξάνεται αρκετά η χρησιμοποιούμενη ποσότητα διαλύματος και είναι ανέφικτη η επαναχρησιμοποίησή του.

Η κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης μελετήθηκε σε δύο θερμοκρασίες (25-45°C). Ο χρόνος της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν υπερέβηκε τα 1440 min διότι σε αυτό το σημείο έχει επέλθει ισορροπία των φαινόμενων μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα επομένως δεν κρίθηκε αναγκαία να συνεχιστεί η ωσμωτική διαδικασία. Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν επιβάλλεται ανάδευση, καθώς δεν επιλέχθηκε να μελετηθεί αυτή η παράμετρος.



Εικόνα 11. Φούρνος ξήρανσης Vacuum Drying Oven (BioBase)

4.3.2 Μέτρηση ποσοστού αρχικής υγρασίας

Για τον υπολογισμό της αρχικής υγρασίας των ροδάκινων και των βερίκοκων μετρήθηκε το αρχικό βάρος των δειγμάτων φρέσκου ροδάκινου και βερίκοκου και το τελικό ξηρό βάρος των ροδάκινων και βερίκοκων μετά την ξήρανση στο φούρνο ξήρανσης.

Επομένως, η αρχική υγρασία των ροδάκινων και βερίκοκων υπολογίστηκε από την σχέση :

$$Y = \frac{W_{\alpha\rho\chi} - W_{\tau\epsilon\lambda}}{W_{\alpha\rho\chi}} \quad (\text{Εξίσωση 13})$$

Όπου,

$W_{\alpha\rho\chi}$: το αρχικό βάρος των φρέσκων ροδάκινων και βερίκοκων (g)

$W_{\tau\epsilon\lambda}$: το τελικό ξηρό βάρος των ροδάκινων και βερίκοκων μετά την ξήρανση στον φούρνο ξήρανσης (g)

4.3.3 Πειραματική διαδικασία προκατεργασίας με ένζυμο

Πριν την επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, 20 g περίπου φρέσκων ροδάκινων ή βερίκοκων ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως 500 mL. Προστέθηκε 2 g ενζύμου πεκτινάση/100g φρέσκων ροδάκινων ή βερίκοκων και συμπληρώθηκε απιονισμένο νερό, έως ότου καλυφθούν τελείως τα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων. Ο χρόνος έκθεσης στο ένζυμο ήταν 40 min. Μετά το πέρας του χρόνου εμβάπτισης, τα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων υφίστανται τις

συνθήκες της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης που αναφερθήκανε παραπάνω.



Εικόνα 12. Προκατεργασία των ροδάκινων με ένζυμο πεκτινάση



Εικόνα 13. Προκατεργασία των θερίκοκων με ένζυμο ένζυμο πεκτινάση

4.4 Προσδιορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών

4.4.1 Μέτρηση μεταβολής χρώματος

Το χρώμα αποτελεί σημαντικό ποιοτικό χαρακτηριστικό των τροφίμων. Είναι από τα πρώτα χαρακτηριστικά των τροφίμων, το οποίο παρατηρεί ο καταναλωτής και αποτελεί καθαρυστικό συντελεστή στην επιλογή αλλά και στην αξιολόγηση ποιότητας του τελικού προϊόντος.

Η μέτρηση του χρώματος σε φρέσκα αλλά και σε ωσμωτικά αφυδατωμένα στις βέλτιστες συνθήκες δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων πραγματοποιήθηκε με την χρήση φωτομέτρου MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory Inc, Reston, Virginia) με διάφραγμα κεφαλής μέτρησης διαμέτρου 4 mm. Η διεθνής χρωματική κλίμακα που εφαρμόστηκε ήταν η CIE Lab με χρωματικούς δείκτες τους L, a, b. Η χρωματική παράμετρος L προσδιορίζει την φωτεινότητα ή λαμπρότητα του δείγματος και σχετίζεται με το ποσοστό ανάκλασης, το a και το b αποτελούν τις ορθογώνιες συντεταγμένες πάνω στο επίπεδο διατομής του χρώματος, κάθετο στον άξονα μαύρου-άσπρου. Η παράμετρος a υποδηλώνει την ερυθρότητα, δηλαδή τις αποκλίσεις του κόκκινου και του πράσινου, το b είναι η παράμετρος του κίτρινου χρώματος. Οι αρνητικές τιμές της παραμέτρου a αντιστοιχούν στο πράσινο, ενώ οι θετικές στο κόκκινο χρώμα. Για την παράμετρο b, αντίστοιχα, οι αρνητικές τιμές προσδιορίζουν το μπλε, ενώ οι θετικές το κίτρινο χρώμα.

Πριν από κάθε μέτρηση, το φωτόμετρο βαθμονομείται με τη χρήση ειδικής λευκής και μαύρης πλάκας. Για κάθε δείγμα, πραγματοποιούνται τέσσερις επαναληπτικές μετρήσεις σε διαφορετικά αντιπροσωπευτικά σημεία της επιφάνειας του, ώστε να ληφθεί ο μέσος όρος των παραμέτρων L, a και b.

Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE υπολογίζεται από τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση :

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2} \quad (\text{Εξίσωση 14})$$

Όπου,

ΔE : η μεταβολή του χρώματος

ΔL : η μεταβολή της παραμέτρου L μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς

Δa : η μεταβολή της παραμέτρου a μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς

Δb : η μεταβολή της παραμέτρου b μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς



Εικόνα 14. Χρωματόμετρο MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory Inc, Reston, Virginia)

4.4.2 Μέτρηση ενεργότητας νερού (a_w)

Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας του νερού (a_w) των δειγμάτων φρέσκου ροδάκινου και βερικόκου αλλά και αφυδατωμένων στις βέλτιστες συνθήκες χρησιμοποιήθηκε το ενεργόμετρο Aqua Lab 4TEV (Decagon Devices, USA).

Η συγκεκριμένη συσκευή μέτρησης ενεργότητας βασίζεται στο σημείο δρόσου. Αφού το δείγμα τεμαχιστεί σε μικρές ποσότητες, τοποθετείται σε ένα ειδικό πλαστικό δίσκο με όσο τον δυνατόν καλύτερη κάλυψη από το υλικό και εισάγεται στην συσκευή, μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία ατμών.

Μια υπέρυθρη δέσμη ακτινών εστιάζει σε ένα μικροσκοπικό καθρέφτη και υπολογίζεται η ακριβής θερμοκρασία του σημείου δρόσου. Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου μετατρέπεται σε ενεργότητα νερού.



Εικόνα 15. Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού Aqua Lab 4TEV

4.4.3 Αποχύμωση ροδάκινων και βερίκοκων

Για τον υπολογισμό όλων των υπόλοιπων ποιοτικών χαρακτηριστικών απαιτείται η αποχύμωση των ροδάκινων και βερίκοκων. Μια ποσότητα περίπου 15g δείγματος αφού πολτοποιηθεί με την βοήθεια γουδιού, τοποθετείται σε σωληνάρια φυγοκέντρου κωνικά τύπου Falcon 50 mL και έπειτα στη φυγόκεντρο Centrifugator NF400 (nuve (LinkLab)) στις 3500 rpm για 10 min με σκοπό να διαχωριστεί το υπερκείμενο υγρό από τις ίνες των δειγμάτων ροδάκινου και βερίκοκου. Στις περιπτώσεις που κρίθηκε αναγκαίο πραγματοποιήθηκε και δεύτερη φυγοκέντρηση.



Εικόνα 16. Φυγόκεντρος Centrifugator NF400 (nuve (LinkLab))

4.4.4 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών

Τα σάκχαρα είναι τα συστατικά των φρούτων που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των ολικών διαλυτών στερεών. Τα ολικά διαλυτά στερεά TSS, υπολογίζονται από τον βαθμό γλυκύτητας του τροφίμου, ο οποίος μετράται σε βαθμούς Brix.

Τα ολικά διαλυτά στερεά των φρέσκων, των ωσμοτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων προσδιορίζονται με την βοήθεια διαθλασίμετρου Digital ABBE Refractometer (KRUSS)



Εικόνα 17. Διαθλασίμετρο Digital ABBE Refractometer (KRUSS)

4.4.5 Προσδιορισμός ολικής οξύτητας

Η ολική οξύτητα των ωσμοτικά αφυδατωμένων δειγμάτων στις βέλτιστες συνθήκες ροδάκινων και βερίκοκων προσδιορίστηκε με τιτλοδότηση. Αρχικά, μεταφέρονται 1 ml χυμού ροδάκινου ή βερίκοκου σε κωνική φιάλη 50 mL με την βοήθεια πιπέτας και αραιώνεται με 9 mL απιονισμένου νερού. Στην συνέχεια, προστίθενται λίγες σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης και το διάλυμα τιτλοδοτείται με καυστικό νάτριο (NaOH) 0,1 N, μέχρι το χρώμα να μετατραπεί από διαυγές σε μωβ.

Η ολική οξύτητα (% κιτρικού οξέος) υπολογίστηκε με την παρακάτω σχέση (Guimarães et al., 2013):

$$\text{Total acidity (\%)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot C_{\text{NaOH}} \cdot \text{Acid Equivilent}}{V_{\text{sample}}} \quad (\text{Εξίσωση 15})$$

Όπου,

V_{NaOH} : ο όγκος προτύπου διαλύματος καυστικού νατρίου που καταναλώθηκε (mL)

C_{NaOH} : η συγκέντρωση του προτύπου διαλύματος καυστικού νατρίου (N)

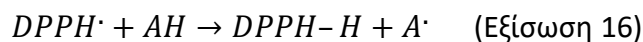
Acid Equivivalent: 0,064 για το κιτρικό οξύ

V_{sample} : όγκος του δείγματος (mL)

4.4.6 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH

Η μέθοδος της σταθερής ρίζας DPPH[•] (2,2-διφαινυλο-1-πικρυλυδραζύλιο) εφαρμόζεται για τον υπολογισμό των αντιοξειδωτικών ουσιών. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην απόσπαση μονήρους ηλεκτρονίου. Η ρίζα του DPPH[•] σε διαλύτη μεθανόλη παρουσιάζει μωβ χρώμα. Η ελεύθερη ρίζα αυτή, ελαττώνεται παρουσία αντιοξειδωτικού (AH) και παράγεται ανοικτό κίτρινο διάλυμα.

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στην μέθοδο DPPH είναι οι εξής :



Αρχικά, για την μέτρηση της αντιοξειδωτικής δράσης πραγματοποιείται η παρασκευή του διαλύματος DPPH. Ζυγίζονται 2,9 mg αντιδραστηρίου DPPH σε ψηφιακό ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων KERN ABS-220-4N (KERN), εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη 250 mL και αραιώνεται σε 100 mL μεθανόλης. Η φιάλη κλείνεται με πώμα και τυλίγεται εξωτερικά με διηθητικό χαρτί για την προστασία του διαλύματος DPPH από την ακτινοβολία του φωτός. Το διάλυμα αναδεύεται, σε πλάκα MULTIMATIC-5N (J.P SELECTA) με μηχανικό αναδευτήρα σε θερμοκρασία δωματίου 25°C και μαγνήτη στις 500 rpm για 45 min. Ακολουθεί η μεταφορά 1 mL χυμού ροδάκινων ή βερίκοκων με την βοήθεια πιπέτας σε δοκιμαστικούς σωλήνες. Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις διαδοχικές αραιώσεις του πρώτου δείγματος, άρα σχηματίστηκαν διαλύματα συγκεντρώσεων C, 1/2 C, 1/4 C, 1/8 C και 1/16 C mL δείγματος.

Στη συνέχεια, 3,9 mL διαλύματος DPPH και 0,1 mL δείγματος εισάγονται με τη βοήθεια πιπέτας σε ειδικές πλαστικές κυψελίδες. Η απορρόφηση των παραπάνω δειγμάτων και η απορρόφηση του τυφλού δείγματος μετράται σε φασματόμετρο UV-Vis (UV-Vis Spectrophotometer UVM51, BEL PHOTONICS) σε μήκος κύματος 515 nm για 20 min. Σύμφωνα με την αντίδραση αναγωγής της ελεύθερης ρίζας πραγματοποιείται αποχρωματισμός από έντονο σκούρο μωβ σε ανοικτό κίτρινο και

παρατηρείται η απορρόφηση ακτινοβολίας. Μεγάλος αποχρωματισμός συνεπάγεται μικρή απορρόφηση ακτινοβολίας φωτός και άρα μεγάλη απενεργοποίηση της ελεύθερης ρίζας.

Ο αποχρωματισμός του συστήματος προσδιορίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\%discoloration = 100 \cdot \left(1 - \frac{A_{sample}}{A_{control}} \right) \quad (\text{Εξίσωση 18})$$

Όπου,

A_{sample} : η απορρόφηση του δείγματος

$A_{control}$: η απορρόφηση του δείγματος DPPH

Από τις μετρήσεις της απορρόφησης των παραπάνω διαλυμάτων σχηματίστηκε μια καμπύλη βαθμονόμησης η οποία συσχετίζει τη συγκέντρωση των διαλυμάτων με την εναπομείνουσα ποσότητα DPPH.

Το ποσοστό της εναπομείνουσας ρίζας DPPH υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$\%DPPH_{rem} = \frac{[DPPH]_t}{[DPPH]_{t=0}} \cdot 100 \quad (\text{Εξίσωση 19})$$

Από την καμπύλη βαθμονόμησης που προκύπτει προσδιορίζεται η συγκέντρωση διαλύματος για την οποία καταστρέφεται το 50% του DPPH, δηλαδή η παράμετρος της τιμής IC50. Όσο μικρότερη είναι η τιμή IC50, τόσο μικρότερη ποσότητα διαλύματος απαιτείται για την εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και επομένως τόσο μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα έχει το δείγμα.



Εικόνα 18. Φασματόμετρο UV-Vis (UV-Vis Spectrophotometer UVM51, BEL PHOTONICS)

4.5 Δημιουργία τελικών προϊόντων

Για την παραγωγή τελικών προϊόντων τα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων, στα οποία εφαρμόστηκε η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις βέλτιστες συνθήκες, υποβλήθηκαν σε κατεργασία ξήρανσης με αέρα, ξήρανσης με κατάψυξη και αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό αέρα. Η αποθήκευση των συγκεκριμένων δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στο ψυγείο στους 3°C για 20 ημέρες.

4.6 Προσδιορισμός απώλειας βάρους τελικών προϊόντων

Τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες, που έχουν υποστεί κατεργασία ξήρανσης με αέρα, ξήρανσης με κατάψυξη και αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό αέρα, ζυγίστηκαν και αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο στους 3°C για 20 μέρες και ζυγίστηκαν εκ νέου σε χρονικά διαστήματα των 2 ημερών. Η απώλεια βάρους για το χρονικό διάστημα των 20 ημερών προσδιορίστηκε από τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Απώλεια βάρους (\%)} = \frac{m_{\alpha\rho\chi} - m_{\tau\epsilon\lambda}}{m_{\alpha\rho\chi}} \quad (\text{Εξίσωση 20})$$

Όπου,

$m_{\text{αρχ}}$: το αρχικό βάρος των ωσμωτικά αφυδατωμένων ροδάκινων και βερίκοκων μετά την κατεργασία ξήρανσης με αέρα, ξήρανσης με κατάψυξη και αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό αέρα (g)

$m_{\text{τελ}}$: το τελικό βάρος των ωσμωτικά αφυδατωμένων ροδάκινων και βερίκοκων μετά την κατεργασία ξήρανσης με αέρα, ξήρανσης με κατάψυξη και αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό αέρα (g)

4.7 Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος τελικών προϊόντων

Στα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες, που έχουν κατεργαστεί με ξήρανση με αέρα, ξήρανση με κατάψυξη και αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα πραγματοποιείται μέτρηση του χρώματος, με τη μέθοδο που αναφέρθηκε παραπάνω. Η μέτρηση του χρώματος των συγκεκριμένων δειγμάτων πραγματοποιήθηκε για 20 ημέρες.

5. Αποτελέσματα

5.1 Προσδιορισμός αρχικής υγρασίας

5.1.1 Προσδιορισμός αρχικής υγρασίας ροδάκινων

Η αρχική υγρασία των ροδάκινων υπολογίστηκε από την εξίσωση 13. και το αποτέλεσμα της ισούται με 91,83%.

5.1.2 Προσδιορισμός αρχικής υγρασίας βερίκοκων

Η αρχική υγρασία των βερίκοκων, αντίστοιχα, υπολογίστηκε και αυτήν από την εξίσωση 13. και ισούται με 90,00%.

5.2 Αξιολόγηση ωσμωτικής αφυδάτωσης

5.2.1 Απώλεια νερού (Water Loss WL)

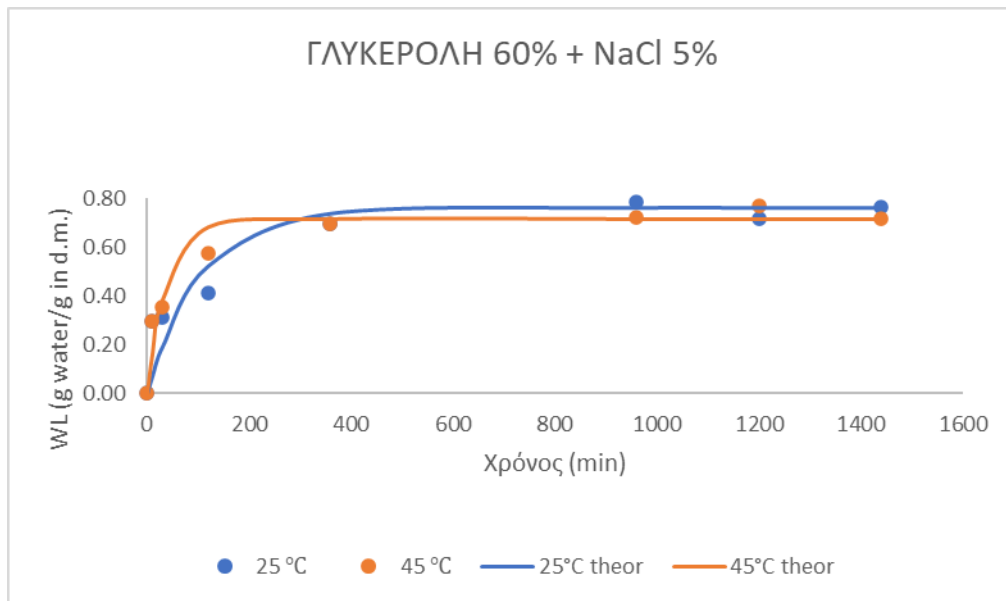
Η απώλεια νερού για τα δείγματα βερίκοκων και τα ροδάκινων κατά την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης υπολογίστηκε από την εξίσωση 2.

Η επίδραση των παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης (θερμοκρασία, χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης) στην απώλεια νερού για κάθε ωσμωτικό διάλυμα παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα.

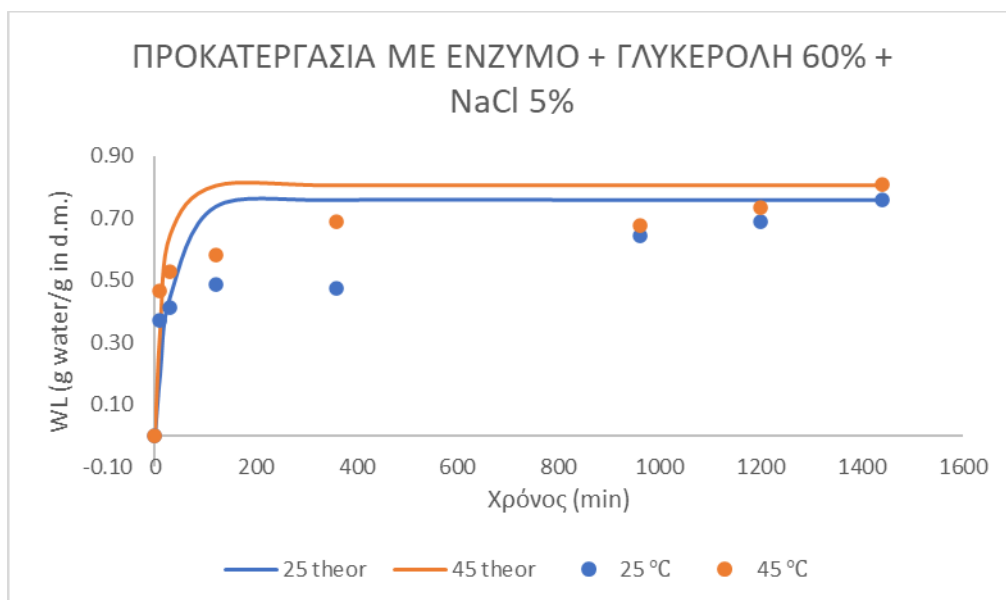
5.2.1.1 Απώλεια νερού ροδάκινων

Γλυκερόλη + NaCl

Στο παρακάτω Διάγραμμα 1. και 2. παρουσιάζεται η απώλεια νερού των δειγμάτων ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας σε θερμοκρασία 25 °C και 45°C για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα στις αντίστοιχες θερμοκρασίες και η προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος αντίστοιχα.



Διάγραμμα 1. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 2. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 60% γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Από τα παραπάνω διαγράμματα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης συνεπάγεται αύξηση στην απώλεια νερού. Ειδικότερα, η μέγιστη απώλεια νερού του ροδάκινου με προκατεργασία με

ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl στους 45°C είναι 80,72%, ενώ στους 25°C είναι 76,10%. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμβαδίζουν με τη βιβλιογραφία για την επιρροή της θερμοκρασίας στην απόδοση της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Phisut N., 2012). Αντίθετα, στην περίπτωση του συνδυασμού ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl, η μέγιστη απώλεια νερού στους 45°C είναι μικρότερη από αυτήν στους 25°C ($76,87\% < 78,55\%$). Οι τιμές της απώλειας νερού στους 45°C βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτές στους 25°C, χωρίς να τις ξεπερνάει, επομένως στους 25°C η απώλεια νερού εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα.

Από την σύγκριση των δύο διαγραμμάτων, διαπιστώνεται ότι η προκατεργασία με ένζυμο πριν την ωσμωτική επεξεργασία με το ωσμωτικό διάλυμα ευνοεί την κινητική ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οι τιμές απώλειας νερού της προκατεργασίας με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl στους 45°C είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl. Το μέγιστο ποσοστό απώλειας νερού της προκατεργασίας με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl στους 45°C, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι εμφανώς μεγαλύτερο από το αντίστοιχο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl ($80,72\% > 76,87\%$). Δεν ισχύει το ίδιο για τους 25°C, όπου το μέγιστο ποσοστό απώλειας νερού του συνδυασμού 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl είναι μεγαλύτερο από αυτό της προεπεξεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος.

