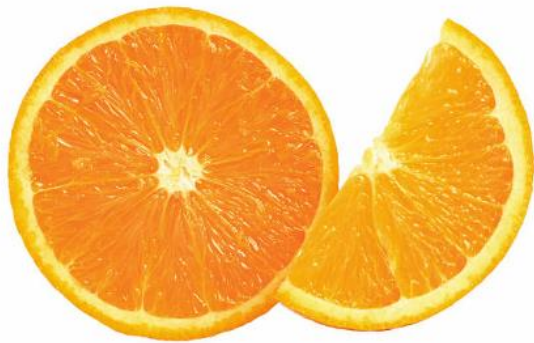




Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Χημικών Μηχανικών
Εργαστήριο Σχεδιασμού και
Ανάλυσης Διεργασιών



**Μελέτη κινητικής
αφυδάτωσης φρούτων και
λαχανικών χρησιμοποιώντας
εναλλακτικά μέσα ώσμωσης**

Διπλωματική Εργασία

Παναγούλη Στέλλα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Κροκίδα Μαγδαληνή

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο «Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών» της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά τη χρονική περίοδο 2023-2024 υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας κ. Μαγδαληνής Κροκίδα. Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φρούτα και λαχανικά με σκοπό την παραγωγή νέων προϊόντων με αυξημένη διάρκεια ζωής και βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, με τη χρήση ενός νέου, πιλοτικού μηχανήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια κ. Μαγδαληνή Κροκίδα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το θέμα αυτό, για την πολύτιμη βοήθεια της αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο εργαστήριο της και να γίνω μέλος της ομάδας της για περίπου ένα χρόνο. Η εμπειρία και οι γνώσεις που έλαβα δουλεύοντας για ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα είναι πολύτιμες και είμαι σίγουρη πως θα με συνοδεύσουν στην επερχόμενη πορεία μου ως Χημικός Μηχανικός.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την Υποψήφια Διδάκτορα, και πλέον καλή μου φίλη, Δήμητρα-Νεκταρία Φραγκούλη για την πολύτιμη υποστήριξη της και την άριστη συνεργασία μας από την πρώτη μέχρι και την τελευταία στιγμή της περιόδου αυτής. Η αδιαπραγμάτευτη βοήθεια της για την αντιμετώπιση κάθε ζητήματος που προέκυψε, η πηγαία προθυμία της, οι γνώσεις που μου μετέδωσε, ακόμη και η ψυχολογική της στήριξη υπήρξαν καταλυτικές για τη διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας από μέρους μου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών που με ενέταξαν στην ομάδα τους και ήταν καθημερινά πρόθυμοι να με βοηθήσουν σχετικά με τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Ευχαριστώ πολύ για την κατανόηση που έδειξαν σε τυχόν λάθη μου και για την άριστη συνεργασία που είχαμε μέσα στο εργαστήριο. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υποψήφια Διδάκτορα Αλεξάνδρα Μάρη η οποία με καθοδήγησε σε πολλά θέματα και ήταν πάντα πρόθυμη για την επίλυση των αποριών μου.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Ελένη Γώγου, η οποία ως πολύτιμο μέλος του εργαστηρίου, με βοήθησε πολύ ως προς την ανάλυση των αποτελεσμάτων και η καθοδήγησή της ήταν μέγιστης σημασίας για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αναπλ. Καθηγήτρια Μαρία Γιαννακούρου για την προθυμία της, καθώς και όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για τη βοήθεια τους κατά τη διάρκεια μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο αυτό.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αστείρευτη υποστήριξη που μου προσέφερε όλα τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου πορείας αλλά και τους υπέροχους ανθρώπους που γνώρισα μέσα σε αυτή τη Σχολή οι οποίοι έγιναν με τον καιρό λατρεμένοι φίλοι.

Τέλος, θέλω να αφιερώσω την εργασία αυτή στον παππού μου για τον οποίο η αγάπη μου ήταν και θα είναι πάντα αμέριστη.

Περίληψη

Από πολύ νωρίς οι άνθρωποι ήρθαν αντιμέτωποι με την ανάγκη για διατήρηση της ποιότητας των φρέσκων προϊόντων για εκτεταμένο χρονικό διάστημα και συνειδητοποίησαν την αξία της συντήρησης των τροφίμων. Τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι κατεξοχήν τρόφιμα στα οποία εφαρμόζονται τεχνικές συντήρησης καθώς η υψηλή τους περιεκτικότητα σε νερό επιτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών οδηγώντας σε μικροβιακή αλλοίωση και χημικές μεταβολές που επηρεάζουν την ποιότητα τους. Καθώς οι καταναλωτές πλέον αναζητούν φυσικές τροφές πλούσιες σε θρεπτικά στοιχεία και όσο το δυνατόν λιγότερο επεξεργασμένες, η ωσμωτική αφυδάτωση καθίσταται ως μια από τις πλέον δημοφιλείς τεχνικές συντήρησης, καθώς είναι μια μέθοδος ήπιας επεξεργασίας που διατηρεί το θρεπτικό προφίλ των προϊόντων χωρίς να αλλοιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται και το μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα της διεργασίας την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική στα πλαίσια της βιομηχανίας.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια *Lentinula*, λεμόνια και πορτοκάλια με τη χρήση ενός νέου πιλοτικού μηχανήματος. Για ωσμωτικό μέσο επιλέχθηκε η γλυκερόλη, ως μια εναλλακτική επιλογή, πιο υγιεινή και με λιγότερες θερμίδες από τη σακχαρόζη που χρησιμοποιείται παραδοσιακά, μαζί με μικρή ποσότητα αλατιού. Ερευνήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης της γλυκερόλης και του χρόνου στην αποτελεσματικότητα της διεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η διεργασία πραγματοποιήθηκε σε τρεις θερμοκρασίες (25°C, 35°C, 45°C), με τρεις συγκεντρώσεις γλυκερόλης (30%, 40%, 50%) και για έξι χρόνους (10 min, 30 min, 60 min, 120 min, 240 min, 300 min). Η απόδοση της ωσμωτικής αφυδάτωσης αξιολογήθηκε για κάθε τρόφιμο και κάθε πειραματική συνθήκη μέσω του προσδιορισμού τριών χαρακτηριστικών μεγεθών: της απώλειας νερού, της πρόσληψης στερεών και της ενεργότητας νερού.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν πως και οι τρεις παράμετροι που αξιολογήθηκαν είχαν θετική επίδραση στην απόδοση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας, η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης και η αύξηση του χρόνου της διεργασίας οδήγησαν σε μειωμένο βάρος, αυξημένη απώλεια νερού, αυξημένη πρόσληψη στερεών και μειωμένη ενεργότητα νερού και για τα τρία προϊόντα, με την επίδραση της συγκέντρωσης να αξιολογείται ως ελαφρώς σημαντικότερη από αυτή της θερμοκρασίας. Έτσι, με την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης προέκυψαν προϊόντα με μεγαλύτερη μικροβιακή σταθερότητα, αυξημένο χρόνο ζωής και μεγαλύτερες δυνατότητες αποθήκευσης, ενώ η πρόσληψη ωσμωτικής ουσίας δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς δεν αλλοιώνει το θρεπτικό και το θερμιδικό προφίλ τους. Επόμενες κινήσεις θα μπορούσαν να είναι οργανοληπτικός έλεγχος των προϊόντων, με σκοπό την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών για τα τρία αυτά είδη.

Abstract

From very early on, people faced the need to preserve the quality of fresh products for an extended period and realized the value of food preservation. Fresh fruits and vegetables are foods where preservation techniques are applied, as their high water content allows for the growth of microorganisms leading to microbial spoilage and chemical changes that affect their quality. As consumers increasingly seek natural foods rich in nutrients and as minimally processed as possible, osmotic dehydration becomes one of the most popular preservation techniques, as it is a mild processing method that preserves the nutritional profile of products without altering their sensory characteristics. The low energy consumption required and the small environmental footprint of the process make it particularly attractive in the industry.

This study examined the application of osmotic dehydration to *Lentinula* mushrooms, lemons, and oranges using a new pilot machine. Glycerol was selected as the osmotic solute as a healthier and lower-calorie alternative to sucrose traditionally used, along with a small amount of salt. The effect of temperature, glycerol concentration, and time on the process efficiency was investigated. Specifically, the process was carried out at three temperatures (25°C, 35°C, 45°C), with three glycerol concentrations (30%, 40%, 50%), and for six times (10 min, 30 min, 60 min, 120 min, 240 min, 300 min). The performance of osmotic dehydration was evaluated for each food and experimental condition by determining three characteristic parameters: water loss, solid gain, and water activity.