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς της απώλειας νερού που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος αποτυπώνονται στον Πίνακα 5. Και 6.

Πίνακας 5. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a₀	a_R	a_C	a_T
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0169	0,0000	0,0000	1,6567

Πίνακας 6. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0420	0,0621	0,0000	1,0160

Στον παρακάτω Πίνακα 7. και 8. παρουσιάζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Πίνακας 7. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύμα τος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,00970	0,9118
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,02568	0,9433

Πίνακας 8. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

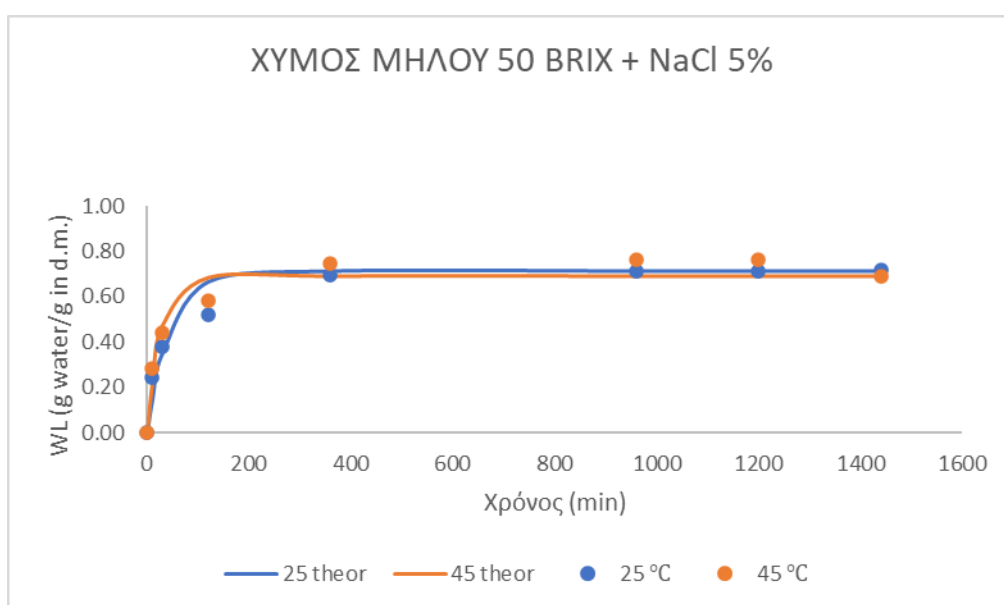
Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύμα τος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,02984	0,7746
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,05422	0,8827

Παρατηρείται πως η κινητική σταθερά αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως έχει παρατηρηθεί και στα διαγράμματα παραπάνω. Έτσι,

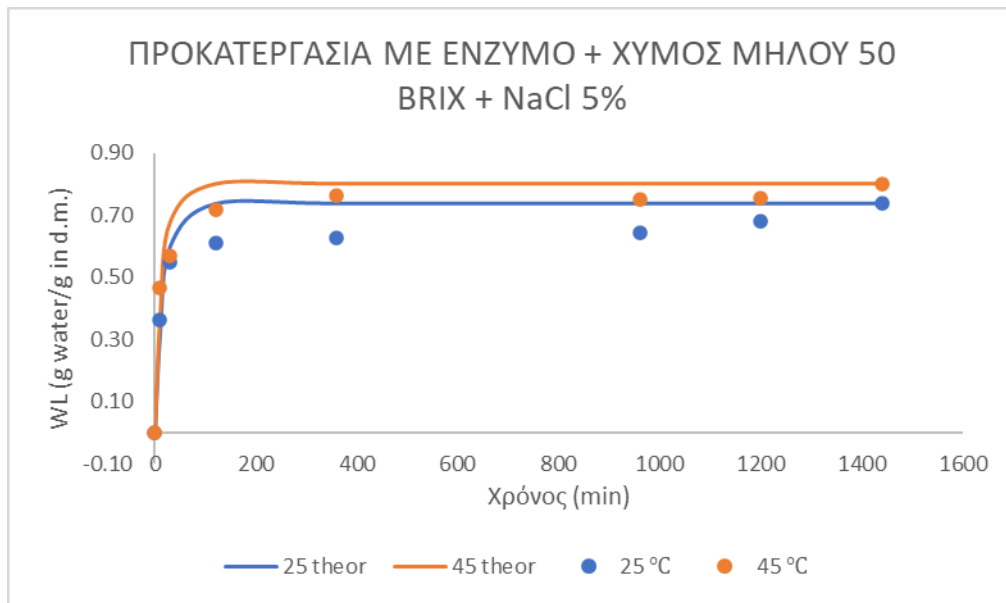
επιτυγχάνεται μια επιταχυνόμενη αύξηση της απώλειας νερού. Η προσαρμογή στο μοντέλο είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική και ειδικά για τη γλυκερόλη φτάνει σε $R^2 > 0.9$.

Χυμός Μήλου + NaCl

Στο παρακάτω Διάγραμμα 3. Και 4. παρουσιάζεται η απώλεια νερού των δειγμάτων ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας σε θερμοκρασία 25 °C και 45°C για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα στις αντίστοιχες θερμοκρασίες. Επιπλέον, εφαρμόστηκε προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, έτσι ώστε να μελετηθεί εάν τα αποτελέσματα της απώλειας νερού είναι πιο αξιόπιστα.



Διάγραμμα 3. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 4. Απώλεια νερού ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται για ακόμα μια φορά ότι η αύξηση θερμοκρασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιφέρει αύξηση στην απώλεια νερού. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη απώλεια νερού του ροδάκινου για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl στους 45°C είναι 76,36% και στους 25°C είναι 71,52%. Στην περίπτωση της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, η μέγιστη απώλεια νερού στους 45°C είναι 80,18%, ενώ στους 25°C είναι 73,69%. Επιπρόσθετα, παρατηρείται ότι η μέγιστη απώλεια νερού πραγματοποιείται για το συνδυασμό 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl στα 1440 min στους 25°C και στα 960 min στους 45°C, ενώ στην προκατεργασία με ένζυμο για το ίδιο ωσμωτικό διάλυμα στα 1440 min στις ίδιες θερμοκρασίες.

Συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα συμπεραίνεται ότι η προκατεργασία με ένζυμο πριν την ωσμωτική επεξεργασία με το ωσμωτικό διάλυμα ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας στην διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οι τιμές απώλειας νερού της προκατεργασίας με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl στους 25°C και 45°C είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl. Το μέγιστο ποσοστό απώλειας νερού της προκατεργασίας με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl στους 25°C και 45°C, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι εμφανώς μεγαλύτερο από το αντίστοιχο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl (73,69% >71,52% στους 25°C και 80,18% >76,36% στους 45°C).

Όσον αναφορά την αποτύπωση των πειραματικών δεδομένων απώλειας νερού στο θεωρητικό μοντέλο των Panagiotou et al. συμπεραίνεται ότι ο συνδυασμός Χυμού μήλου + 5% NaCl παρουσιάζει μικρότερη απόκλιση από τα θεωρητικές συνθήκες από την προκατεργασία με ένζυμο για το ίδιο ωσμωτικό διάλυμα.

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς της απώλειας νερού ροδάκινων που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμό μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), εμφανίζονται στον Πίνακα 9. Και 10.

Πίνακας 9. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0306	0,0000	0,0000	0,9068

Πίνακας 10. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0596	0,0202	0,0000	0,1942

Στον παρακάτω Πίνακα 11. και 12. παρουσιάζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Πίνακας 11. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,02256	0,9504
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,03845	0,9513

Πίνακας 12. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

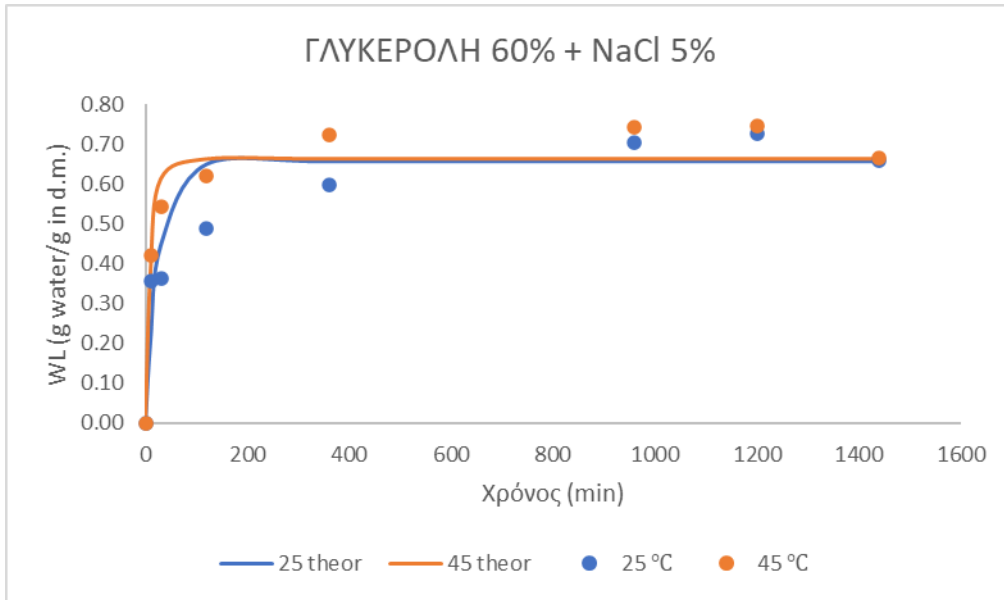
Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,05580	0,9631
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,06255	0,9616

Από τα αποτελέσματα των κινητικών σταθερών της ωσμωτικής αφυδάτωσης που αποτυπώνονται στους παραπάνω Πίνακες επαληθεύεται ότι για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl, αλλά και για την προεπεξεργασία με ένζυμο του ίδιου συνδυασμού, η θερμοκρασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κινητική της ωσμωτικής επεξεργασίας. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο αυξάνεται ο ρυθμός απώλειας νερού (μεγαλύτερο k) και για τις δύο περιπτώσεις και άρα τόσο γρηγορότερα πραγματοποιείται η απώλεια νερού στα δείγματα ροδάκινων. Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό με το R² να ξεπερνάει το 0.95.

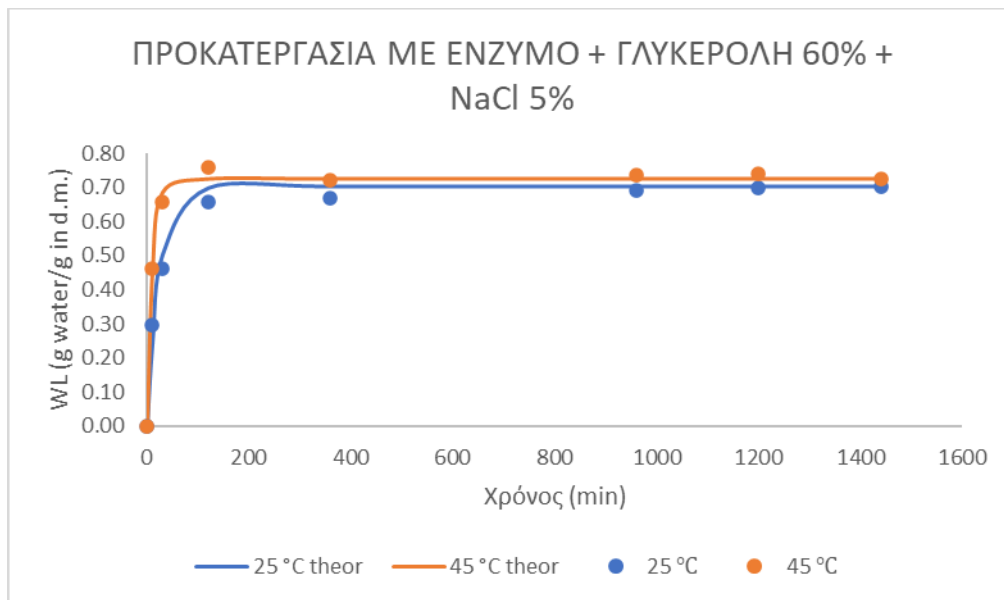
5.2.1.2 Απώλεια νερού βερίκοκων

Γλυκερόλη + NaCl

Στα Διαγράμματα 5. και 6. εμφανίζεται η απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στους 25 °C και 45°C για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα στις αντίστοιχες θερμοκρασίες αλλά και η προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος.



Διάγραμμα 5. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 6. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 5. και 6. διαπιστώνεται, όπως με τα δείγματα βερίκοκων, ότι η αυξημένη θερμοκρασία της ωσμωτικής επεξεργασίας προκαλεί αυξημένο ποσοστό απώλειας νερού. Στην περίπτωση του ωσμωτικού μέσου 60%

Γλυκερόλη + 5% NaCl, τα δείγματα βερικόκων εμφάνισαν μέγιστη τιμή απώλειας νερού 72,73% στους 25°C, ενώ στους 45°C δεν ξεπερνά το 74,65%. Αντίστοιχα, στο Διάγραμμα 6. για την προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού μέσου φαίνεται ότι το μέγιστο ποσοστό απώλειας νερού στους 25°C είναι 70,26% και στους 45°C φτάνει 75,81%.

Επιπρόσθετα, συμπεραίνεται εκ νέου ότι η προκατεργασία με ένζυμο πριν την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ευνοεί την απώλεια νερού στους 45°C, καθώς οι τιμές της απώλειας νερού με προκατεργασία με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl για αυτήν την θερμοκρασία (μέγιστη τιμή στους 45°C 75,81%) είναι μεγαλύτερες από τις τιμές για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl στους 45°C (μέγιστη τιμή στους 45°C, 74,65%). Αντίθετα, στους 25°C παρατηρείται ότι οι τιμές της απώλειας νερού με προκατεργασία με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl είναι μικρότερες από εκείνες τις τιμές για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl (μέγιστη τιμή 70,26% < 72,73%).

Το θεωρητικό μοντέλο των Panagiotou et al. διαπιστώνεται ότι εφαρμόζεται καλύτερα στην προκατεργασία με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl από τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl .

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς της απώλειας νερού βερικόκων που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), παρουσιάζονται στον Πίνακα 13. Και 14.

Πίνακας 13. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερικόκων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a ₀	a _R	a _C	a _T
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0.0605	0,0000	0,0000	1,3966

Πίνακας 14. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερικόκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a ₀	a _R	a _C	a _T
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0677	0,0621	0,0000	1,4318

Στον παρακάτω Πίνακα 15. και 16. εμφανίζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al (1998)..

Πίνακας 15. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,03779	0,8564
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,08588	0,9514

Πίνακας 16. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

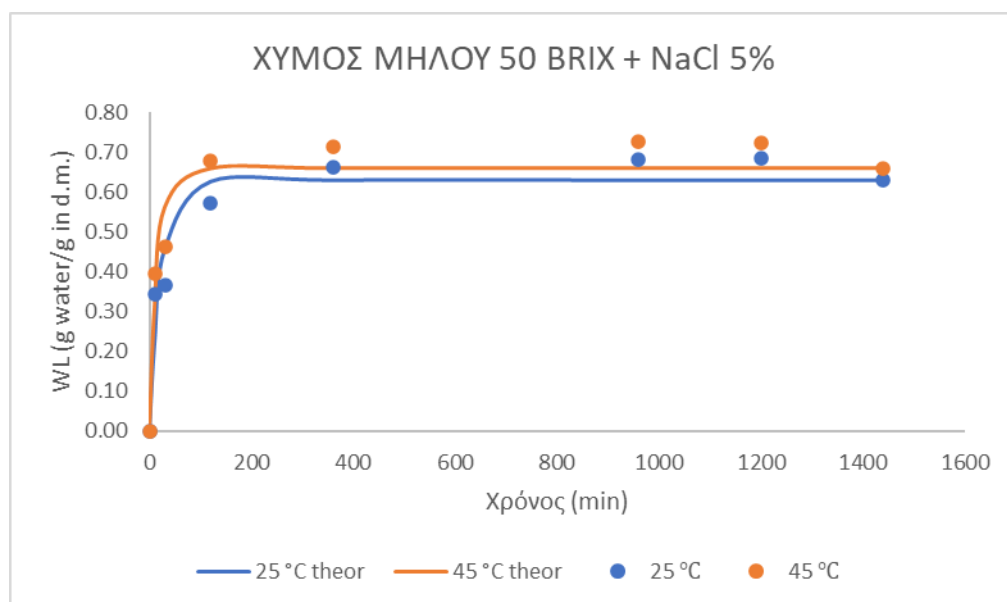
Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,04184	0,9890
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,09708	0,9957

Όπως και στις υπόλοιπες μετρήσεις, έτσι και εδώ, φαίνεται πως η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής σταθεράς και επομένως την αύξηση της ταχύτητας της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο είναι πολύ καλή, αφού σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από τη Γλυκερόλη χωρίς προεπεξεργασία στους 25°C, το R² φτάνει έως και 0.99.

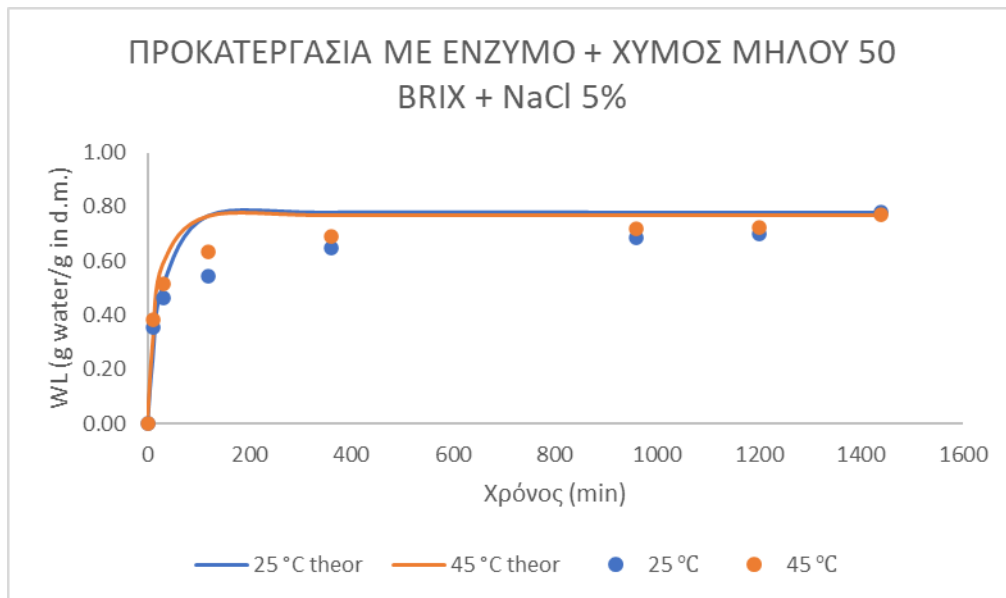
Χυμός Μήλου + NaCl

Τέλος, η απώλεια νερού εξετάστηκε στην ωσμωτική αφυδάτωση με συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος χυμού μήλου + NaCl αλλά και η εφαρμογή της προκατεργασίας με ένζυμο.

Στο παρακάτω Διάγραμμα 7. και 8. παρουσιάζεται η απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας σε θερμοκρασία 25 °C και 45°C για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl και προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας σε ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 8. Απώλεια νερού βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Όσον αφορά τα παραπάνω Διαγράμματα 7. Και 8., όπως ήταν αναμενόμενο, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης τόσο ευνοείται η απώλεια νερού του δείγματος βερίκοκου στον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή της απώλειας νερού στο ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl, στους 25°C, η οποία εμφανίζεται στα 1200 min, είναι 68,48%, σε αντίθεση με την θερμοκρασία 45°C, όπου στα 960 min είναι 72,29%. Στην περίπτωση της προκατεργασίας με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl στους 25°C είναι 78,03%, ενώ στους 45°C δεν ξεπερνάει το 76,89%. Επομένως, η απώλεια υγρασίας στην προκατεργασία με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα στους 25°C από τους 45°C, φτάνοντας πολύ κοντά στις τιμές στους 25°C, χωρίς να τις ξεπερνάει.

Αντίστοιχα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η προκατεργασία με ένζυμο πριν την ωσμωτική αφυδάτωση ευνοεί την απώλεια νερού, καθώς οι μέγιστες τιμές, όπως αναφέρθηκε παραπάνω της απώλειας νερού της προεπεξεργασίας με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl και για τις δύο θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες από αυτές του συνδυασμού 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl.

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς της απώλειας νερού που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό

ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), παρουσιάζονται στον Πίνακα 17. Και 18.

Πίνακας 17. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0538	0,0000	0,0000	0,6611

Πίνακας 18. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0423	0,0202	0,0000	0,5418

Στον παρακάτω Πίνακα 19. και 20. παρουσιάζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Πίνακας 19. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,04309	0,9249
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,06355	0,9460

Πίνακας 20. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,03523	0,9033
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,04845	0,9564

Η προσαρμογή των δεδομένων είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική με όλα τα εξεταζόμενα σενάρια να οδηγούν σε $R^2 > 0,9$. Οι κινητικές σταθερές αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας και εδώ, γεγονός που αποδεικνύει τη συμβολή της θερμοκρασίας, στη διεργασία.