The results of the experiments showed that all three evaluated parameters had a positive effect on the performance of osmotic dehydration. Increasing temperature, glycerol concentration, and process time resulted in reduced weight, increased water loss, increased solid gain, and decreased water activity for all three products, with the concentration effect being slightly more significant than the temperature effect. Thus, osmotic dehydration resulted in products with greater microbial stability, increased shelf life, and greater storage potential, while osmotic substance intake was not a problem as it did not alter their nutritional and caloric profile. Further steps could include sensory evaluation of the products to select the optimal conditions for these three types.

Περιεχόμενα

Πρόλογος – Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract	3
Περιεχόμενα	4
Περιεχόμενα εικόνων.....	7
Περιεχόμενα διαγραμμάτων.....	8
Περιεχόμενα πινάκων	10
1. Εισαγωγή.....	11
1.1. Εισαγωγικά στοιχεία.....	11
1.2. Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	12
2. Μανιτάρια Lentinula	13
2.1. Εισαγωγικά στοιχεία.....	13
2.2. Lentinula edodes -shiitake	14
2.3. Χημική σύσταση.....	14
2.4. Βιοδραστικές ενώσεις.....	14
2.4.1. Λεντινάνη	15
2.4.2. Εκχύλισμα LEM.....	16
2.4.3. KS-2- α-Mannan Peptide	16
2.5. Οφέλη στην υγεία.....	16
2.5.1. Αντικαρκινική και αντικαρκινογόνος δράση.....	17
2.5.2. Αντιμικροβιακή δράση	18
2.5.3. Αντιοξειδωτικές ιδιότητες.....	18
3. Λεμόνια	20
3.1. Εισαγωγικά στοιχεία.....	20
3.2. Χημική σύσταση.....	20
3.3. Φαινολικές ενώσεις.....	22
3.3.1. Φλαβονοειδή.....	22
3.3.2. Φαινολικά οξέα	25
3.4. Οφέλη στην υγεία.....	27
3.4.1. Αντιοξειδωτικές ιδιότητες.....	27
3.4.2. Καρδιοπροστατευτική δράση	28
3.4.3. Αντικαρκινική δράση.....	28
4. Πορτοκάλια	30
4.1. Εισαγωγικά στοιχεία.....	30
4.2. Χημική σύσταση.....	31

4.3.	Βιοδραστικές Ενώσεις.....	31
4.3.1.	Ασκορβικό οξύ – Βιταμίνη C.....	31
4.3.2.	Φλαβονοειδή.....	32
4.4.	Οφέλη στην υγεία.....	33
4.4.1.	Αντιοξειδωτικές ιδιότητες.....	33
4.4.2.	Αντιμικροβιακή δράση.....	34
4.4.3.	Αντικαρκινική δράση.....	34
5.	Ξήρανση.....	36
5.1.	Εισαγωγικά στοιχεία.....	36
5.2.	Καταστάσεις του περιεχόμενου νερού.....	36
5.3.	Μέθοδοι ξήρανσης.....	37
5.3.1.	Ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα.....	37
5.3.2.	Ξήρανση υπό κατάψυξη.....	38
5.3.3.	Ωσμωτική αφυδάτωση.....	39
6.	Ωσμωτική αφυδάτωση.....	41
6.1.	Εισαγωγικά στοιχεία.....	41
6.2.	Φαινόμενα μεταφοράς μάζας.....	42
6.3.	Παράμετροι της διεργασίας.....	46
6.3.1.	Μορφολογία και χαρακτηριστικά πρώτης ύλης.....	46
6.3.2.	Τύπος και συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου.....	47
6.3.3.	Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος.....	48
6.3.4.	Χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας.....	48
6.3.5.	Αναλογία δείγματος/ωσμωτικού διαλύματος.....	49
6.3.6.	Ανάδευση.....	49
6.4.	Εναλλακτικά μέσα ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	49
7.	Πειραματικός σχεδιασμός.....	51
7.1.	Εισαγωγικά στοιχεία.....	51
7.2.	Υλικά – Χημικά αντιδραστήρια.....	51
7.2.1.	Υλικά.....	51
7.2.2.	Χημικά αντιδραστήρια.....	51
7.3.	Προεπεξεργασία δειγμάτων.....	51
7.4.	Πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	51
7.5.	Προσδιορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών.....	53
7.5.1.	Μέτρηση απώλειας βάρους.....	53
7.5.2.	Μέτρηση ενεργότητας νερού.....	54
7.6.	Στατιστική ανάλυση.....	55

7.7.	Μαθηματικό μοντέλο	55
8.	Αποτελέσματα	56
8.1.	Μανιτάρια.....	56
8.1.1.	Αρχική υγρασία	56
8.1.2.	Ωσμωτική αφυδάτωση.....	56
8.1.3.	Ενεργότητα νερού	60
8.2.	Λεμόνια.....	62
8.2.1.	Αρχική υγρασία	62
8.2.2.	Ωσμωτική αφυδάτωση.....	62
8.2.3.	Ενεργότητα νερού	66
8.3.	Πορτοκάλια.....	68
8.3.1.	Αρχική υγρασία	68
8.3.2.	Ωσμωτική αφυδάτωση.....	68
8.3.3.	Ενεργότητα νερού	72
8.4.	Στατιστική ανάλυση.....	74
8.4.1.	Χρόνος εμφάνισης	75
8.4.2.	Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος.....	77
8.4.3.	Συγκέντρωση γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα	79
9.	Συμπεράσματα	81
10.	Μελλοντικές ενέργειες	85
11.	Βιβλιογραφία	86

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1: Η επαναλαμβανόμενη ομάδα στη δομή της λεντινάνης [11].	15
Εικόνα 2: Βασικός σκελετός φλαβονοειδούς [33].	23
Εικόνα 3: Φλαβονόνες σε άγλυκη και γλυκοζιτική μορφή [36].	24
Εικόνα 4: Χημική δομή των α) υδροξυβενζοϊκών οξέων β) υδροξυκιναμικών οξέων. α) Το πρωτοκατεχικό οξύ διαθέτει στη θέση R ₁ ένα μόριο υδρογόνου (H) ενώ το γαλλικό οξύ ένα υδροξύλιο (OH). β) Το καφεϊκό οξύ διαθέτει στη θέση R ₁ ένα υδροξύλιο (OH), το φερουλικό οξύ ένα μόριο μεθανόλης (OCH ₃) και το p-κουμαρικό οξύ ένα μόριο υδρογόνου (H).	26
Εικόνα 5: Δομή του πορτοκαλιού [48].	30
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της ξήρανσης με ρεύμα θερμού αέρα [67].	38
Εικόνα 7: Βασική δομή ενός τυπικού ξηραντήρα κατάψυξης [69].	38
Εικόνα 8: Διάγραμμα ροής της ωσμωτικής αφυδάτωσης [59].	40
Εικόνα 9: Μεταφορά μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης [73].	42
Εικόνα 10: Το μηχάνημα ωσμωτικής αφυδάτωσης το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Στις φωτογραφίες διαφαίνονται οι αναδευτήρες με εφαρμοσμένες τις διάτρητες θήκες στα πτερύγια τους, τα ποτήρια ζέσεως γεμισμένα με ωσμωτικό διάλυμα, το υδατόλουτρο και ο πίνακας ρύθμισης της θερμοκρασίας και της ταχύτητας ανάδευσης.	52
Εικόνα 11: Δείγματαμανιταριού <i>Lentinula</i> εμβαπτισμένα σε ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης.	52
Εικόνα 12: Δείγματαμανιταριού <i>Lentinula</i> στο φούρνο κενού.	53
Εικόνα 13: Δείγματα πορτοκαλιού μετά από την παραμονή τους για 24 ώρες στο φούρνο κενού.	53
Εικόνα 14: Τρυβλίο που περιέχει δείγμα πορτοκαλιού τεμαχισμένο σε πολύ μικρά κομμάτια.	54
Εικόνα 15: Όργανο μέτρησης ενεργότητας νερού.	54
Εικόνα 16: Πίνακας ANOVA για το χρόνο εμβάπτισης των δειγμάτων στο ωσμωτικό διάλυμα.	75
Εικόνα 17: Πίνακας HSD για την επίδραση του χρόνου εμβάπτισης στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτωνμανιταριού <i>Lentinula</i> .	76
Εικόνα 18: Πίνακας HSD για την επίδραση του χρόνου εμβάπτισης στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων λεμονιού.	76
Εικόνα 19: Πίνακας HSD για την επίδραση του χρόνου εμβάπτισης στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων πορτοκαλιού.	76
Εικόνα 20: Πίνακας ANOVA για τη θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος.	77
Εικόνα 21: Πίνακας HSD για την επίδραση της θερμοκρασίας στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτωνμανιταριού <i>Lentinula</i> .	77
Εικόνα 22: Πίνακας HSD για την επίδραση της θερμοκρασίας στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων λεμονιού.	78
Εικόνα 23: Πίνακας HSD για την επίδραση της θερμοκρασίας στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων πορτοκαλιού.	78
Εικόνα 24: Πίνακας ANOVA για τη θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος.	79
Εικόνα 25: Πίνακας HSD για την επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στην ενεργότητα νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτωνμανιταριού <i>Lentinula</i> .	80
Εικόνα 26: Πίνακας HSD για την επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στην ενεργότητα νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων λεμονιού.	80
Εικόνα 27: Πίνακας HSD για την επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στην ενεργότητα νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων πορτοκαλιού.	80