5.2.2 Πρόσληψη στερεών (SG)

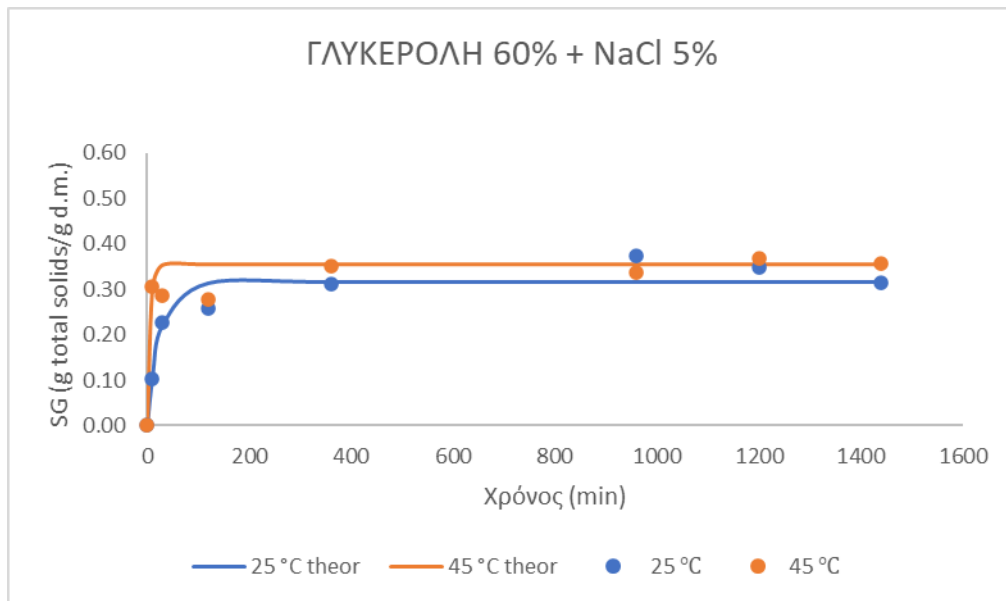
Η πρόσληψη στερεών για τα δείγματα βερίκοκων και τα ροδάκινων κατά την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης υπολογίστηκε από την εξίσωση 3.

Η εξάρτηση της πρόσληψης στερεών των δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων για κάθε ωσμωτικό διάλυμα από την θερμοκρασία και τον χρόνο ωσμωτικής επεξεργασίας απεικονίζεται στα παρακάτω διαγράμματα.

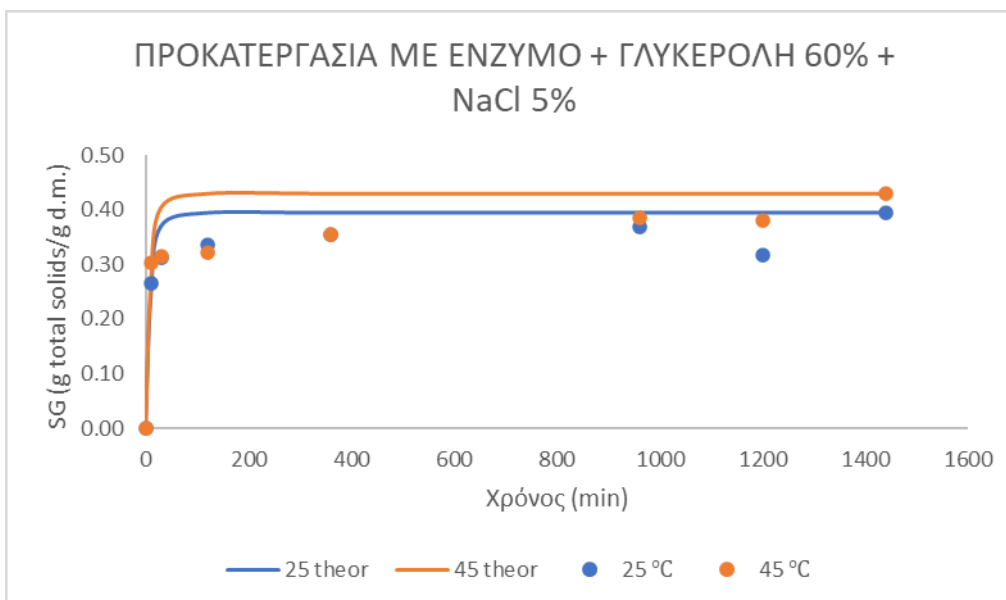
5.2.2.1 Πρόσληψη στερεών ροδάκινων

Γλυκερόλη + NaCl

Στα Διαγράμματα 9. και 10. παρουσιάζεται η πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δύο θερμοκρασιακές τιμές (25 °C, 45°C) για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα στις αντίστοιχες θερμοκρασίες και την προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος.



Διάγραμμα 9. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσεως του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 10. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσεως του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία ενζύμου και ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, επιτυγχάνεται αυξημένη πρόσληψη στερεών των δειγμάτων ροδάκινων στις μεγαλύτερες θερμοκρασίες της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ειδικότερα, όσον αναφορά την προκατεργασία με ένζυμο

και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl στους 25°C το μέγιστο ποσοστό πρόσληψης στερεών δεν ξεπερνά 39,46 και στους 45°C το 42,99%. Η αυξημένη πρόσληψη στερεών επιβεβαιώνεται και από την βιβλιογραφία (Akbarian et al., 2013). Αντίθετα, στην περίπτωση του συνδυασμού ωσμωτικού διαλύματος 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl στους 25°C η μέγιστη πρόσληψη στερεών είναι 37,40% στα 960min, ενώ στους 45°C ανέρχεται σε 36,77% στα 1200 min. Άρα, η πρόσληψη στερεών για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα στους 25°C από τους 45°C, φτάνοντας πολύ κοντά στις τιμές στους 25°C, χωρίς να τις ξεπερνάει.

Επίσης, η προκατεργασία με ένζυμο, ως μια μέθοδο που προηγείται της ωσμωτικής επεξεργασίας, διευκολύνει και την πρόσληψη στερεών. Το ποσοστό πρόσληψης στερεών της προκατεργασίας με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl στους 25°C και 45°C είναι μεγαλύτερο από αυτό του συνδυασμού ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το αποδεικνύουν και οι μέγιστες τιμές πρόσληψης στερεών των δύο ωσμωτικών μέσων.

Όσον αφορά τις μετρήσεις πρόσληψης στερεών, οι πειραματικές τιμές πρόσληψης στερεών του συνδυασμού ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl είναι πολύ κοντά σε αυτές των θεωρητικών μοντέλων των Panagiotou et al. Κάτι παρόμοιο δεν λαμβάνει χώρα για την πρόσληψη στερεών με προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος.

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), παρουσιάζονται στον Πίνακα 21. και 22.

Πίνακας 21. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0974	0,0000	0,0000	2,6288

Πίνακας 22. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
------------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0932	0,0000	0,0000	0,0210
---	--------	--------	--------	--------

Στον παρακάτω Πίνακα 23. και 24. παρουσιάζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Πίνακας 23. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,0402	0,9385
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,1885	0,9228

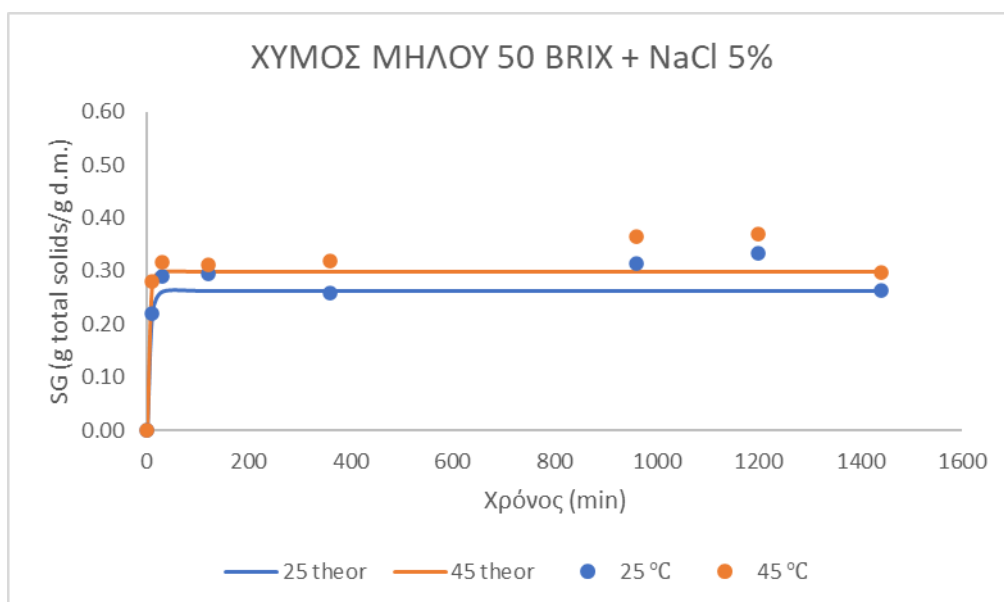
Πίνακας 24. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,09258	0,9428
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,09373	0,8983

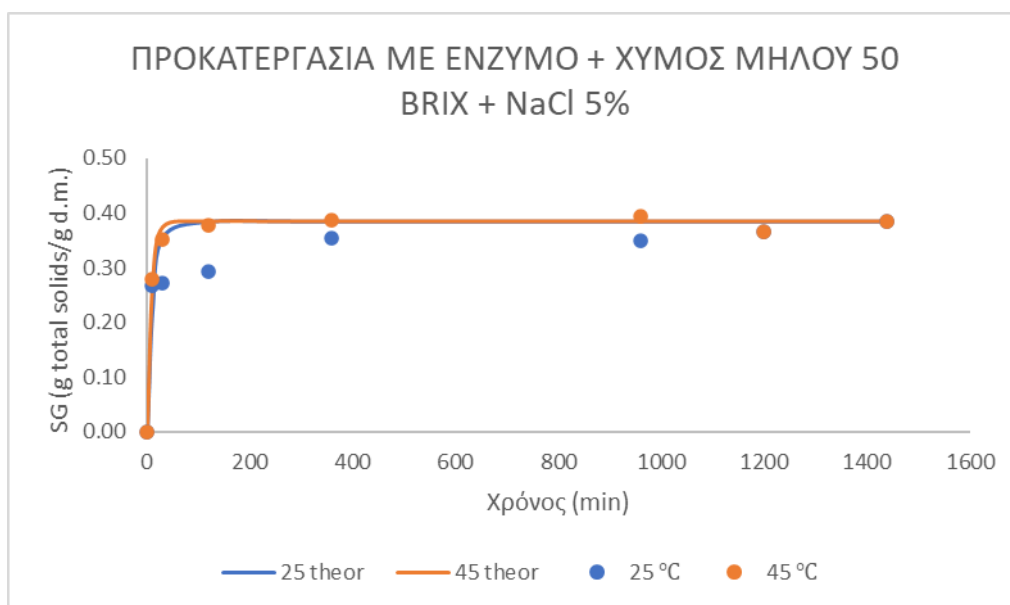
Παρατηρείται και για την πρόσληψη στερεών ότι η κινητική σταθερά της ωσμωτικής αφυδάτωσης αυξάνεται αρκετά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επομένως, πραγματοποιείται μια αύξηση της πρόσληψης νερού. Η προσαρμογή στο θεωρητικό μοντέλο είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική φτάνοντας $R^2 > 0.9$.

Χυμός Μήλου + NaCl

Στο παρακάτω Διάγραμμα 11. και 12. παρουσιάζεται η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας σε θερμοκρασία 25 °C και 45°C για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα στις αντίστοιχες θερμοκρασίες και προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος αντίστοιχα.



Διάγραμμα 11. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας σε ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 12. Πρόσληψη στερεών ροδάκινων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25°C και 45°C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Στην ωσμωτική αφυδάτωση με συνδυασμό 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl και με προεπεξεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού μέσου επιτυγχάνεται αυξημένη πρόσληψη στερεών των δειγμάτων ροδάκινων με την αύξηση της θερμοκρασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η μέγιστη πρόσληψη στερεών στους 45°C είναι μεγαλύτερη από αυτήν στους 25°C (37,06% > 33,42% ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl και 39,36% > 38,38% προεπεξεργασία με ένζυμο ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl)

Επίσης, επιβεβαιώνεται για ακόμα μια φορά ότι η προκατεργασία με ένζυμο διευκολύνει την πρόσληψη στερεών. Το ποσοστό πρόσληψης στερεών της προκατεργασίας με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Brix Χυμού μήλου + 5% NaCl στους 25°C και 45°C είναι μεγαλύτερο από αυτό του συνδυασμού ωσμωτικού μέσου 50 Brix + 5% NaCl.

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), παρουσιάζονται στον Πίνακα 25. Και 26.

Πίνακας 25. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,2356	0,0403	0,0000	0,7251

Πίνακας 26. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,1057	0,0400	0,0000	0,5826

Στον παρακάτω Πίνακα 27. και 28. παρουσιάζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Πίνακας 27. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,18457	0,9376
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,28265	0,9456

Πίνακας 28. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,08686	0,8950

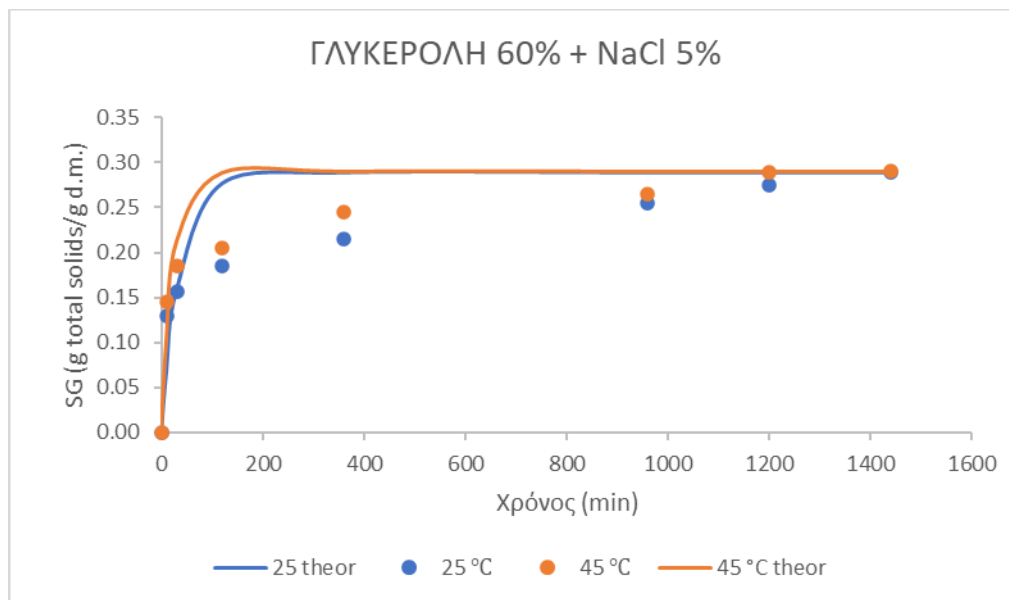
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,12232	0,9927
--	-----	----	---------	--------

Από τους παραπάνω Πίνακες επαληθεύεται ότι για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl, αλλά και για την προεπεξεργασία με ένζυμο του ίδιου συνδυασμού, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί την αύξηση του ρυθμού πρόσληψης στερεών (μεγαλύτερο k) και για τις δύο περιπτώσεις. Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό.

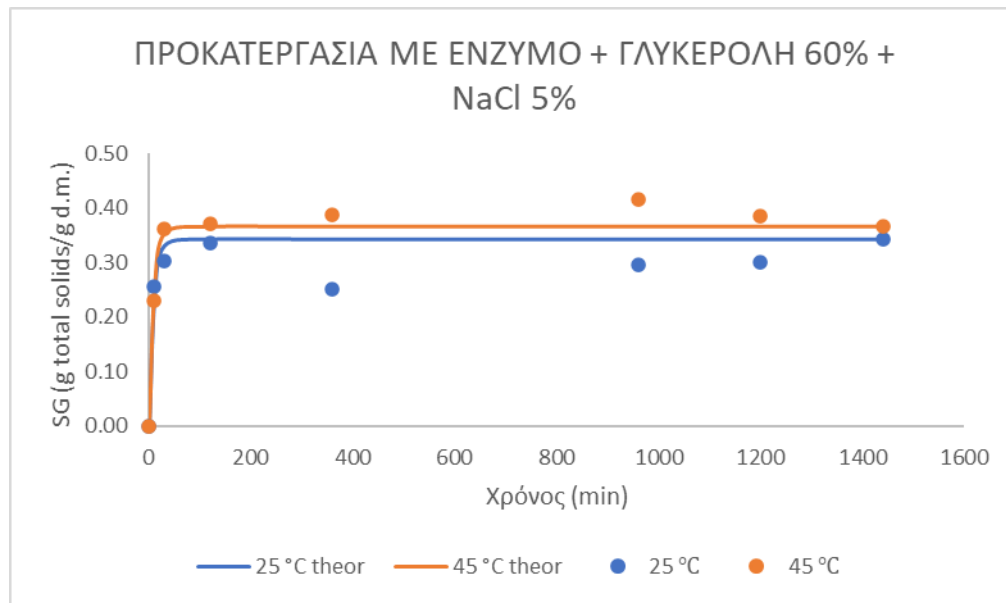
5.2.2.2 Πρόσληψη στερεών βερίκοκων

Γλυκερόλη + NaCl

Στο παρακάτω Διάγραμμα 13. και 14. παρουσιάζεται η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας σε θερμοκρασία 25 °C και 45°C για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος αντίστοιχα.



Διάγραμμα 13. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 14. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία ενζύμου και ωσμωτικό διάλυμα 60% γλυκερόλης + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), παρουσιάζονται στον Πίνακα 29. και 30.

Πίνακας 29. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,0352	0,0000	0,0000	0,8593

Πίνακας 30. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,1133	0,0000	0,0000	0,0000

Στον παρακάτω Πίνακα 31. και 32. παρουσιάζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων για τον συνδυασμό 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Πίνακας 31. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 60% Γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,02635	0,8466
Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,04367	0,8929

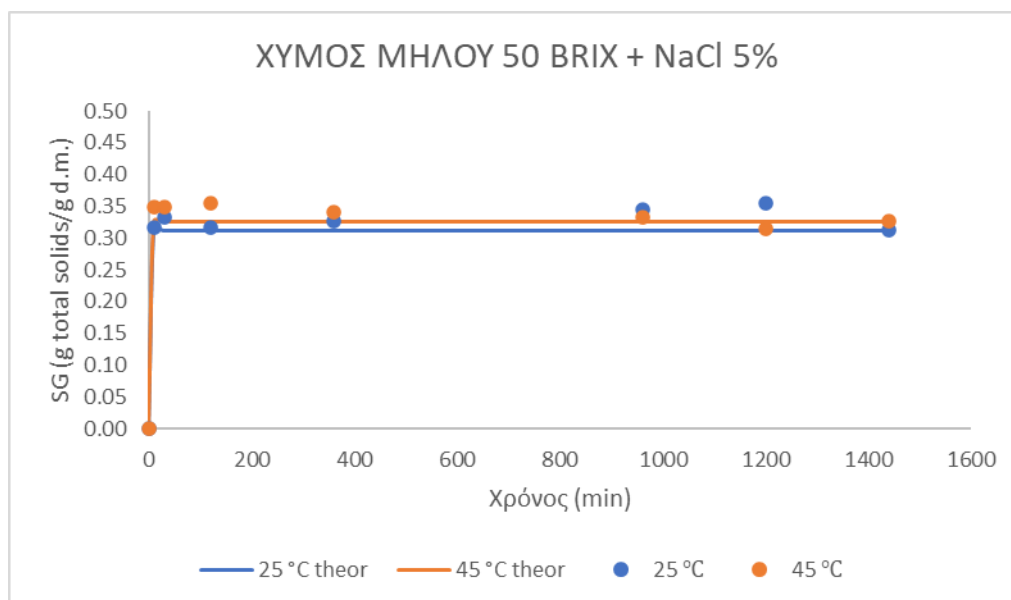
Πίνακας 32. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 60% γλυκερόλης + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,11329	0,9123
Προκατεργασία με ένζυμο Γλυκερόλη – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,11329	0,9824

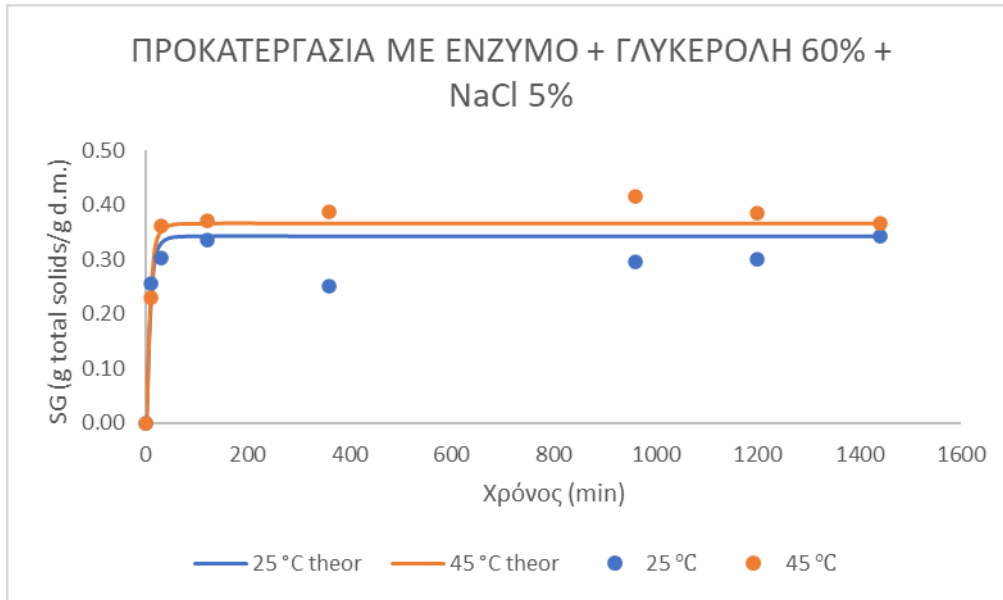
Όπως και στις υπόλοιπες μετρήσεις της πρόσληψης στερεών, διαπιστώνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής σταθεράς για την γλυκερόλη, ενώ για τον χυμό μήλου παραμένει σταθερή. Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο είναι πολύ καλή, αφού σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από τη Γλυκερόλη χωρίς προεπεξεργασία στους 25°C, το R² φτάνει έως και 0,98.

Χυμός Μήλου + NaCl

Στο παρακάτω Διάγραμμα 15. και 16. παρουσιάζεται η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας σε θερμοκρασία 25 °C και 45°C για τον συνδυασμό ωσμωτικού μέσου 50 Βrix Χυμού μήλου + 5% NaCl και προκατεργασία με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος αντίστοιχα.



Διάγραμμα 15. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας σε ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)



Διάγραμμα 16. Πρόσληψη στερεών βερίκοκων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό διάλυμα 50 Brix χυμού μήλου + 5% NaCl σε θερμοκρασία 25 °C και 45 °C μαζί με τα θεωρητικά μοντέλα (Panagiotou et al., 1998)

Οι σταθερές της κινητικής σταθεράς που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998), παρουσιάζονται στον Πίνακα 33. Και 34.