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Κύριες ενώσεις που περιέχονται στα μανιτάρια <i>Lentinula edodes</i> [7], [10].....	14
Πίνακας 2: Χημική σύσταση λεμονιού [29], [31].	22
Πίνακας 3: Μέγιστες τιμές απώλειας νερού στα μανιτάρια <i>Lentinula</i> για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	58
Πίνακας 4: Οι τιμές των μεταβλητών <i>Azuara</i> και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την απώλεια νερού στα μανιτάρια <i>Lentinula</i>	58
Πίνακας 5: Μέγιστες τιμές πρόσληψης στερεών στα μανιτάρια <i>Lentinula</i> για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	60
Πίνακας 6: Οι τιμές των μεταβλητών <i>Azuara</i> και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την πρόσληψη στερεών στα μανιτάρια <i>Lentinula</i>	60
Πίνακας 7:Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας στα μανιτάρια <i>Lentinula</i> για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	62
Πίνακας 8: Μέγιστες τιμές απώλειας νερού στα λεμόνια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	64
Πίνακας 9:Οι τιμές των μεταβλητών <i>Azuara</i> και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την απώλεια νερού στα λεμόνια.....	64
Πίνακας 10: Μέγιστες τιμές πρόσληψης στερεών στα λεμόνια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	66
Πίνακας 11:Οι τιμές των μεταβλητών <i>Azuara</i> και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την πρόσληψη στερεών στα λεμόνια.....	66
Πίνακας 12:Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας στα λεμόνια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	68
Πίνακας 13: Μέγιστες τιμές απώλειας νερού στα πορτοκάλια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	70
Πίνακας 14:Οι τιμές των μεταβλητών <i>Azuara</i> και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την απώλεια νερού στα πορτοκάλια.....	70
Πίνακας 15:Μέγιστες τιμές πρόσληψης στερεών νερού στα πορτοκάλια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	72
Πίνακας 16:Οι τιμές των μεταβλητών <i>Azuara</i> και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την πρόσληψη στερεών στα πορτοκάλια.....	72
Πίνακας 17:Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας στα πορτοκάλια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.....	74

1. Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Τα φρούτα και τα λαχανικά καταλαμβάνουν ένα πολύ βασικό κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής καθώς αποτελούν πηγή βιταμινών, θρεπτικών στοιχείων, αντιοξειδωτικών και άλλων πολύτιμων ουσιών οι οποίες συμβάλλουν σημαντικά στη σωστή λειτουργία του οργανισμού προσδίδοντας πολυάριθμα οφέλη. Η συχνή κατανάλωση φυσικών τροφών συνδέεται με τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης χρόνιων ασθενειών, με την ενίσχυση του ανοσοποιητικού αλλά και τη διατήρηση ενός υγιούς σωματικού βάρους μέσω των βιοδραστικών συστατικών και των φυτικών ινών που περιέχονται σε αυτές.

Σήμερα, οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τη σημασία της ισορροπημένης διατροφής και του υγιεινού τρόπου ζωής για τη συνολική τους ευημερία, εντάσσουν τα φρούτα και τα λαχανικά στη διατροφή τους όλο και περισσότερο. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη συνεχή αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση με αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό της παραγωγής και της καλλιέργειας φρούτων και λαχανικών σε όλο τον κόσμο. Στα πλαίσια μιας τόσο μεγάλης κλίμακας παραγωγής, δυστυχώς το ποσοστό των φρούτων και λαχανικών που απορρίπτονται χωρίς να αξιοποιηθούν είναι μεγάλο. Το φαινόμενο αυτό εντάσσεται στο συνολικότερο ζήτημα της σπατάλης τροφίμων το οποίο παρατηρείται παγκόσμια και επιφέρει σοβαρές οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat, κάθε χρόνο παράγονται πάνω από 58 εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων τροφίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με πολύ μεγάλο ποσοστό να αφορά τα φρούτα και τα λαχανικά.

Τα φρούτα και τα λαχανικά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αλλοίωση λόγω της ευπαθούς φύσης τους και της μεγάλης τους περιεκτικότητας σε νερό η οποία ευνοεί την ανάπτυξη μικροβιακών αποικιών. Οι απώλειες σε προϊόντα φρούτων και λαχανικών συναντώνται σε όλες τις φάσεις της αλυσίδας ανεφοδιασμού και διακίνησης, συμπεριλαμβανομένης της συγκομιδής, της μεταφοράς, της συσκευασίας, της αποθήκευσης, της εμπορικής δραστηριότητας και της διαχείρισης από τον καταναλωτή μετά την αγορά τους. Σε γεωργικό επίπεδο, παράγοντες όπως η υπερπαραγωγή, οι ζημιές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, η ατελής εμφάνιση και η ανεπάρκεια στις τεχνικές συγκομιδής οδηγούν στην απόρριψη ενός τμήματος της παραγωγής προτού καν τα προϊόντα φτάσουν στις αγορές. Σε επόμενο στάδιο, πολλά από τα προϊόντα τα οποία φτάνουν στις αγορές απορρίπτονται από τους λιανοπωλητές πριν καν τεθούν προς πώληση καθώς συχνά κρίνεται πως δεν ανταπεξέρχονται στις απαιτήσεις των καταναλωτών όσον αφορά την ποιότητα και την εμφάνιση. Σε επίπεδο καταναλωτή, ο αλόγιστος εφοδιασμός, η ακατάλληλη αποθήκευση και οι αισθητικές προτιμήσεις οδηγούν συχνά στην απόρριψη συμβάλλοντας στη συλλογική σπατάλη [1], [2].

Οι επιπτώσεις του φαινομένου αυτού είναι πολύ σοβαρές καθώς η σπατάλη των κηπευτικών προϊόντων συνδέεται άμεσα με τη σπατάλη όλων των πόρων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή τους όπως είναι η γη, το νερό, τα λιπάσματα, τα χημικά, η ενέργεια και το εργατικό δυναμικό. Ταυτόχρονα, οι τεράστιες ποσότητες αποβλήτων δημιουργούν μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα καθώς η αποσύνθεση τους στις χωματερές εκπέμπουν επιβλαβή αέρια επιβαρύνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου [1]. Η αντιμετώπιση του προβλήματος είναι σύνθετη και απαιτεί τόσο την τεχνολογική αναβάθμιση της παραγωγής (βελτιωμένες τεχνικές συγκομιδής και αποθήκευσης, καλύτερα συστήματα διανομής και μεταφοράς) όσο και τη δέσμευση όλων των παραγόντων της αλυσίδας ανεφοδιασμού, από τους γεωργούς μέχρι τους καταναλωτές για την τήρηση ορισμένων κανόνων. Επιπλέον, η ανάπτυξη στον τομέα επεξεργασίας και συντήρησης των τροφίμων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην παράταση της ζωής των φρούτων και των λαχανικών μειώνοντας σημαντικά το φαινόμενο σπατάλης των προϊόντων αυτών.