Πίνακας 33. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	296,0520	0,0000	0,0000	0,0000

Πίνακας 34. Τιμές των σταθερών κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	a _o	a _R	a _C	a _T
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο 25 °C, 45 °C	0,1086	0,0400	0,0000	0,0000

Στον παρακάτω Πίνακα 35. και 36. παρουσιάζεται η κινητική σταθερά που προκύπτουν από την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για τον συνδυασμό 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl και της προκατεργασίας με ένζυμο για τον ίδιο συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος, με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Πίνακας 35. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	296,05200	0,9841
Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	296,05200	0,9881

Πίνακας 36. Τιμές της κινητικής σταθεράς της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο 50 Brix Χυμός μήλου + 5% NaCl με βάση το μοντέλο των Panagiotou et al. (1998).

Ωσμωτικό Διάλυμα	Αναλογία τροφίμου:διαλύματος	Θερμοκρασία (°C)	Κινητική σταθερά, k	R ²
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	25	0,10858	0,9025
Προκατεργασία με ένζυμο Χυμός μήλου – Χλωριούχο νάτριο	1:5	45	0,10858	0,9354

Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο θεωρητικό μοντέλο είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική με όλα τα εξεταζόμενα ωσμωτικά μέσα να οδηγούν σε $R^2 > 0,9$. Οι κινητικές σταθερές παραμένουν σταθερές με την αύξηση της θερμοκρασίας, κάτι που υποδηλώνει ότι δεν επηρεάζεται η πρόσληψη στερεών με την αύξηση της θερμοκρασίας.

5.3 Επιλογή βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης

Στην διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης τροφίμων επιδιώκεται μειωμένη πρόσληψη στερεών, κυρίως σακχάρων, καθώς αυτά αποτελούν το υψηλότερο ποσοστό των στερεών που εισέρχονται στο τρόφιμο, ενώ παράλληλα επιδιώκεται

υψηλή απώλεια νερού. Επομένως για τον ορισμό των βέλτιστων συνθηκών αναζητούνται ωσμωτικά διαλύματα στην βέλτιστη θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης που να επιφέρουν στο δείγμα τροφίμου, τόσο αυξημένη απώλεια νερού όσο και σχετικά χαμηλή πρόσληψη στερεών.

Για την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών (θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης, ωσμωτικό μέσο) ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων εφαρμόζεται μια σύγκριση των διαγραμμάτων απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών όλων των ωσμωτικών διαλυμάτων που μελετήθηκαν.

5.3.1 Επιλογή βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης ροδάκινων

Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η απώλεια του νερού και η πρόσληψη στερεών των ροδάκινων με προκατεργασία με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl και για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Χυμό μήλου 50Brix + NaCl 5% είναι εμφανώς πιο αυξημένη από αυτών των υπόλοιπων ωσμωτικών μέσων που μελετήθηκαν και για τις δύο θερμοκρασίες. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται σε συνδυασμό δύο παραγόντων, με τον πρώτο να είναι η τροποποίηση ή η καταστροφή της δομής του τροφίμου, λόγω της προκατεργασίας με ένζυμο και το δεύτερο για την περίπτωση της γλυκερόλης το μειωμένο μοριακό βάρος της σε σχέση με αυτού του συμπυκνωμένου χυμού μήλου. Το ένζυμο προκαλεί διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης του τρόφιμου και επομένως απομακρύνεται μεγαλύτερο ποσοστό νερού (Kucner et al. 2012). Επίσης, οι χημικές ουσίες με υψηλό μοριακό βάρος προκαλούν μικρότερη ωσμωτική πίεση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες κινητικές παραμέτρους (Cichowska et al., 2018).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για τον προσδιορισμό βέλτιστων συνθηκών απαιτούνται τα ωσμωτικά μέσα στην κατάλληλη θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης να προκαλούν αυξημένη απώλεια νερού και σχετικά χαμηλή πρόσληψη στερεών. Επομένως, οι βέλτιστες συνθήκες των δειγμάτων ροδάκινων που επιλέχθηκαν είναι α) προκατεργασία με ένζυμο και συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Γλυκερόλης 60% + NaCl 5% στους 45°C στα 200 min και β) προκατεργασία με ένζυμο και συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Χυμό μήλου 50Brix + NaCl 5% στους 45°C στα 200 min.

5.3.2 Επιλογή βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης βερίκοκων

Παρατηρώντας τα παραπάνω Διαγράμματα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών των βερίκοκων με προκατεργασία με ένζυμο για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Χυμός μήλου 50 Brix + 5% NaCl

και για τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος 60% Γλυκερόλη + 5% NaCl είναι πιο αυξημένη από αυτών των υπόλοιπων ωσμωτικών μέσων και για τις δύο θερμοκρασίες. Αυτό επιτυγχάνεται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω εξαιτίας της τροποποίησης ή της καταστροφής της δομής του τροφίμου, λόγω της προκατεργασίας με ένζυμο και το μειωμένο μοριακό βάρος της σε σχέση με αυτού του συμπυκνωμένου χυμού μήλου.

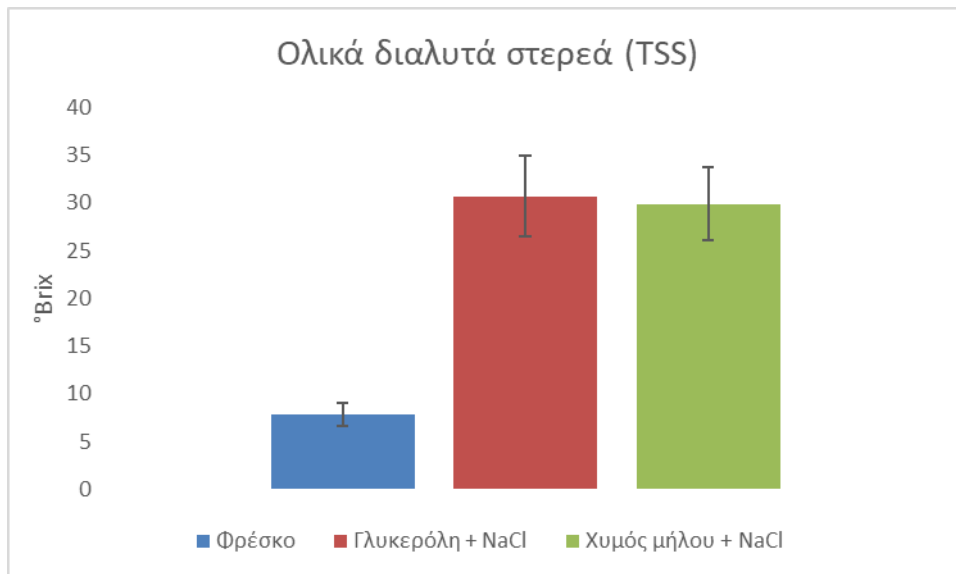
Στην περίπτωση των δειγμάτων βερίκοκων οι βέλτιστες συνθήκες που επιλέχθηκαν είναι α) προκατεργασία με ένζυμο και συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος γλυκερόλης 60% + NaCl 5% στους 45°C στα 200 min και β) προκατεργασία με ένζυμο και συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος χυμό μήλου 60% + NaCl 5% στους 45°C στα 200 min. Στα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες εξετάστηκαν τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά.

5.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά δειγμάτων βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης

5.4.1 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS)

5.4.1.1 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών ροδάκινων

Στα φρέσκα δείγματα ροδάκινων, καθώς και σε αυτά που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες, αφού προηγήθηκε η αποχύμωση τους, προσδιορίστηκε η ποσότητα των ολικών διαλυτών στερεών (°Brix). Στο παρακάτω Διάγραμμα 17. παρουσιάζονται τα ολικά διαλυτά στερεά για τα φρέσκα δείγματα ροδάκινων και αυτά με την ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες.



Διάγραμμα 17. Ολικά διαλυτά στερεά (TSS) (°Brix) των φρέσκων δειγμάτων ροδάκινων και αυτών που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση με τα ωσμωτικά διαλύματα στις βέλτιστες συνθήκες

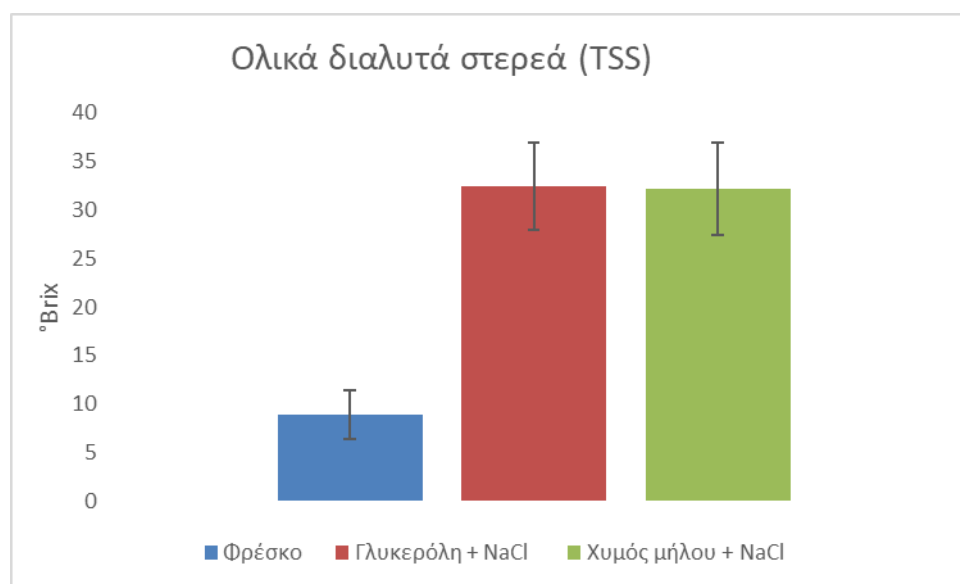
Από το παραπάνω Διάγραμμα 17. συμπεραίνεται ότι η ποσότητα των ολικών διαλυτών στερεών στα δείγματα με την ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες είναι αυξημένη από αυτήν του φρέσκου δείγματος ροδάκινου (7,8 °Brix < 29,9 °Brix < 30,7 °Brix). Πιο συγκεκριμένα, τα δείγματα με συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Γλυκερόλη + NaCl παρουσίασαν πιο έντονη αύξηση (30,7 °Brix) από αυτά με συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Χυμός μήλου + NaCl (29,9 °Brix).

Τα ολικά διαλυτά στερεά αποτελούν δείκτη ωρίμανσης του φρούτου με τις χαμηλότερες τιμές αυτών να προτιμώνται (Silva et al., 2018). Παράλληλα, όμως, αποτελούν απόδειξη ότι η ωσμωτική αφυδάτωση είναι επιτυχημένη. Επομένως, από τις παραπάνω τιμές των ολικών διαλυτών στερεών διαπιστώνεται ότι το ωσμωτικό μέσο συνδυασμός Χυμός μήλου + NaCl προσδίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, καθώς η τιμή των ολικών διαλυτών στερεών του συνδυασμού αυτού είναι μικρότερη από αυτήν του συνδυασμού Γλυκερόλης + NaCl.

5.4.1.2 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών βερικόκων

Τα δείγματα βερικόκων, όπως και περίπτωση των δειγμάτων ροδάκινων, που προέκυψαν από την διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης με τα βέλτιστα αποτελέσματα, μετρήθηκαν τα ολικά διαλυτά στερεά σε βαθμό °Brix. Τα αποτελέσματα των ολικών διαλυτών στερεών των φρέσκων βερικόκων και των

δειγμάτων που έχουν εφαρμοστεί ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες εμφανίζονται στο Διάγραμμα 18.



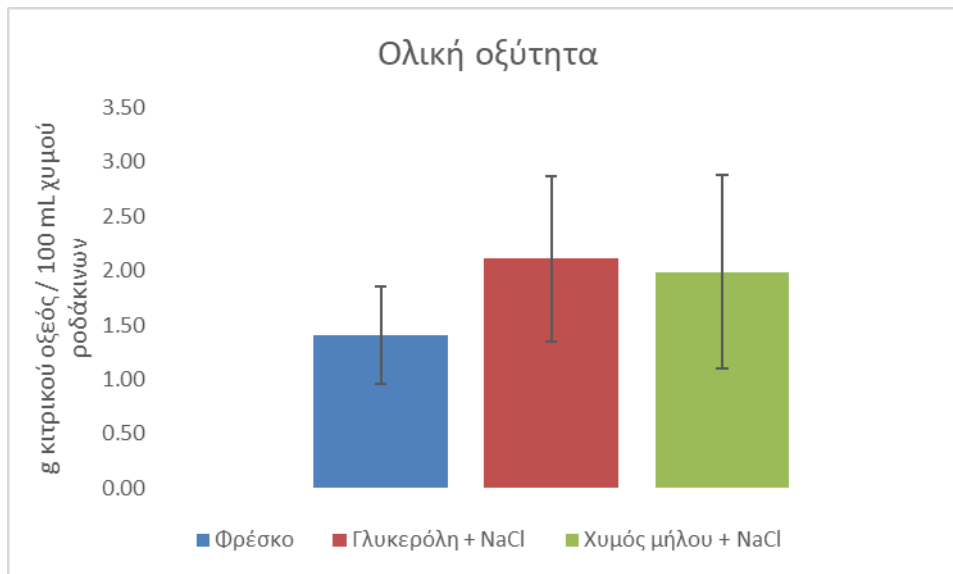
Διάγραμμα 18. Ολικά διαλυτά στερεά (TSS) (°Brix) των φρέσκων δειγμάτων βερίκοκων και αυτών που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα

Παρατηρώντας το παραπάνω Διάγραμμα 18, διαπιστώνεται για άλλη μια φορά ότι τα ολικά διαλυτά στερεά των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων είναι αυξημένα σε σχέση με το φρέσκο, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της διεργασίας. Ειδικότερα, την υψηλότερη ποσότητα ολικών διαλυτών στερεών παρουσίασε το δείγμα, στο οποίο εφαρμόστηκε ωσμωτικό διάλυμα συνδυασμού Γλυκερόλη + NaCl (32,5 °Brix) σε σχέση με τον συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Χυμό μήλου + NaCl (32,2 °Brix). Επομένως, η μέτρηση του συγκεκριμένου ωσμωτικού διαλύματος με τον χυμό μήλου φανερώνει ότι αποτελεί ένα αξιόπιστο ωσμωτικό μέσο για την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης με αρκετά καλά αποτελέσματα.

5.4.2 Προσδιορισμός ολικής οξύτητας

5.4.2.1 Προσδιορισμός ολικής οξύτητας ροδάκινων

Οι τιμές προσδιορισμού της ολικής οξύτητας για τα δείγματα φρέσκων και ωσμωτικά αφυδατωμένων ροδάκινων στις βέλτιστες συνθήκες μέσω της τιτλοδότησης με καυστικό νάτριο παρουσιάζονται στο παρακάτω Διάγραμμα 19.



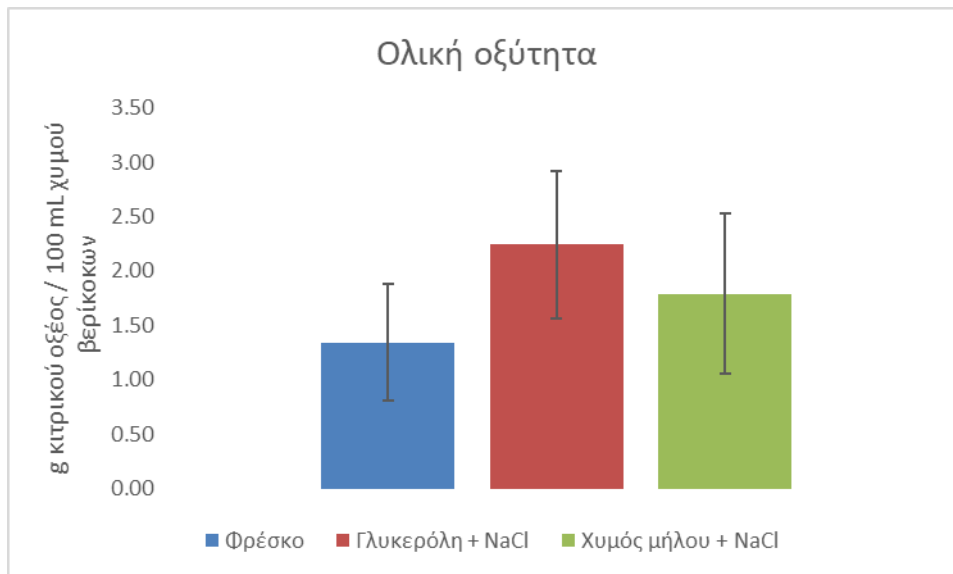
Διάγραμμα 19. Ολική οξύτητα των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα

Η μέτρηση της ολικής οξύτητας του φρέσκου δείγματος φρέσκων ροδάκινων βρέθηκε ίση με 1,41g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού ροδάκινων. Η τιμή αυτή βρίσκεται ανάμεσα στο εύρος τιμών των φρέσκων ροδάκινων που μελετήθηκε από τους Baccichet et al. (2021). Τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα με τον συνδυασμό Χυμό μήλου + NaCl παρουσίασαν μια μικρή αύξηση (1,98g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού ροδάκινων). Την μεγαλύτερη αύξηση ολικής οξύτητας εντοπίστηκε στο δείγμα, στο οποίο εφαρμόστηκε το ωσμωτικό διάλυμα συνδυασμού Γλυκερόλη + NaCl (2,11g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού ροδάκινων)

Η ποσότητα των οργανικών οξέων των φρέσκων ροδάκινων μειώνεται, καθώς το φρούτο ως βιολογικό συστατικό αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον κατά την συλλογή του καρπού, έως την κατανάλωση του, με αποτέλεσμα η ποσότητα του κιτρικού οξέος να μεταβάλλεται, ελαττώνοντας την τιτλοδοτούμενη ποσότητα καυστικού νατρίου (Ghafir et al., 2009). Επομένως, η αυξημένη τιμή της ολικής οξύτητας των ωσμωτικά αφυδατωμένων σε σχέση με το φρέσκο τρόφιμο αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας.

5.4.2.2 Προσδιορισμός ολικής οξύτητας βερίκοκων

Στο παρακάτω Διάγραμμα 20. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ολικής οξύτητας δειγμάτων φρέσκων βερίκοκων και αυτών μετά την ωσμωτική επεξεργασία στις βέλτιστες συνθήκες, με την μέθοδο της ογκομέτρησης με κυστικό νάτριο.



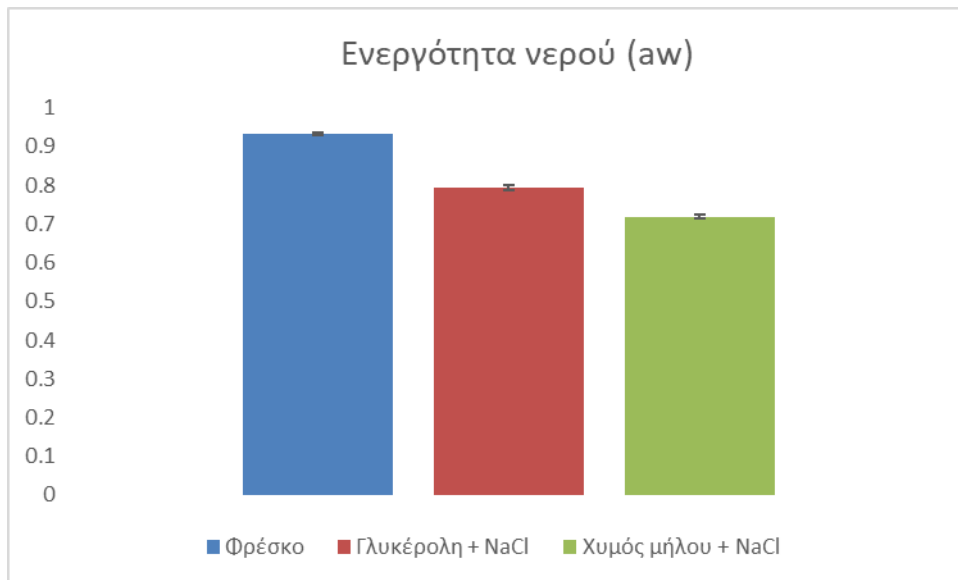
Διάγραμμα 20. Ολική οξύτητα των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα

Για τιμή της ολικής οξύτητας των φρέσκων δειγμάτων βερίκοκων, συμπεραίνεται, όπως και με τα δείγματα ροδάκινων, ότι είναι μικρότερη από αυτές των δειγμάτων με ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες (1,34g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού βερίκοκων < 1,79g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού βερίκοκων < 2,24g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού βερίκοκων). Ειδικότερα, ο συνδυασμός Χυμός μήλου + NaCl παρουσίασε μια μικρότερη αύξηση (1,79g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού ροδάκινων) συγκριτικά με τον συνδυασμό Γλυκερόλη + NaCl (2,24g κιτρικού οξέος /100 mL χυμού ροδάκινων).

5.4.3 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού (a_w)

5.4.3.1 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού ροδάκινων

Στο παρακάτω Διάγραμμα 21. παρουσιάζεται η τιμή της ενεργότητας των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινου στις βέλτιστες συνθήκες.

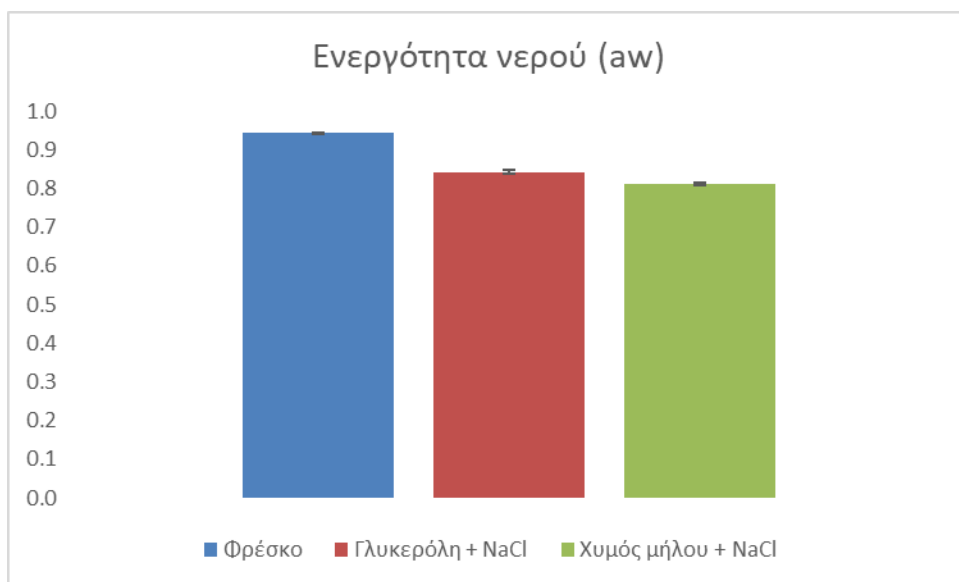


Διάγραμμα 21. Ενεργότητα (a_w) των δειγμάτων ροδάκινων που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα

Αναλύοντας το παραπάνω Διάγραμμα 21. εξάγεται το συμπέρασμα ότι η τιμή της ενεργότητας νερού των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινου είναι μικρότερη από του φρέσκου δείγματος (Γλυκερόλη + NaCl 0,7939 , Χυμός μήλου 0,7191, Φρέσκο 0,9322). Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει απώτερο σκοπό την μείωση της ενεργότητας νερού του τροφίμου για τον περιορισμό της ανάπτυξης μικροοργανισμών και την βελτίωση των θρεπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων. Επομένως, και τα δύο διαλύματα οδηγούν σε ικανοποιητικά αποτελέσματα, με το συνδυασμό Χυμό μήλου + NaCl να παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα.