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος που μπορεί να προσφέρει σημαντικά στην καταπολέμηση του φαινομένου. Πρόκειται για μια τεχνική κατά την οποία μέρος του νερού αφαιρείται από τα τρόφιμα καθιστώντας τα μικροβιολογικά σταθερότερα και πιο ανθεκτικά στην αλλοίωση. Έτσι, επιτυγχάνεται σημαντική παράταση της ζωής των τροφίμων η οποία μειώνει τον κίνδυνο υποβάθμισης της ποιότητάς τους και συνεπώς της απόρριψής τους. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο φυσικό φαινόμενο της ώσμωσης και πραγματοποιείται σε ήπιες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα οι ενεργειακές απαιτήσεις να είναι ελάχιστες και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μικρό, κάτι το οποίο αποτελεί ισχυρό ζητούμενο από τη βιομηχανία στις μέρες μας λόγω της επιδείνωσης της κλιματικής αλλαγής. Για τους παραπάνω λόγους, η ωσμωτική αφυδάτωση έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών στο πλαίσιο της βελτιστοποίησης της και της εξ ολοκλήρου ένταξης της στη

βιομηχανία τροφίμων, με την έρευνα κυρίως να αφορά τις παραμέτρους της διεργασίας (θερμοκρασία, συγκέντρωση διαλύματος, χρονική διάρκεια) και την ενδεχόμενη χρήση εναλλακτικών ωσμωτικών μέσων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε τρία είδη φρούτων και λαχανικών: το μανιτάρι *Lentinula*, το λεμόνι και το πορτοκάλι. Τα συγκεκριμένα είδη επιλέχθηκαν λόγω της πολύ μεγάλης εμπορικής τους σημασίας, η οποία οφείλεται τόσο σε γευστικά κριτήρια όσο και σε κριτήρια σχετικά με τη θρεπτική τους αξία. Πρόκειται για τρία είδη τα οποία είναι πλούσια σε βιταμίνες και βιοδραστικά συστατικά που τους προσδίδουν ποικίλες φαρμακευτικές και θεραπευτικές ιδιότητες οι οποίες συμβάλλουν σημαντικά στην υγεία του καταναλωτή και οι οποίες θα αναλυθούν εκτενώς στη συνέχεια.

1.2. Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την παραγωγή νέων προϊόντων με αυξημένη διάρκεια ζωής μέσω εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τη χρήση καινοτόμου, πιλοτικού οργάνου. Συγκεκριμένα, τεμάχια μανιταριού *Lentinula* και φέτες λεμονιού και πορτοκαλιού υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση με εναλλακτικό ωσμωτικό μέσο ώστε να προκύψουν νέα προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας τα οποία να μπορούν να αξιοποιηθούν εμπορικά ως υγιεινά σνακ. Ακόμη, σκοπός της εργασίας ήταν η διεξοδική μελέτη της επίδρασης διαφόρων παραγόντων ως προς την απόδοση της διεργασίας, όπως η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος καθώς και η διάρκεια εμβάπτισης των δειγμάτων στο διάλυμα.

2. Μανιτάρια *Lentinula*

2.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Τα μανιτάρια συνοδεύουν τον άνθρωπο κατά την εξέλιξή του, καθώς φαίνεται πως αποτελούσαν σημαντικό κομμάτι της ζωής και της διατροφής του από τη Λίθινη κιάλα εποχή. Έτσι, τα μανιτάρια αποτελούν μέρος της ιστορίας και της κουλτούρας διάφορων λαών σε όλο τον κόσμο. Μάλιστα η εθνομυκολογία, υποτομέας της εθνοβοτανικής επιστήμης, εστιάζει στη σχέση του ανθρώπου και των μανιταριών διερευνώντας την πολυετή τους αλληλεπίδραση καθώς και τους τρόπους που τα διάφορα είδη μανιταριών χρησιμοποιήθηκαν ανά τους αιώνες όχι μόνο ως τροφή αλλά και ως φαρμακευτικά εργαλεία, λόγω των πολλαπλών θεραπευτικών τους ιδιοτήτων. [3]