5.4.3.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού βερίκοκων

Όπως και στην περίπτωση των ροδάκινων, υπολογίστηκε η ενεργότητα των φρέσκων δειγμάτων βερίκοκου, καθώς και των δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες. Στο ακόλουθο Διάγραμμα 22. παρουσιάζεται η τιμή της της ενεργότητας των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων βερίκοκου με τα βέλτιστα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 22. Ενεργότητα (a_w) των δειγμάτων βερίκοκων που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό διάλυμα

Από το παραπάνω Διάγραμμα 22. διαπιστώνεται και για την τιμή της ενεργότητας νερού του φρέσκου δείγματος βερίκοκου (0,9425) ότι είναι αρκετά μεγαλύτερη από την ενεργότητα των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων. Ο συνδυασμός Γλυκερόλης + NaCl παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή ενεργότητας από αυτήν του συνδυασμού Χυμού μήλου + NaCl (Γλυκερόλη + NaCl 0,8427 > Χυμός μήλου + NaCl 0,8112). Αποδεικνύεται για τα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα βερίκοκων, όπως και με ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ροδάκινων, ότι τα διαλύματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιτυγχάνουν την μείωση της ενεργότητας, με τον συνδυασμό Χυμό μήλου + NaCl χαρακτηρίζεται από καλύτερα αποτελέσματα.

5.4.4 Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος

5.4.4.1 Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος ροδάκινων

Η αλλαγή χρώματος παίζει καθοριστικό ρόλο στην υποβάθμιση της συνολικής ποιότητας και της αισθητηριακής αποδοχής του φρέσκου καρπού. Τα φρέσκα φρούτα, όπως τα ροδάκινα είναι επιρρεπή στην ενζυμική αμαύρωση ως αποτέλεσμα της οξειδωσης των πολυφαινόλων από την οξειδάση πολυφαινόλης (PPO) παρουσία οξυγόνου. (Toivonen et al., 2008)

Στον παρακάτω Πίνακα 37. παρουσιάζονται οι χρωματικές παράμετροι L,a,b μαζί με τα σφάλματά τους, των ωσμωτικά αφυδατωμένων ροδάκινων στις βέλτιστες συνθήκες, καθώς και των φρέσκων δειγμάτων ροδάκινων.

Πίνακας 37. Παράμετροι χρώματος των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό μέσο

Είδος δείγματος	L	a	b
Φρέσκο	26,37±1,56	5,64±0,24	9,18±0,60
Γλυκερόλη + NaCl	23,13±0,74	6,72±1,10	9,98±1,74
Χυμός μήλου + NaCl	23,70±1,35	6,64±1,43	9,75±1,45

Από τον παραπάνω Πίνακα 37. διαπιστώνεται ότι η χρωματική παράμετρος L που υποδηλώνει την φωτεινότητα του φρούτου μειώνεται στα ωσμωτικά αφυδατωμένα ροδάκινα ($23,13 \pm 0,74 < 23,70 \pm 1,35 < 26,37 \pm 1,56$). Συμπεραίνεται, επίσης, ότι η τιμή της χρωματικής παραμέτρου a που περιγράφει την ερυθρότητα, και η τιμή του b, παράμετρος του κίτρινου χρώματος, χαρακτηρίζονται από αύξηση. Η μείωση της τιμής L και/ή η αύξηση της τιμής a θεωρούνται ως δείκτες της ενζυμικής αμαύρωσης του φρούτου (Gorny et al., 1998). Επομένως, τα δείγματα ροδάκινων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με τον συνδυασμό Χυμό μήλου + NaCl επηρεάζονται λιγότερο από την υποβάθμιση της ποιότητας, λόγω της ενζυμικής αμαύρωσης από τα ωσμωτικά αφυδατωμένα με Γλυκερόλη + NaCl.

5.4.4.2 Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος βερίκοκων

Οι τιμές των παραμέτρων χρώματος L,a,b μαζί με τα σφάλματα τους που προσδιορίστηκαν για τα φρέσκα δείγματα βερίκοκων και αυτών που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση με τα βέλτιστα αποτελέσματα εμφανίζονται στον Πίνακα 38.

Πίνακας 38. Παράμετροι χρώματος των φρέσκων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό μέσο

Είδος δείγματος	L	a	b
Φρέσκο	26,99±1,41	5,65±0,54	8,31±0,97
Γλυκερόλη + NaCl	26,88±1,20	5,81±0,71	9,80±1,92
Χυμός μήλου + NaCl	26,93±0,84	5,94±1,73	9,94±1,55

Παρατηρώντας τον παραπάνω Πίνακα 38. συμπεραίνεται μία τάση αύξησης των παραμέτρων a και b (κόκκινου και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα) μετά την ωσμωτική αφυδάτωση με κάθε ωσμωτικό μέσο. Αντίθετα, η τιμή της παραμέτρου της φωτεινότητας L δεν μεταβάλλεται σημαντικά ($26,99 \pm 1,41 \approx 26,88 \pm 1,20 \approx 26,93 \pm 0,84$)

(Forni et al., 1997). Άρα, τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα βερίκοκων του συνδυασμού Γλυκερόλης + NaCl διατηρούν το χρώμα του φρέσκου δείγματος και είναι λιγότερο επιρρεπή στην ενζυμική αμαύρωση από αυτά με τον συνδυασμό Χυμό μήλου + NaCl.

5.4.5 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH

5.4.5.1 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH ροδάκινων

Η αντιοξειδωτική δράση αποτελεί ένα επιπλέον ποιοτικό χαρακτηριστικό που αξιολογήθηκε στα φρέσκα και στα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ροδάκινων, με αυτήν να χαρακτηρίζεται από τους σημαντικούς παράγοντες αξιολόγησης των φρούτων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η τιμή IC₅₀, δηλαδή η συγκέντρωση του διαλύματος για την οποία καταστρέφεται το 50% του DPPH υπολογίζεται από την καμπύλη βαθμονόμησης %DPPH_{rem} – C. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφεται η παράμετρος IC₅₀ και ο συντελεστής R² για τα φρέσκα δείγματα αλλά και σε αυτά που εφαρμόστηκε ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό μέσο.

Πίνακας 39. Αντιοξειδωτική δράση φρέσκων ροδάκινων και δειγμάτων με ωσμωτική αφυδάτωση βέλτιστων αποτελεσμάτων για κάθε ωσμωτικό μέσο

Είδος δείγματος	IC ₅₀ (mL/mL)	R ²
Φρέσκο	1,78	0,2719
Γλυκερόλη + NaCl	0,23	0,9248
Χυμός μήλου + NaCl	1,19	0,2396

Από τον παραπάνω Πίνακα διαπιστώνεται ότι το ωσμωτικά αφυδατωμένο δείγμα με συνδυασμό Γλυκερόλης + NaCl έχει την χαμηλότερη τιμή IC₅₀ από αυτό με ωσμωτικό μέσο συνδυασμό Χυμού + NaCl ως δείγμα αναφοράς το φρέσκο δείγμα και επομένως την υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα. Αντίθετα, η διαφορά της τιμής IC₅₀ του ωσμωτικά αφυδατωμένου δείγματος με συνδυασμό Χυμού μήλου + NaCl από αυτήν του δείγματος αναφοράς, δηλαδή του φρέσκου είναι μικρότερη. Επομένως, η μεγαλύτερη τιμή IC₅₀ μεταφράζεται ως μια μειωμένη αντιοξειδωτική δράση.

5.4.5.2 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με την μέθοδο DPPH βερίκοκων

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των φρέσκων δειγμάτων βερίκοκων αλλά και αυτών που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες για κάθε ωσμωτικό μέσο παρουσιάζεται στον Πίνακα 40. αντίστοιχα.

Πίνακας 40. Αντιοξειδωτική δράση φρέσκων βερίκοκων και δειγμάτων με ωσμωτική αφυδάτωση βέλτιστων αποτελεσμάτων για κάθε ωσμωτικό μέσο

Είδος δείγματος	IC50 (mL/mL)	R ²
Φρέσκο	3,04	0,6133
Γλυκερόλη + NaCl	0,55	0,8496
Χυμός μήλου + NaCl	1,79	0,1154

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν διαπιστώνεται λοιπόν ότι τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα με συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος Γλυκερόλης + NaCl έχουν βελτιωμένη αντιοξειδωτική ικανότητα, καθώς η τιμή IC50 είναι αρκετά χαμηλή. Αντίθετα, τα φρέσκα και ωσμωτικά αφυδατωμένα με Χυμό μήλου + NaCl εμφανίζουν μεγαλύτερη τιμή IC50, συνεπώς χαμηλότερη αντιοξειδωτική δράση με τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με Χυμό μήλου + NaCl να παρουσιάζουν λίγο καλύτερα αποτελέσματα αντιοξειδωτικής δράσης.

Από την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι η προεπεξεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο συνδυασμός Χυμός μήλου + NaCl επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα διατηρώντας συνολικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων.

5.5 Αξιολόγηση τελικών προϊόντων

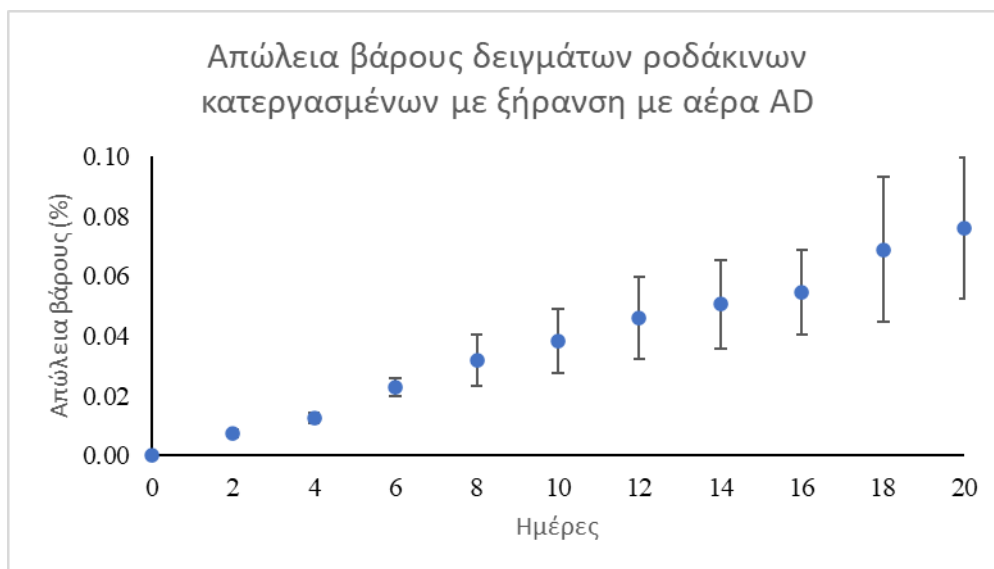
Η αξιολόγηση των τελικών προϊόντων πραγματοποιήθηκε στα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων με προεπεξεργασία με ένζυμο και ωσμωτικό μέσο Χυμός μήλου + NaCl.

5.5.1 Προσδιορισμός απώλειας βάρους

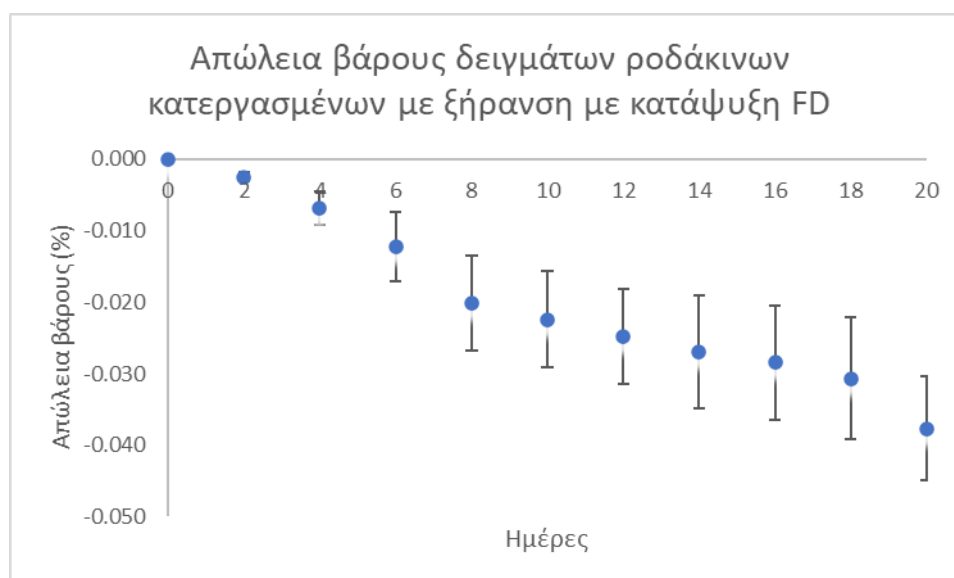
5.5.1.1 Προσδιορισμός απώλειας βάρους ροδάκινων

Η απώλεια βάρους των δειγμάτων ροδάκινου που υπέστησαν κατεργασία ξήρανσης με αέρα (Air Drying (AD)), ξήρανσης με κατάψυξη (Freeze Drying (FD)) και αποθήκευσης με συσκευασία υπό κενό αέρα (Vacuum Sealed (VS)) στην διάρκεια του

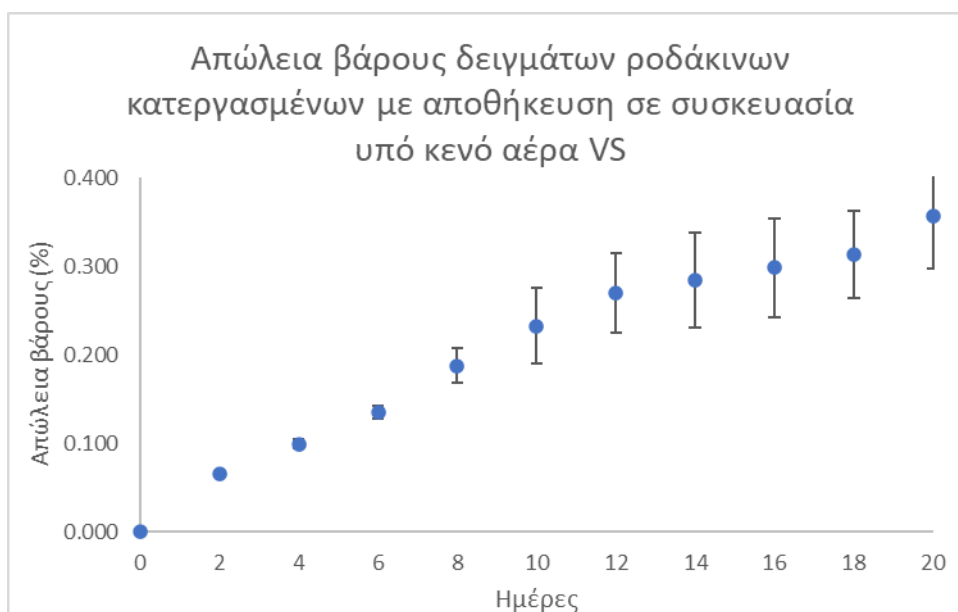
χρόνου 20 ημερών παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 23., 24., 25. Αυτή υπολογίστηκε για τα κατεργασμένα δείγματα ροδάκινων από την εξίσωση 20.



Διάγραμμα 23. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 24. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 25. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου

Η ξήρανση είναι η καλύτερη μέθοδος διατήρησης φρούτων και λαχανικών, ελαττώνοντας όχι μόνο τον όγκο της πρώτης ύλης, αλλά και το βάρος της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής του προϊόντος, περιορίζοντας τη σπατάλη τροφίμων. (Calín-Sánchez Á et al., 2020)

Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνεται ότι η απώλεια βάρους των κατεργασμένων δειγμάτων με ξήρανση με αέρα και αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα αυξάνεται με τον χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι τα δείγματα που υπέστησαν κατεργασία με ξήρανση με αέρα παρουσιάζουν μια σχεδόν γραμμική απώλεια βάρους με μέγιστη τιμή ποσοστού 0,076 % την 20^η μέρα. Αντίθετα, στην αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα τα δείγματα παρουσιάζουν μια γραμμική απώλεια βάρους μέχρι την 12^η μέρα, με ποσοστό 0,270 % και μετά εμφανίζει μια εκθετική απώλεια βάρους, με μέγιστο ποσοστό απώλειας βάρους 0,357 % την 20^η μέρα.

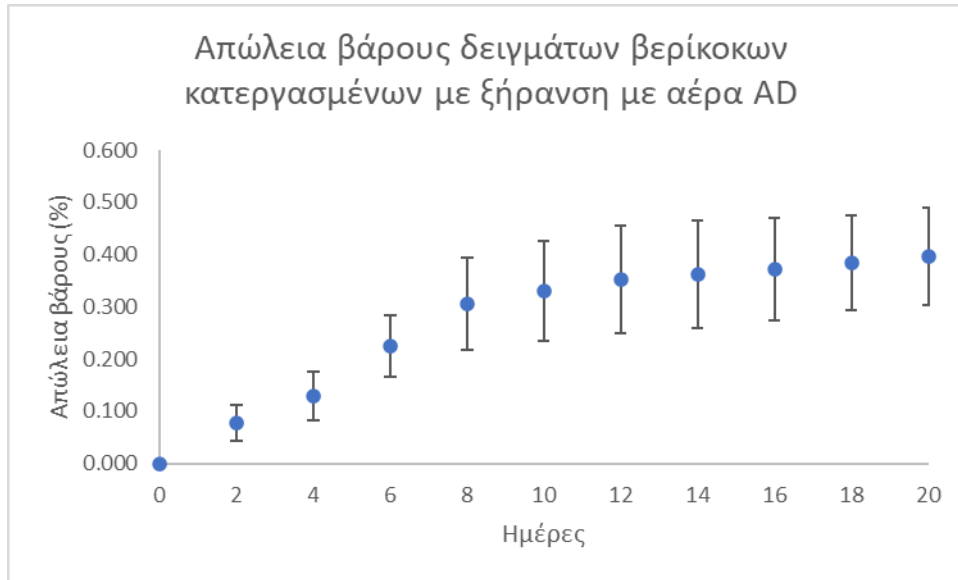
Η απώλεια βάρους των δειγμάτων με ξήρανση με κατάψυξη μειώνεται με τον χρόνο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τα κατεργασμένα δείγματα που έχουν υποστεί ξήρανση με κατάψυξη είναι εύκολο να απορροφήσουν νερό σε ένα ανοικτό περιβάλλον συσκευασίας, όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση, εξαιτίας της λεπτής πορώδους μικροδομής τους (González et al., 2020; Nowak et al., 2020). Η απώλεια βάρους στα κατεργασμένα δείγματα ξήρανσης με κατάψυξη χαρακτηρίζεται ως μια

γραμμική μείωση, στην οποία η διαφορά του βάρους των δειγμάτων κατά την διάρκεια του χρόνου αποθήκευσης δεν παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, μικρότερη από 1%. (Ημέρα 18 -0,031 , Ημέρα 20 -0,038%)

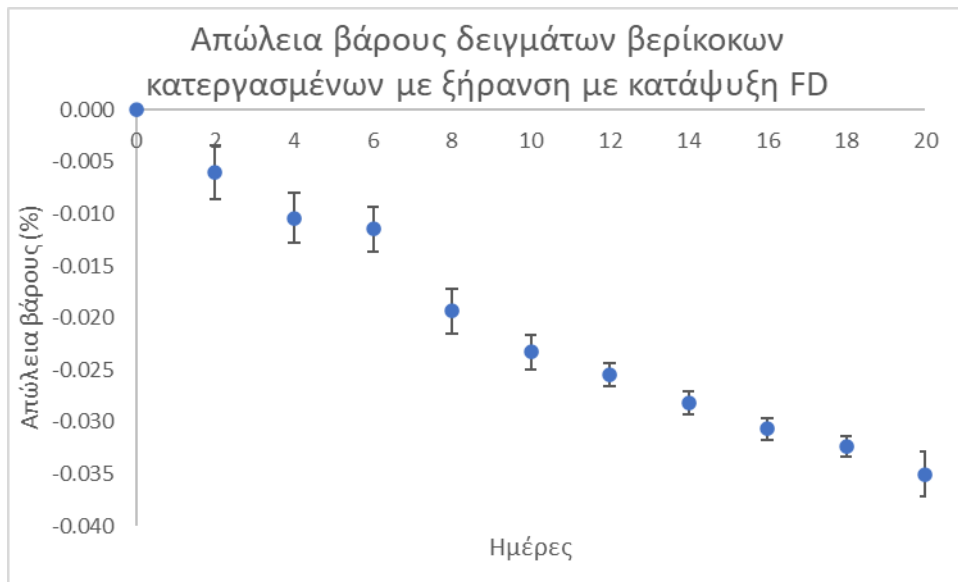
Συγκρίνοντας τα παραπάνω Διαγράμματα 23., 24., 25. διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα της απώλειας βάρους των δειγμάτων των διάφορων κατεργασιών έχουν διαφορές μεταξύ τους. Η ξήρανση με αέρα είναι αρκετά αποτελεσματική διεργασία με αρκετά καλά αποτελέσματα, καθώς δεν παρουσιάζει μεγάλη απώλεια βάρους κατά τον χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων (μέγιστο ποσοστό απώλειας βάρους 0,076%) . Αντίθετα, η αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα εμφανίζει μια αυξημένη απώλεια βάρους των δειγμάτων ροδάκινων με αποτέλεσμα ο χρόνος ζωής των δειγμάτων ροδάκινων να είναι αρκετά μικρότερος. Τέλος, η απώλεια βάρους της ξήρανσης με κατάψυξη είναι πολύ ικανοποιητική στην διατήρηση του βάρους με μείωση , καθώς η ξήρανση με κατάψυξη χαρακτηρίζεται από τις πιο επιτυχημένες διεργασίες συντήρησης τροφίμων, λόγω της μείωσης της ενεργότητας νερού και την αύξηση της διάρκειας ζωής των φρούτων και λαχανικών.

5.5.1.2 Προσδιορισμός απώλειας βάρους βερίκοκων

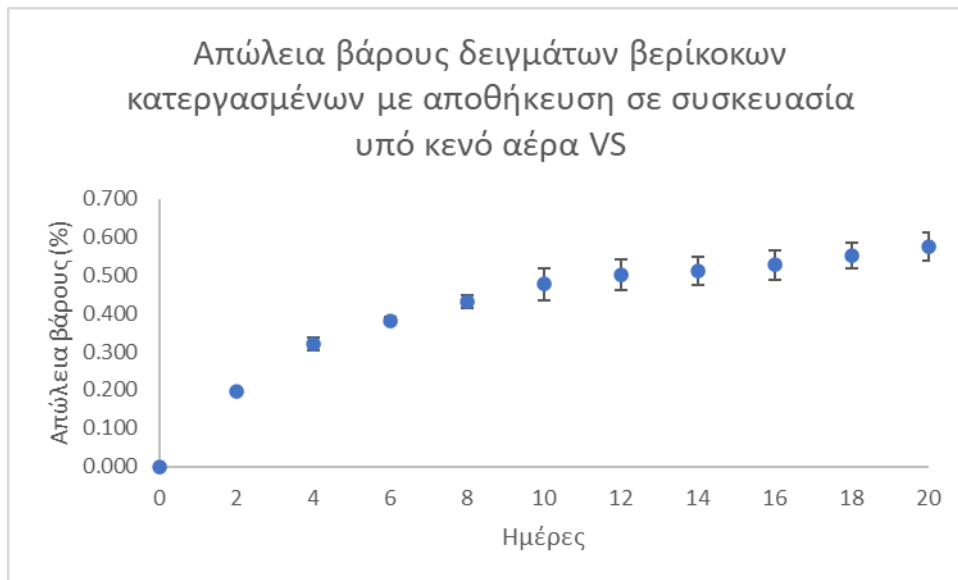
Στα παρακάτω Διαγράμματα 26., 27., 28., παρουσιάζονται, αντίστοιχα, η απώλεια βάρους των δειγμάτων βερίκοκων που υπέστησαν κατεργασία ξήρανσης με αέρα (AD), ξήρανσης με κατάψυξη (FD) και αποθήκευσης με συσκευασία υπό κενό αέρα (VS) στην διάρκεια των 20 ημερών. Για τα κατεργασμένα δείγματα βερίκοκων η απώλεια βάρους υπολογίστηκε από την εξίσωση 20.



Διάγραμμα 26. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 27. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 28. Απώλεια βάρους κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου

Στα παραπάνω Διαγράμματα 26., 27., 28., όπως και στην περίπτωση των δειγμάτων ροδάκινων, παρατηρείται ότι η απώλεια βάρους των δειγμάτων βερίκοκου που κατεργάστηκαν με ξήρανση με αέρα και αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα παρουσιάζουν μια αύξηση με τον χρόνο. Ειδικότερα, στην ξήρανση με αέρα τα δείγματα εμφανίζουν μια σχεδόν γραμμική απώλεια βάρους έως την 10^η μέρα με ποσοστό 0,331 %. Αντίθετα, στην αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα τα δείγματα παρουσιάζουν μια γραμμική απώλεια βάρους μέχρι την 12^η μέρα, με ποσοστό 0,501 % και μετά μια εκθετική απώλεια βάρους, με μέγιστο ποσοστό απώλειας βάρους 0,576 % την 20^η μέρα.

Αντίστοιχα, όπως και με τα δείγματα κατεργασμένων ροδάκινων, στην ξήρανση με κατάψυξη η απώλεια βάρους των δειγμάτων βερίκοκων χαρακτηρίζεται από μείωση με τον χρόνο. Η ελάττωση αυτήν, σχετίζεται με την πρόσληψη υγρασίας, λόγω της λεπτής πορώδους μικροδομής τους κατά την αποθήκευση σε συσκευασία με μη ιδανικές συνθήκες αποθήκευσης (González et al., 2020; Nowak et al., 2020). Η απώλεια βάρους στα κατεργασμένα δείγματα βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη είναι επίσης γραμμική με την διαφορά του βάρους των δειγμάτων κατά τον χρόνο αποθήκευσης να μην ξεπερνά το 1%. (Ημέρα 18 -0,032% , Ημέρα 20 -0,035%)

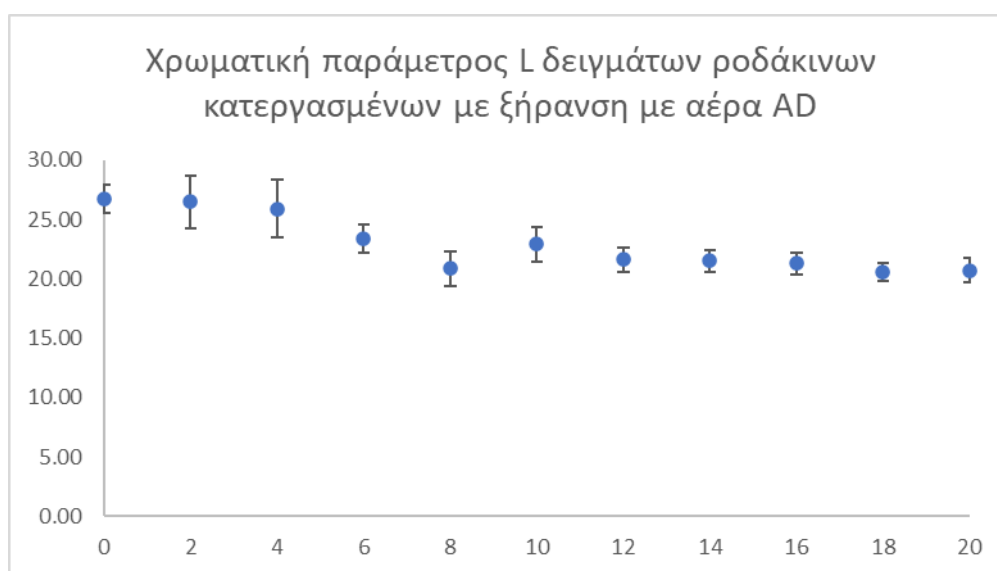
Από τα παραπάνω Διαγράμματα συμπεραίνεται ότι η απώλεια βάρους των δειγμάτων βερίκοκων που ακολούθησαν τις διάφορες διεργασίες παρουσιάζουν διαφορές. Στην ξήρανση με αέρα, οι τιμές της απώλειας βάρους είναι αρκετά ικανοποιητικές, με αυτές να μην αποκλίνουν αρκετά μεταξύ τους κατά τον χρόνο αποθήκευσης. Η αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα, όμως, παρουσιάζει μια αυξημένη απώλεια βάρους, με αποτέλεσμα τα δείγματα βερίκοκων να

χαρακτηρίζονται από μικρότερο χρόνο ζωής. Όσον αφορά την απώλεια βάρους της ξήρανσης με κατάψυξη είναι πολύ ικανοποιητική στην διατήρηση του βάρους.

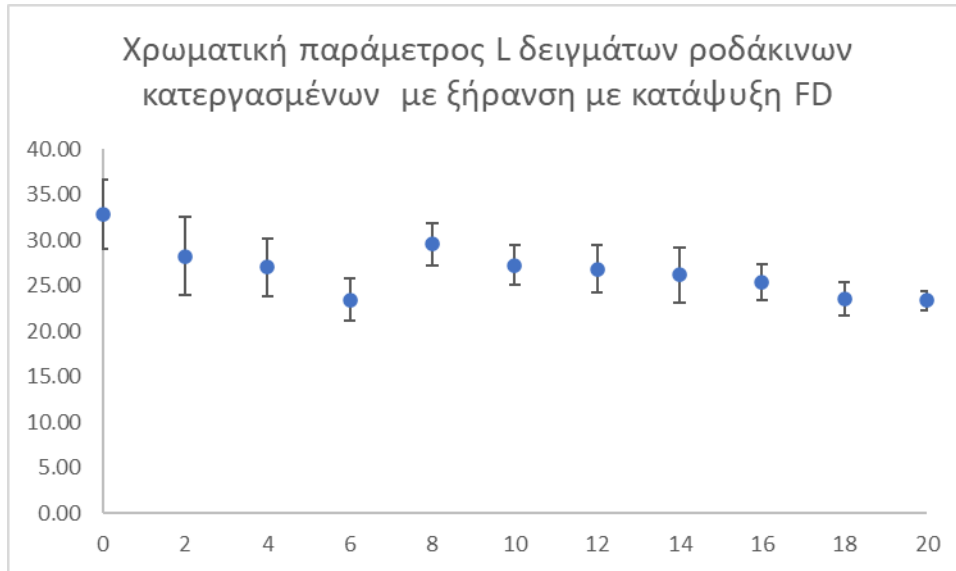
5.5.2 Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος

5.5.2.1 Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος ροδάκινων

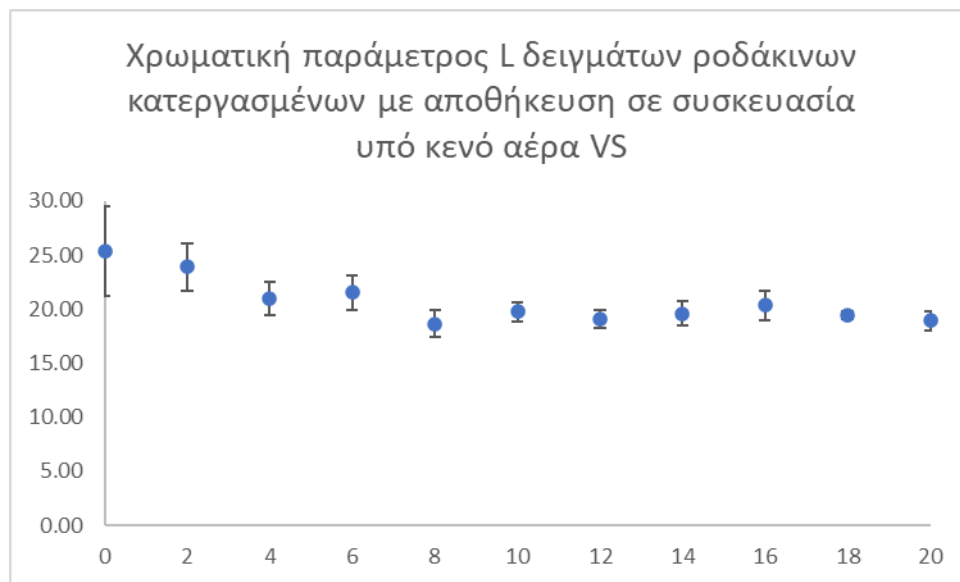
Στα παρακάτω Διαγράμματα παρουσιάζονται οι χρωματικές παράμετροι L, a, b των κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα (AD), ξήρανση με κατάψυξη (FD) και αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα (VS) στην διάρκεια των 20 ημερών.



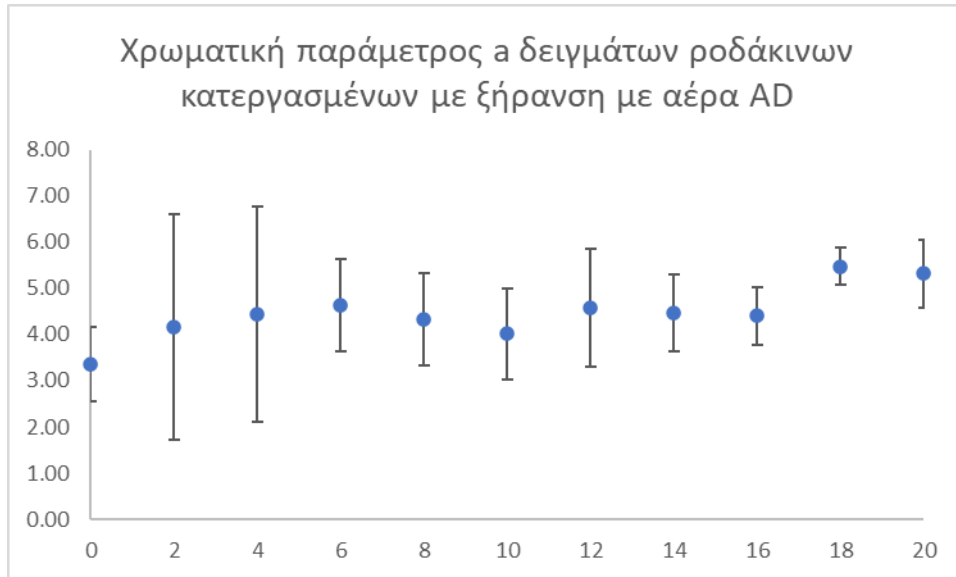
Διάγραμμα 29. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



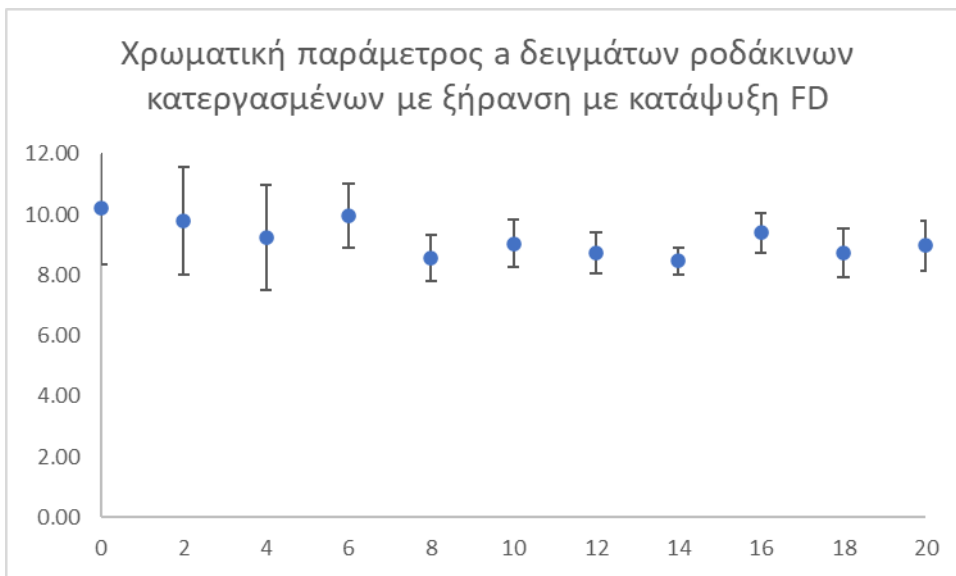
Διάγραμμα 30. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



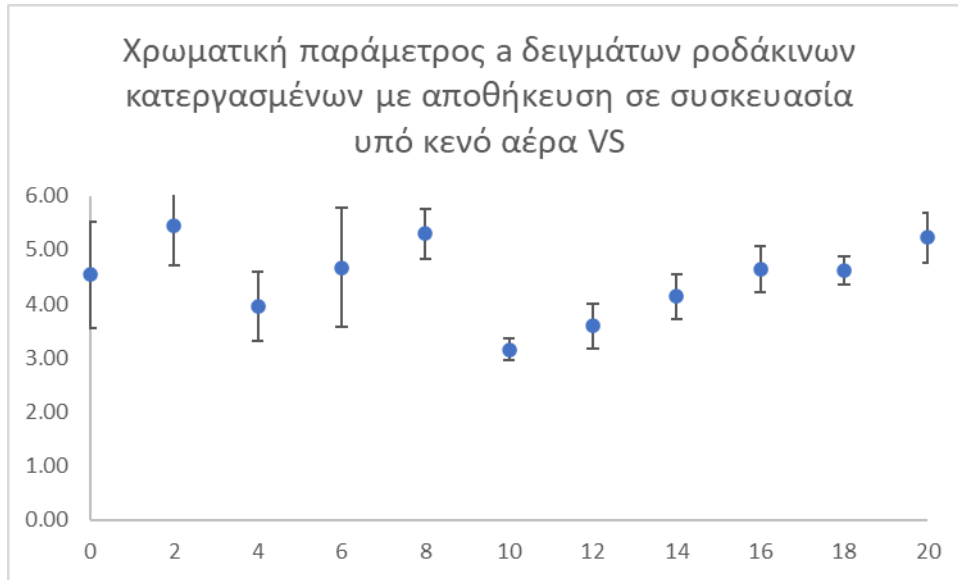
Διάγραμμα 31. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου



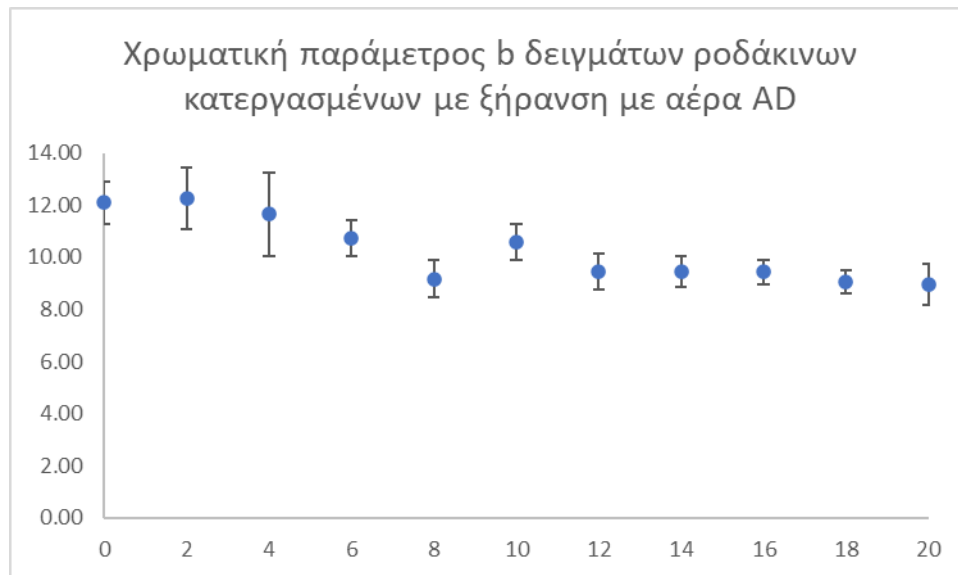
Διάγραμμα 32. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



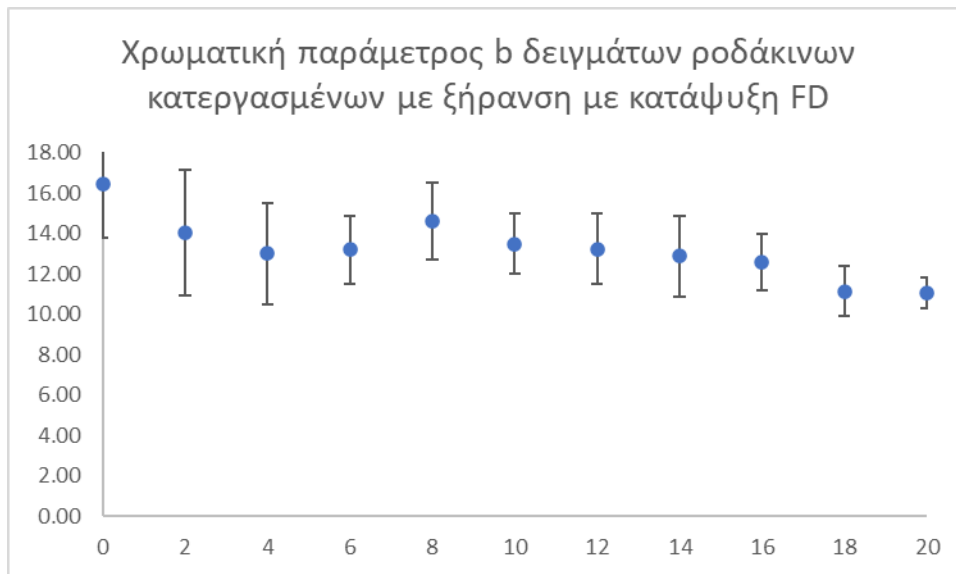
Διάγραμμα 33. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



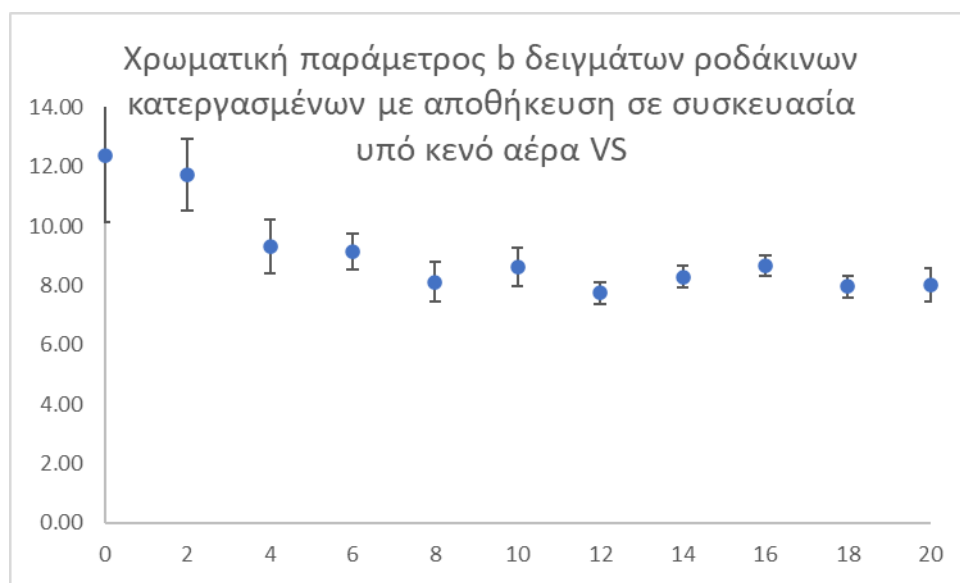
Διάγραμμα 34. Παράμετρος χρώματος *a* ερυθρότητας *a* κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 35. Παράμετρος κίτρινου χρώματος *b* κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 36. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 37. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου

Παρατηρώντας τα παραπάνω Διαγράμματα ότι το χρώμα των δειγμάτων διατηρείται. Στα δείγματα ροδάκινων που έχουν υποστεί ξήρανση με αέρα παρατηρείται ότι η παράμετρος L έχει την τάση να μειώνεται τις πρώτες 8 μέρες αποθήκευσης, στην συνέχεια την 10^η μέρα αυξάνεται και μετά μειώνεται ξανά μέχρι την 20^η μέρα. Ωστόσο, η παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L των κατεργασμένων δειγμάτων με ξήρανση με κατάψυξη μειώνεται έως την 6^η ημέρα αποθήκευσης

ακολουθώντας αύξηση την 8^η μέρα αποθήκευσης και τέλος μείωση έως την 20^η μέρα αποθήκευσης. Τέλος, στην αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα τα κατεργασμένα δείγματα παρουσιάζουν μια μείωση από την 0^η ημέρα έως την 4^η ημέρα, στην συνέχεια μια αύξηση την 6^η και 10^η μέρα, μείωση την 12^η μέρα, αύξηση την 14^η και 16^η μέρα και τέλος μείωση έως την 20^η μέρα. Η μείωση αυτήν της τιμής παραμέτρου φωτεινότητας L δεν φαίνεται να είναι σημαντική σε όλες τις διεργασίες και οφείλεται στην μη ενζυμική αμαύρωση του φρούτου (Egiz et. al, 2020).

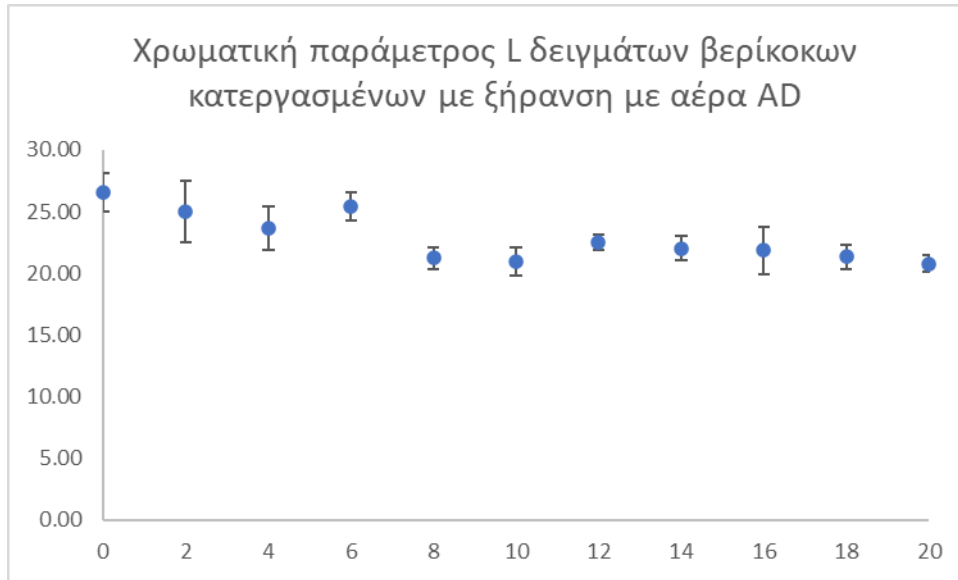
Όσον αναφορά, την χρωματική παράμετρο ερυθρότητας a παρατηρείται ότι για τα κατεργασμένα δείγματα ροδάκινων με ξήρανση με αέρα και με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα παρουσιάζεται μια τάση για αύξηση, ενώ στην ξήρανση με κατάψυξη μία μείωση. Τέλος, η παράμετρος κίτρινου χρώματος b για δείγματα που έχουν υποστεί ξήρανση με αέρα, ξήρανση με κατάψυξη και αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα μειώνεται κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Επομένως, η μεταβολή χρώματος των δειγμάτων ροδάκινων στην ξήρανση με κατάψυξη είναι πολύ μικρότερη από αυτήν στις άλλες δύο μεθόδους και άρα καλύτερη στην διατήρηση χρώματος.



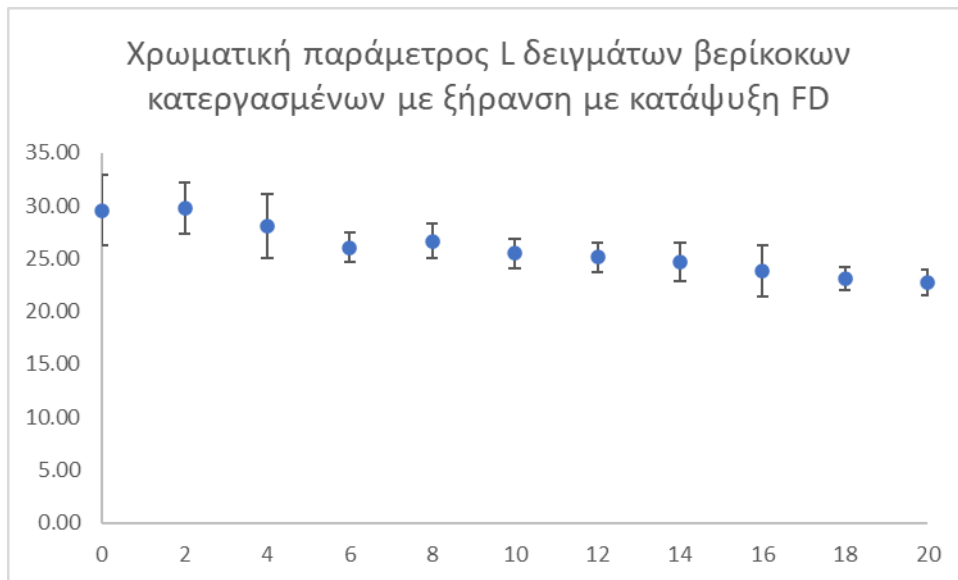
Εικόνα 19. Χρώμα των κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων α) με κατάψυξη (αριστερά), β) με αέρα (κέντρο), γ) αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό (δεξιά) μετά από 20 ημέρες αποθήκευσης

5.5.2.2 Προσδιορισμός μεταβολής χρώματος βερικόκων

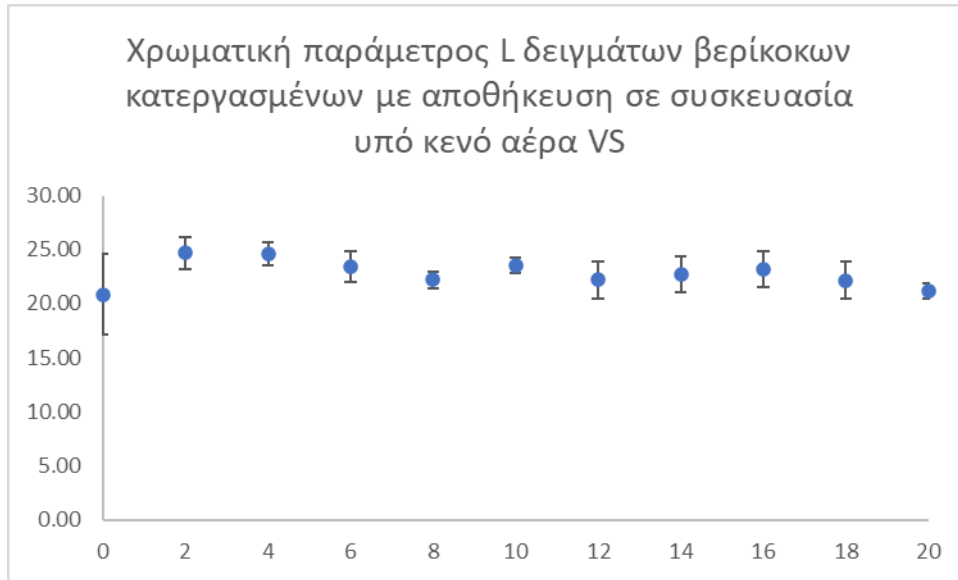
Στα ακόλουθα Διαγράμματα εμφανίζονται οι παράμετροι χρώματος L, a, b των κατεργασμένων δειγμάτων βερικόκων με ξήρανση με αέρα, ξήρανση με κατάψυξη και αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα στην διάρκεια των 20 ημερών. Οι μετρήσεις, έχουν ληφθεί επίσης ανά 2 μέρες.



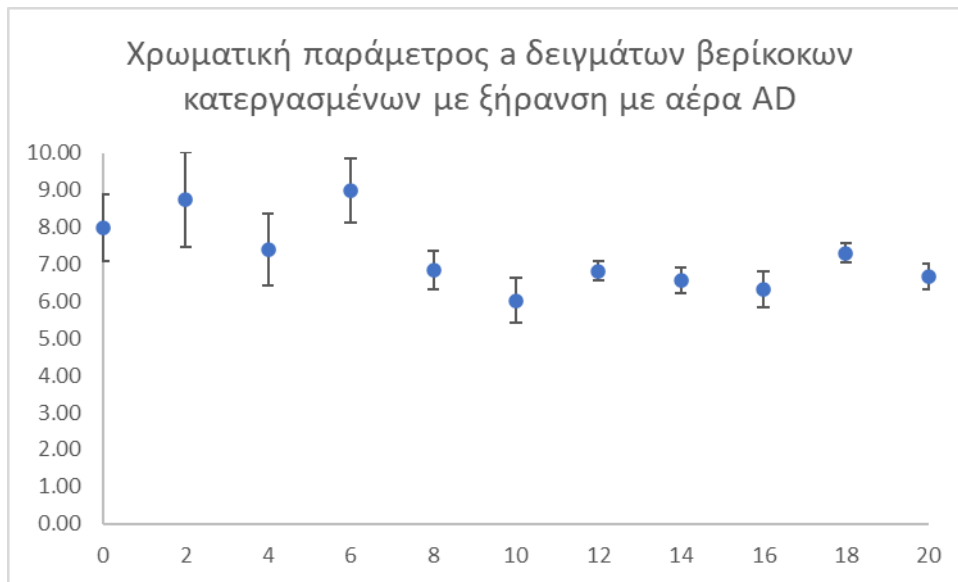
Διάγραμμα 38. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



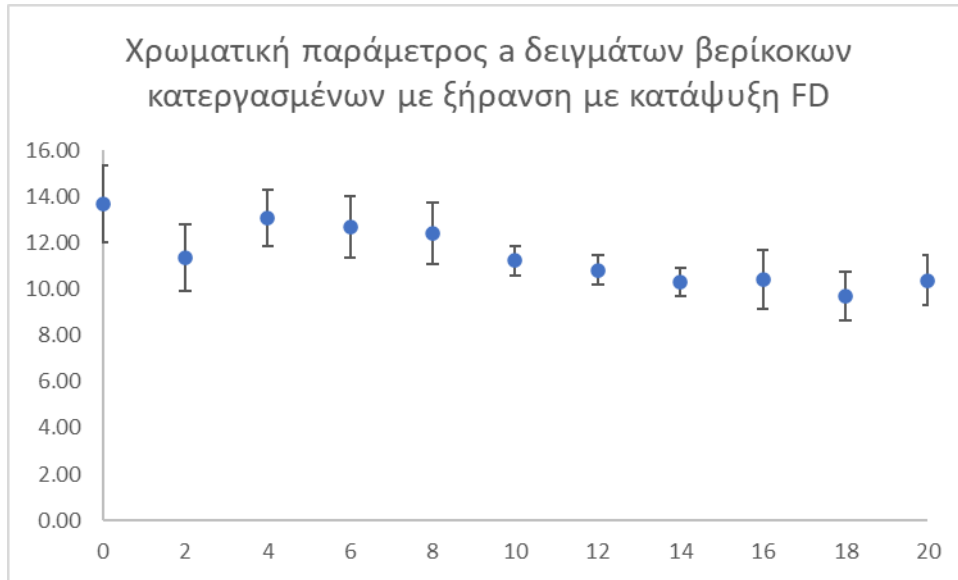
Διάγραμμα 39. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



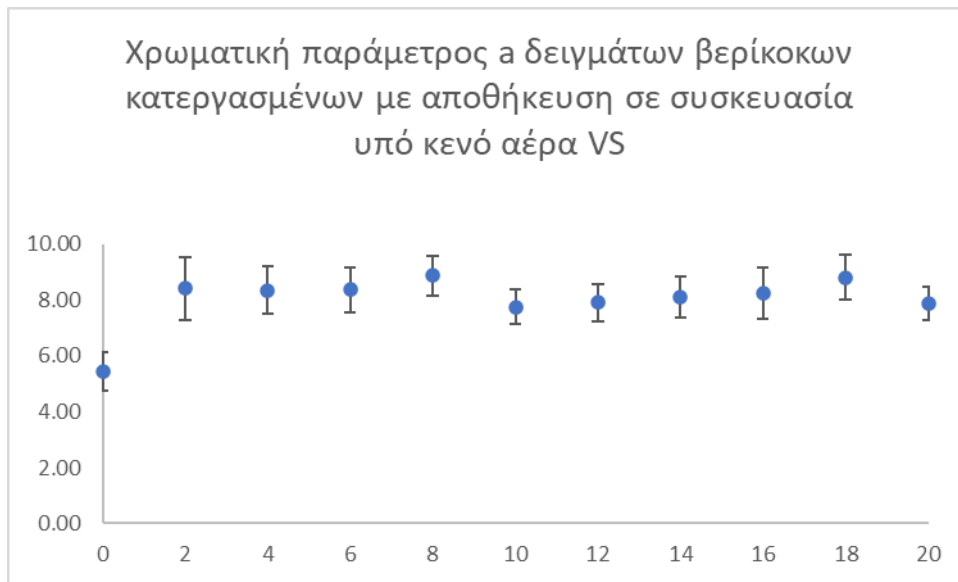
Διάγραμμα 40. Παράμετρος χρώματος φωτεινότητας L κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου



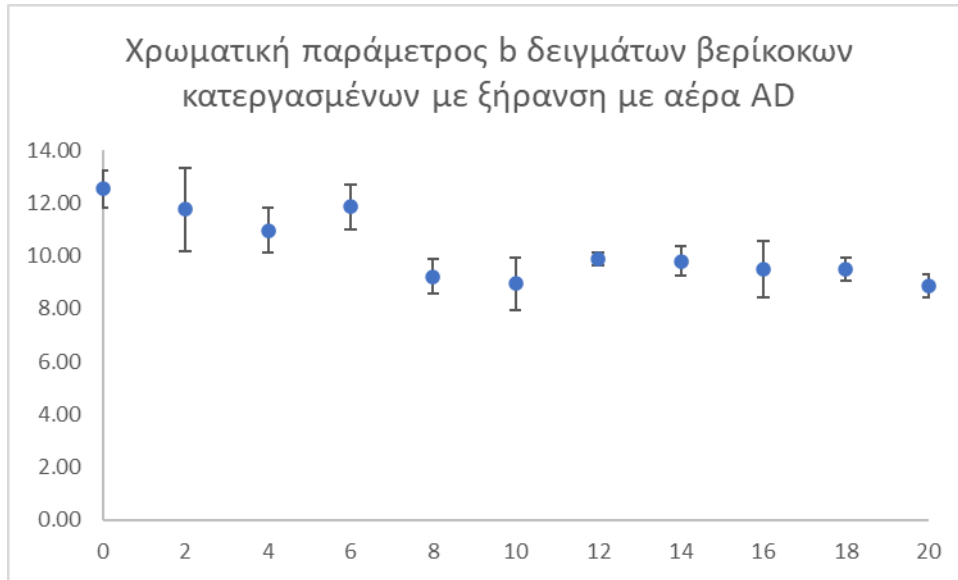
Διάγραμμα 41. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



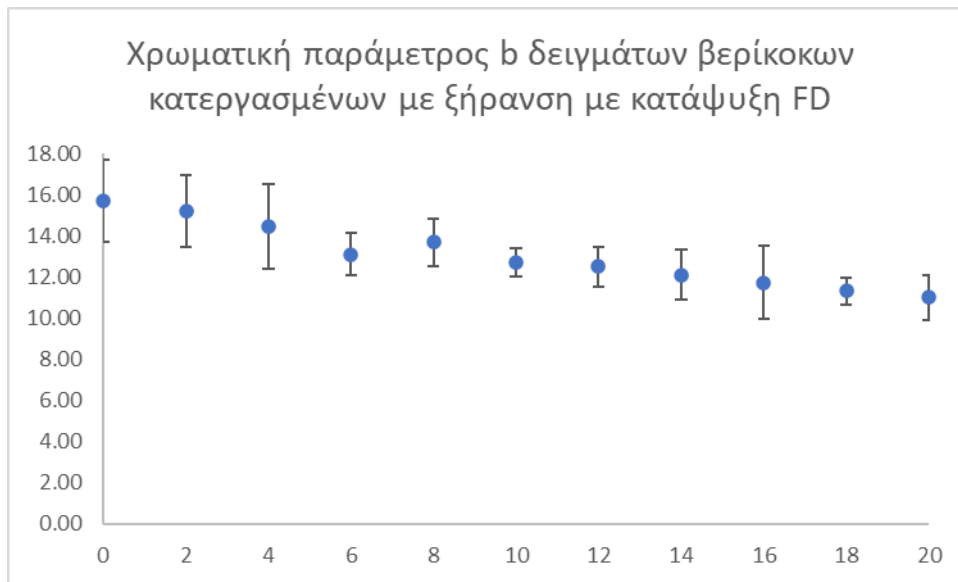
Διάγραμμα 42. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



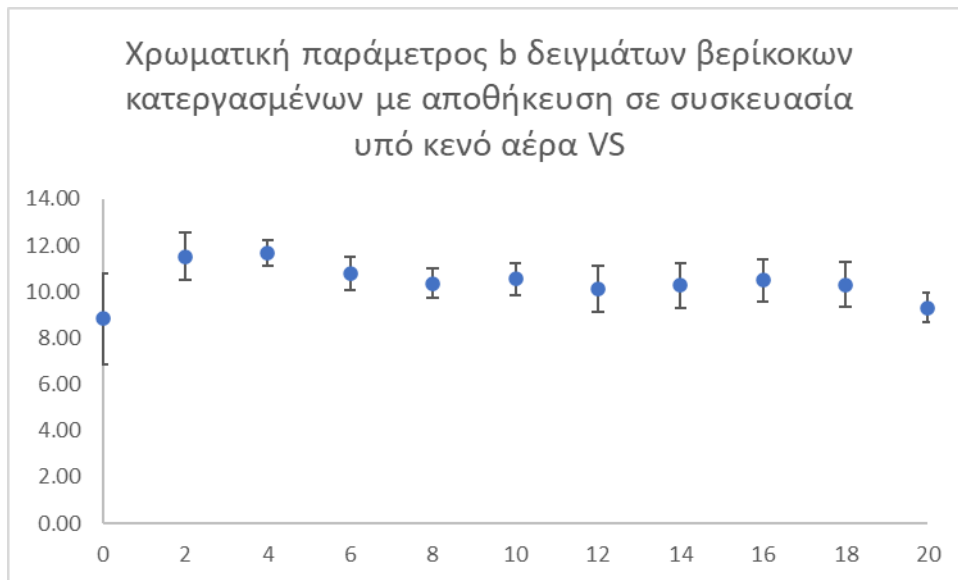
Διάγραμμα 43. Παράμετρος χρώματος ερυθρότητας a κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 44. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με αέρα στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 45. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 46. Παράμετρος κίτρινου χρώματος b κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα στη διάρκεια του χρόνου

Αναλύοντας τα παραπάνω Διαγράμματα συμπεραίνεται, όπως και στην περίπτωση των δειγμάτων ροδάκινων, για τα δείγματα βερίκοκων ότι το χρώμα δεν μεταβάλλεται. Η παράμετρος φωτεινότητας L των δειγμάτων βερίκοκων που έχουν κατεργαστεί με ξήρανση με αέρα παρατηρείται ότι μειώνεται έως την 4^η ημέρα αποθήκευσης, την 6^η ημέρα παρουσιάζει μια αύξηση και μετά μειώνεται ξανά μέχρι την 10^η ημέρα, αυξάνεται την 12^η ημέρα και μειώνεται μέχρι την 20^η μέρα. Αντίθετα, η παράμετρος χρώματος L των κατεργασμένων δειγμάτων με ξήρανση με κατάψυξη αυξάνεται την 2^η ημέρα αποθήκευσης ακολουθώντας μείωση έως την 6^η μέρα αποθήκευσης, αύξηση την 8^η μέρα και τέλος μείωση έως την 20^η μέρα αποθήκευσης. Τέλος, τα κατεργασμένα δείγματα στην αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα χαρακτηρίζονται από μια αύξηση την 2^η ημέρα, μείωση την έως την 8^η ημέρα, στην συνέχεια μια αύξηση την 10^η ημέρα, μείωση την 12^η μέρα και 14^η ημέρα, αύξηση την 16^η μέρα και τέλος μείωση έως την 20^η μέρα. Η μείωση αυτήν της τιμής παραμέτρου L οφείλεται στην μη ενζυμική αμαύρωση του φρούτου (Eyiz et. al, 2020).

Η χρωματική παράμετρος ερυθρότητας a διαπιστώνεται ότι για τα δείγματα βερίκοκων με ξήρανση με αέρα και με αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό αέρα παρουσιάζεται μια τάση για αύξηση, ενώ στην ξήρανση με κατάψυξη μία μείωση. Όσον αναφορά την παράμετρο κίτρινου χρώματος b για τα κατεργασμένα δείγματα που έχουν υποστεί ξήρανση με αέρα, ξήρανση με κατάψυξη και αποθήκευση με συσκευασία υπό κενό αέρα μειώνεται. Άρα, η μεταβολή χρώματος των δειγμάτων βερίκοκων στην ξήρανση με κατάψυξη είναι πολύ μικρότερη από αυτήν στις άλλες δύο μεθόδους και καλύτερη στην διατήρηση χρώματος.



Εικόνα 20. Χρώμα των κατεργασμένων δειγμάτων βερίκοκων α) με κατάψυξη (κέντρο), β) με αέρα (μέση), γ) αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό (δεξιά) μετά από 20 ημέρες αποθήκευσης

6. Συζήτηση

6.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετάει την ωσμωτική αφυδάτωση ροδάκινων και βερίκοκων, με βάση την απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και στην συνέχεια συνδυάζει τη μέθοδο με την κατεργασία της ξήρανσης με αέρα, ξήρανσης με κατάψυξη και αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό αέρα. Τα ωσμωτικά μέσα που εφαρμόστηκαν αποτελούνται από τον συνδυασμό Γλυκερόλης + NaCl και Χυμό μήλου + NaCl, ενώ μελετάται και η προκατεργασία με το ένζυμο πεκτινάση πριν την ωσμωτική αφυδάτωση με τα διαλύματα που περιγράφηκαν.

Οι παράμετροι της ωσμωτικής αφυδάτωσης που αξιολογήθηκαν (θερμοκρασία, χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας), παρουσίασαν σημαντική επίδραση στην απώλεια νερού και στην πρόσληψη στερεών των δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων. Η αύξηση της θερμοκρασίας από 25 °C σε 45 °C διαπιστώθηκε ότι ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς νερού για κάθε περίπτωση ωσμωτικού διαλύματος.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε προσδιορίστηκαν οι βέλτιστες συνθήκες της διεργασίας της ωσμωτικής επεξεργασίας για τα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων. Οι βέλτιστες συνθήκες και για τα δύο φρούτα επιλέχθηκαν να είναι όμοιες :

- Προκατεργασία με ένζυμο και συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος γλυκερόλης 60% + NaCl 5% στους 45°C στα 200 min
- Προκατεργασία με ένζυμο και συνδυασμό ωσμωτικού διαλύματος χυμό μήλου 60% + NaCl 5% στους 45°C στα 200 min.

Στις βέλτιστες συνθήκες, για τα ωσμωτικά αφυδατωμένα ροδάκινα και βερίκοκα προσδιορίστηκαν ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως το χρώμα, η ενεργότητα νερού, τα ολικά διαλυτά στερεά, η ολική οξύτητα και η αντιοξειδωτική ικανότητα μέσω της μεθόδου DPPH. Η ενεργότητα νερού των δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική επεξεργασία είναι μειωμένη σε σχέση με την τιμή του φρέσκου τροφίμου. Την μεγαλύτερη μείωση παρουσιάζει για τα ροδάκινα και τα βερίκοκα ο συνδυασμός Χυμού μήλου + NaCl. Οι παράμετροι χρώματος των επεξεργασμένων ροδάκινων φωτεινότητας L παρουσιάζουν μια μείωση, ενώ οι παράμετροι a και b μια αύξηση. Αντίθετα, οι χρωματικοί παράμετροι φωτεινότητας L στα ωσμωτικά αφυδατωμένα βερίκοκα χαρακτηρίζονται από μη σημαντική μεταβολή, με αύξηση των παραμέτρων a και b. Όσον αφορά την τιμή των ολικά διαλυτών στερεών των δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων με ωσμωτική αφυδάτωση, είναι αυξημένη συγκριτικά από αυτήν του φρέσκου δείγματος, αποδεικνύοντας την

αποτελεσματικότητα της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με τα δείγματα με γλυκερόλη να χαρακτηρίζονται από μια μεγαλύτερη αύξηση. Σύμφωνα με τον προσδιορισμό της ολικής οξύτητας των φρέσκων δειγμάτων, η τιμή για τα φρέσκα δείγματα ροδάκινων είναι 1,41 g κιτρικού οξέος/100 mL χυμού ροδάκινων και για τα φρέσκα βερίκοκα 1,34 g κιτρικού οξέος/100 mL χυμού βερίκοκων. Την μεγαλύτερη αύξηση της ολικής οξύτητας παρουσίασε η γλυκερόλη και στις δύο περιπτώσεις.

Από την αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών διαπιστώθηκε ότι η προεπεξεργασία με ένζυμο και ο συνδυασμός Χυμού μήλου + NaCl επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα, ενώ χρησιμοποιήθηκε πριν την κατεργασία των δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων για την περαιτέρω ανάλυση.

Η κατεργασία ξήρανσης με αέρα, ξήρανσης με κατάψυξη και αποθήκευσης σε συσκευασία υπό κενό αέρα εφαρμόστηκε στα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων στις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής επεξεργασίας με ωσμωτικό μέσο τον συνδυασμό χυμού μήλου και χλωριούχο νάτριο και μελετήθηκαν για 20 ημέρες αποθήκευσης. Ακόμα, σε αυτά τα δείγματα αξιολογήθηκαν οι μεταβολή χρώματος και η απώλεια βάρους.

Οι χρωματικοί παράμετροι της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν μεταβάλλονται σημαντικά κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, επομένως τα παραγόμενα τελικά προϊόντα είναι αποδεκτά οπτικά για όλο το χρονικό διάστημα που μελετάται σε όλες τις μεθόδους. Η απώλεια βάρους των κατεργασμένων δειγμάτων ροδάκινων και βερίκοκων με ξήρανση με κατάψυξη δεν παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις κατά την διάρκεια των 20 ημερών με αυτήν να είναι αρκετά μικρότερη από τις άλλες δύο διεργασίες.

Από την επεξεργασία όλων των παραπάνω, συμπεραίνεται λοιπόν, για τα δείγματα ροδάκινων και βερίκοκων ότι η προεπεξεργασία με το ένζυμο πεκτινάση και η ωσμωτική αφυδάτωση με τον συνδυασμό Χυμό μήλου + NaCl οδηγούν στα βέλτιστα αποτελέσματα με αυξημένη απώλεια νερού και μειωμένη πρόσληψη στερεών κατά την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, ενώ παρουσιάζουν αυξημένη αντιοξειδωτική δράση και δεν μεταβάλλουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την αποθήκευσή τους, δημιουργώντας προϊόντα υψηλής ποιοτικής αξίας. Όσον αναφορά τις μεθόδους ξήρανσης και αποθήκευσης, και οι τρεις μέθοδοι είναι αποτελεσματικές στην διαχείριση των φρούτων με διαφορετικά πλεονεκτήματα η καθεμία. Η ξήρανση με αέρα και η ξήρανση με κατάψυξη οδηγούν σε πλήρως αφυδατωμένα προϊόντα με μεγάλη διάρκεια ζωής, ενώ η αποθήκευση σε συσκευασία υπό κενό παράγει προϊόντα μερικώς αφυδατωμένα με ικανοποιητική διάρκεια ζωής. Η βέλτιστη μέθοδος μπορεί να επιλεγεί με βάση το προϊόν που πρέπει να αναπτυχθεί σε κάθε περίπτωση.

6.2 Μελλοντικές ενέργειες

Οι μελλοντικές ενέργειες, οι οποίες απαιτούνται να πραγματοποιηθούν με σκοπό την αύξηση της διατηρησιμότητας και των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων είναι οι ακόλουθες :

- Ενσωμάτωση επιπρόσθετων κατάλληλων βιοδραστικών ουσιών στο ωσμωτικό μέσο
- Εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων συνδιαστικά με την προεπεξεργασία του δείγματος με ένζυμο
- Αξιολόγηση του μικροβιακού φορτίου του δείγματος
- Μελέτη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος
- Έλεγχος και αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου για αρκετά μεγαλύτερη διάρκεια αποθήκευσης

7. Βιβλιογραφία

Ahmed, I., Qazi, I. M., Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 29-43.

Akbarian, M., Ghasemkhani, N., Fatemeh Moayedi (2013). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *International Journal of Biosciences*, 3(12), 1–16.

Ali, S., Masud, T., & Abbasi, K. S. (2011). Physico-chemical characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) grown in Northern Areas of Pakistan. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 386-392.

Aller, R., de Luis, D. A., Izaola, O., La Calle, F., del Olmo, L., Fernandez, L., ... & Hernandez, J. G. (2004). Effect of soluble fiber intake in lipid and glucose levels in healthy subjects: a randomized clinical trial. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 65(1), 7-11.

Alpaslan, M., Hayta, M. (2006). Apricot kernel: Physical and chemical properties. *Journal-American Oil Chemists Society*, 83(5), 469.

Aversa, M., Curcio, S., Calabrò, V. and Iorio, G. (2007). An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 922-932.

Azoubel, P. M., & Murr, F. E. X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 291-295.

Berk, Z. (2018). *Food Process Engineering and Technology*. 3rd ed. Academic Press, 513-566. Biswal, R. N., Bozorgmehr, K., Tompkins, F. D., Liu, X. (1991) Osmotic Concentration of Green Beans Prior to Freezing. *Journal of Food Science*, 56(4), 881-1124

Blanda, G., Cerretani, L., Cardinali, A., Barbieri, S., Bendini, A., & Lercker, G. (2009). Osmotic dehydrofreezing of strawberries: Polyphenolic content, volatile profile and consumer acceptance. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 30-36.

Bresgen, N., & Eckl, P. M. (2015). Oxidative stress and the homeodynamics of iron metabolism. *Biomolecules*, 5(2), 808-847.

Brewer, M. S. (2011). Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 10(4), 221-247.

Byrne, D. H., Noratto, G., Cisneros-Zevallos, L., Porter, W., Vizzotto, M. (2007). Health benefits of peach, nectarine and plums. In *II International Symposium on Human Health Effects of Fruits and Vegetables: FAVHEALTH*, 841, 267-274

Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., Figiel, A. (2020). Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods*, MDPI, 9(9), 1261.

Cánovas-Barbosa, G.V, Vega-Mercado, H. (1996). Dehydration of Foods Dehydration of Foods Series Editor.

Chang, H. K., Yang, H. Y., Lee, T. H., Shin, M. C., Lee, M. H., Shin, M. S., ... & Cho, S. (2005). Armeniacae semen extract suppresses lipopolysaccharide-induced expressions of cyclooxygenase-2 and inducible nitric oxide synthase in mouse BV2 microglial cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 28(3), 449-454.

Chang, H. K., Shin, M. S., Yang, H. Y., Lee, J. W., Kim, Y. S., Lee, M. H., ... & Kim, C. J. (2006). Amygdalin induces apoptosis through regulation of Bax and Bcl-2 expressions in human DU145 and LNCaP prostate cancer cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 29(8), 1597-1602.

Chen, P. N., Kuo, W. H., Chiang, C. L., Chiou, H. L., Hsieh, Y. S., & Chu, S. C. (2006). Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. *Chemico-biological interactions*, 163(3), 218-229.

Cichowska, J., Żubernik, J., 2018. Efficiency of Osmotic Dehydration of Apples in Polyols Solutions. *Molecules*, 23(2), 446

Collignan, A., & Raoult-Wack, A. L. (1994). Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. *LWT-Food Science and Technology*, 27(3), 259-264.

Contreras, J. E., & Smyrl, T. G. (1981). An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14(4), 310-314.

Dabbou, S., Maatallah, S., Castagna, A., Guizani, M., Sghaier, W., Hajlaoui, H., Ranieri, A. (2017). Carotenoids, Phenolic Profile, Mineral Content and Antioxidant Properties in Flesh and Peel of *Prunus persica* Fruits during Two Maturation Stages. *Plant Foods Hum Nutr.* 72, 103–110

- Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D., & Boras, M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food chemistry*, 102(3), 966-975.
- Duan, Y., Dong, X., Liu, B., & Li, P. (2013). Relationship of changes in the fatty acid compositions and fruit softening in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Acta physiologiae plantarum*, 35, 707-713.
- Eilat-Adar, S., Sinai, T., Yosefy, C., & Henkin, Y. (2013). Nutritional recommendations for cardiovascular disease prevention. *Nutrients*, 5(9), 3646-3683.
- Enomoto, S., Yanaoka, K., Utsunomiya, H., Niwa, T., Inada, K., Deguchi, H., ... & Ichinose, M. (2010). Inhibitory effects of Japanese apricot (*Prunus mume* Siebold et Zucc.; Ume) on *Helicobacter pylori*-related chronic gastritis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(7), 714-719.
- Eyiz, V., Tontul, İ. and Türker, S. (2020). The effect of edible coatings on physical and chemical characteristics of fruit bars. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1775–1783.
- Fatima, T., Bashir, O., Gani, G., Bhat, T., Jan, N. (2018). Nutritional and health benefits of apricots. *International Journal of Unani and Integrative Medicine*, 2(2), 5-9.
- Femenia, A., Rossello, C., Mulet, A., Canellas, J. (1995). Chemical composition of bitter and sweet apricot kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(2), 356-361.
- Forni, E., Sormani, A., Scalise, S., Torreggiani, D. (1997). The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International*, 30(2), 87–94.
- Fraser, P. D., Bramley, P. M. (2004). The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in lipid research*, 43(3), 228-265.
- Fратиanni, F., Ombra, M. N., D’Acierno, A., Cipriano, L., Nazzaro, F. (2018). Apricots: biochemistry and functional properties. *Current Opinion in Food Science*, 19, 23-29.
- Gallagher, M. S., Mahajan, P. V. (2011). The stability and shelf life of fruit and vegetables. *In Food and beverage stability and shelf life*. Woodhead Publishing, 641-656.
- Giannioti A., Sacchetti G., Guerzoni M.F. & Dala Rosa M. (2001). Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 49, 265-270.

Ghafir, S. A. M., S. O. Gadalla, B. N. Murajei and M. F. El-Nady (2009). *Physiological and anatomical comparison between four different apple cultivars under cold-storage conditions*. *Afri. J. Pl. Sci.* (3), 133-138.

Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Kader, A. A. (2002). Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(17), 4976-4982.

González, T., de la Rubia, M. A., Hincz, K. P., Comas-Lopez, M., Subirats, L., Fort, S., Sacha, G. M. (2020). Influence of COVID-19 confinement on students' performance in higher education. *Plos One*, 15(10)

Gorny, JR., Hess-Pierce, B., Kader AA. (1998). Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices. *Hort Science*, 33, 110–113.

Güçlü, K., Altun, M., Özyürek, M., Karademir, S. E., Apak, R. (2006). Antioxidant capacity of fresh, sun-and sulphited-dried Malatya apricot (*Prunus armeniaca*) assayed by CUPRAC, ABTS/TEAC and folin methods. *International journal of food science & technology*, 41, 76-85.

Guimarães, I.C., Menezes, E.G.T., Abreu, P.S. de, Rodrigues, A.C., Borges, P.R.S., Batista, L.R., Cirilo, M.A. and Lima, L.C. de O. (2013). Physicochemical and microbiological quality of raspberries (*Rubus idaeus*) treated with different doses of gamma irradiation. *Food Science and Technology*, 33(2), 316–322.

Gurrieri, F., Audergon, J. M., Albagnac, G., Reich, M. (2001). Soluble sugars and carboxylic acids in ripe apricot fruit as parameters for distinguishing different cultivars. *Euphytica*, 117(3), 183-189.

Hancock, J. F., Scorza, R., Lobos, G. A. (2008). Peaches. In *Temperate fruit crop breeding: germplasm to genomics*. Dordrecht: Springer Netherlands, 265-298

Hasib, A., Jaouad, A., Mahrouz, M., Khouili, M. (2002). Hplc determination of organic acids in Moroccan apricot determinación por hplc de ácidos orgánicos en albaricoque marroquí determinación por hplc de ácidos orgánicos en albaricoque marroquí. *CYTA-Journal of Food*, 3(4), 207-211.

Hormaza J. I., Yamane H., Rodrigo J. (2007). Apricot (Chapter 7) In: *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Fruits and Nuts*, Kole C, Ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 4, 171-187

- Ishaq, S., Rathore, H. A., Majeed, S., Awan, S., Zulfikar-Ali-Shah, S. (2009). The studies on the physico-chemical and organoleptic characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) produced in Rawalakot, Azad Jammu and Kashmir during storage. *Pakistan journal of Nutrition*, 8(6), 856-860.
- Ispir, E. (2009). The synthesis, characterization, electrochemical character, catalytic and antimicrobial activity of novel, azo-containing Schiff bases and their metal complexes. *Dyes and Pigments*, 82(1), 13-19.
- Kalyoncu, I. H., Akbulut, M., Coklar, H. (2009). Antioxidant capacity, total phenolics and some chemical properties of semi-matured apricot cultivars grown in Malatya, Turkey. *World Applied Sciences Journal*, 6(4), 519-523.
- Kan, T., Bostan, S. Z. (2010). Changes of contents of polyphenols and vitamin a of organic and conventional fresh and dried apricot cultivars (*Prunus armeniaca* L.). *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 120-126.
- Kowalska, H. (2005). The effect of C vitamin on the osmotic dehydration process in apples. *Zywność. Nauka Technologia Jakość*, 4(45), 109-119.
- Kowalska, H., Jadczyk, S. (2007). Osmotic dehydration of apples in sucrose and ascorbic acid solution. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc (Poland)*.
- Kucner, A., Klewicki, R., Sójka, M. (2012). The Influence of Selected Osmotic Dehydration and Pretreatment Parameters on Dry Matter and Polyphenol Content in Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Fruits. *Food and Bioprocess Technology*, 6(8), 2031–2047
- Lau, F. C., Shukitt-Hale, B., Joseph, J. A. (2005). The beneficial effects of fruit polyphenols on brain aging. *Neurobiology of aging*, 26(1), 128-132.
- Lazarides, H. N., Katsanidis, E., Nickolaidis, A. (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal of food Engineering*, 25(2), 151-166.
- Leccese, A., Bartolini, S., Viti, R. (2007). Total antioxidant capacity and phenolics content in apricot fruits. *International Journal of Fruit Science*, 7(2), 3-16.
- Leccese, A., Viti, R., Bartolini, S. (2011). The effect of solvent extraction on antioxidant properties of apricot fruit. *Open Life Sciences*, 6(2), 199-204.
- Lerici, C. R., PinnaVala, G., Dalla Rosa M., Bartolucci L. (1985). Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality

Li, P., Li, J., Wu, C., Wu, Q., Li, J. (2005). Synergistic antibacterial effects of β -lactam antibiotic combined with silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16(9), 1912.

Liu, H., Cao, J., Jiang, W. (2015). Evaluation and comparison of vitamin C, phenolic compounds, antioxidant properties and metal chelating activity of pulp and peel from selected peach cultivars. *Food Science and Technology*, 63, 1042-1048

Liu, Y., Zhangb, Z., Hu, L. (2022). High efficient freeze-drying technology in food industry. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 62(12), 3370–3388

Macready, A. L., Kennedy, O. B., Ellis, J. A., Williams, C. M., Spencer, J. P., Butler, L. T. (2009). Flavonoids and cognitive function: a review of human randomized controlled trial studies and recommendations for future studies. *Genes & nutrition*, 4(4), 227-242.

Mandel, S., Youdim, M. B. (2004). Catechin polyphenols: neurodegeneration and neuroprotection in neurodegenerative diseases. *Free Radical Biology and Medicine*, 37(3), 304-317.

Manzoor, M., Anwar, F., Mahmood, Z., Rashid, U., Ashraf, M. (2012). Variation in Minerals, Phenolics and Antioxidant Activity of Peel and Pulp of Different Varieties of Peach (*Prunus persica* L.) Fruit from Pakistan. *Molecules*, 17, 6491-6506.

Marty, I., Bureau, S., Sarkissian, G., Gouble, B., Audergon, J. M., Albagnac, G. (2005). Ethylene regulation of carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in colour-contrasted apricot varieties (*Prunus armeniaca*). *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1877-1886.

Matusek, A., Meresz, P. (2002). Modelling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 46(1-2), 83-92.

Mavroudis, N. E., Gekas, V., Sjöholm I. (1998). Osmotic Dehydration of Apples. Shrinkage Phenomena and the Significance of Initial Structure on Mass Transfer Rates. *Journal of Food Engineering*, 38, 101- 123

Millman, M. J., Liapis, A. I., Marchello, J. M. (1984). Guidelines for the desirable operation of batch freeze driers during the removal of free water. *Journal of Food Technology*, 19, 725-738

Moraga, M. J., Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. (2011). Effect of the re-use of the osmotic solution on the stability of osmodehydro-refrigerated grapefruit. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1), 35-41.

Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Pavez, C., Dorvil, F., Petzold, G., Bugueño, G. (2013). Influence of ohmic heating/osmotic dehydration treatments on

polyphenoloxidase inactivation, physical properties and microbial stability of apples (cv. Granny Smith). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 198-207.

Noratto, G., Porter, W., Byrne, D., Cisneros-Zevallos, L. (2009). Identifying peach and plum polyphenols with chemopreventive potential against estrogen-independent breast cancer cells. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(12), 5219-5226.

Nowak, D., Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. . *Journal of Foods*, 9(10), 1488

Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B. (1998). Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *International journal of food science & technology*, 33(3), 267-284.

Phisut, N., 2012. "Minireview- Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits," *International Food Research Journal*, 19(1), pp.7-18.

Presnell, S. R., Stafford, D. W. (2002). The vitamin K-dependent carboxylase. *Thrombosis and haemostasis*, 87(06), 937-946.

Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food science & technology*, 5(8), 255-260.

Raoult-Wack, A., Rios, G. and Guilbert, S. (1995). Sucrose and osmotic dehydration. *Sucrose*, 279-290.

Reig, G., Iglesias, I., Gatiús, F., Alegre, S. (2013). Antioxidant capacity, quality, and anthocyanin and nutrient contents of several peach cultivars [*Prunus persica* (L.) Batsch] grown in Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(26), 6344-6357.

Ruiz, D., Egea, J., Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I. (2005). Carotenoids from new apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties and their relationship with flesh and skin color. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(16), 6368-6374.

Seguí, L., Fito, P. J., Fito, P. (2010). Analysis of structure-property relationships in isolated cells during OD treatments. Effect of initial structure on the cell behaviour. *Journal of Food Engineering*, 99(4), 417-423.

Siddiq, M. (2006). Peach and nectarine. *Handbook of fruits and fruit processing*, 519-531.

- Silva, F. A., Finkler, L., Finkler, C. L. L. (2018). Effect of edible coatings based on alginate/pectin on quality preservation of minimally processed 'Espada' mangoes. *Journal of Food Science & Technology*, 12, 5055–5063.
- Slavin, J. L., Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. *Adv Nutr*, 3 (4), 506-516.
- Toivonen, P. M. A., Brummell, D.A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1–14 .Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, 59-68
- Torreggiani, D., Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 247-253.
- Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303 – 324.
- Vizzotto, M., Cisneros-Zevallos, L., Byrne, D. H., Ramming, D. W., & Okie, W. R. (2007). Large variation found in the phytochemical and antioxidant activity of peach and plum germplasm. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(3), 334-340.
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. and Hu, X., 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40(1), 39-46.
- Yadav, A. K., Singh, S. V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of food science and technology*, 51, 1654-1673.
- Zhao, Q., Guo, X., Nash, G. B., Stone, P. C., Hilkens, J., Rhodes, J. M., Yu, L. G. (2009). Circulating galectin-3 promotes metastasis by modifying MUC1 localization on cancer cell surface. *Cancer research*, 69(17), 6799-6806.
- Βασιλακάκης, Μ., (2004), *Γενική και Ειδική Δενδροκομία*, Β' Έκδοση, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.