Μανιτάρι ονομάζεται το σαρκώδες, σποροφόρο σώμα ενός πολυκύτταρου μύκητα, κοινώς το ορατό του μέρος με τη χαρακτηριστική, συνήθως αμβλοειδή μορφή. Το κυρίως μέρος του μύκητα (μυκήλιο) είναι υπόγειο, σχεδόν πάντα αθέατο (το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου) και αναπτύσσεται σαν ιστός στο υπόστρωμα με τη μορφή των μυκηλιακών υφών. Επειδή οι μύκητες δεν περιέχουν χλωροφύλλη στερούνται την ικανότητα να χρησιμοποιούν φωτοσύνθεση για να τραφούν και έτσι απαιτούν έτοιμη τροφή όπως υδρογονάνθρακες, πρωτεΐνες και νιτρικά άλατα. Για αυτό το λόγο παρασιτούν κοντά σε άλλα δέντρα και φυτά τα οποία τους προσφέρουν τις κατάλληλες συνθήκες διαβίωσης, παρέχοντάς τους πλούσιες ουσίες καθώς και την κατάλληλη υγρασία αλλά και το απαιτούμενο φως για να αναπτυχθούν και να δημιουργήσουν μεγάλες αποικίες. [4]

Τα μανιτάρια αποτελούν τις τρεις ομάδες μυκήτων, Ζυγομύκητες, Ασκομύκητες και Βασιδιομύκητες. Και οι τρεις κατηγορίες μπορούν να αναπτυχθούν τόσο επίγεια όσο και υπόγεια. Έχουν εντοπιστεί δεκάδες χιλιάδες είδη μανιταριών σε ολόκληρο τον κόσμο, και στην Ευρώπη ευδοκίμουν περίπου 4000-5000 είδη, μερικές εκατοντάδες από τα οποία είναι εδώδιμα [5]. Στα Ελληνικά δάση εντοπίζονται αρκετά είδη άγριων, εδώδιμων μανιταριών με τα πιο δημοφιλή από αυτά να είναι τα Αγαρικά (κοινώς λευκά μανιτάρια), τα Πλευρότους, οι μορχέλες, οι κανθαρέλλες καθώς και η λεντινούλα -γνωστή και ως shiitake- η οποία θα είναι το ένα από τα τρία δείγματά μας στην πειραματική διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Το μανιτάρι αποτελεί στην ουσία την αναπαραγωγική δομή του μύκητα. Παράγει εκατομμύρια μικροσκοπικά σπόρια που σχηματίζονται στα βράγχια ή στους πόρους κάτω από το καπάκι του, τα οποία μεταφέρονται μέσω του ανέμου, των ζώων και του νερού. Ένα ποσοστό των σπορίων αυτών προσγειώνονται σε κατάλληλα υποστρώματα, όπως το ξύλο ή το χώμα, και βλασταίνουν δημιουργώντας ένα νέο δίκτυο μικροσκοπικών νημάτων ριζοβολίας, το μυκήλιο. Ενώ το μανιτάρι αναδύεται και πεθαίνει γρήγορα το μυκήλιο επιμένει συχνά για πολλά χρόνια εξάγοντας θρεπτικά συστατικά [4].

Η υψηλή θρεπτική αξία που προσδίδουν τα μανιτάρια στη διατροφή μας οφείλεται στα διάφορα θρεπτικά συστατικά που περιέχουν, όπως πρωτεΐνες συμπεριλαμβανομένων των απαραίτητων αμινοξέων, των απαραίτητων λιπαρών οξέων, των υδατανθράκων, των διαιτητικών ινών, των βιταμινών και των μετάλλων. Ακόμη, εντοπίζεται πληθώρα βιοδραστικών ενώσεων όπως είναι οι πολυσακχαρίτες, οι πολυφαινόλες, τα τερπενοειδή, οι λεκτίνες, τα αλκαλοειδή, οι στερόλες, οι γλυκοπρωτεΐνες, οι εργοστερόλες, τα σεσκιτερπένια και οι λακτόνες [5]. Ωστόσο, το περιεχόμενο αυτών των βιοδραστικών ενώσεων μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως το στέλεχος, το υπόστρωμα, οι συνθήκες καλλιέργειας και καρποφορίας, το στάδιο ανάπτυξης του μανιταριού και η ηλικία του δείγματος. Επιπλέον, η περιεκτικότητα των μανιταριών σε νερό επηρεάζει και την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά όταν τα αποτελέσματα υπολογίζονται σε βάση φρέσκου βάρους, και ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες καλλιέργειας και ποτίσματος. Επίσης, η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά διαφέρει στο κοτσάνι και στο μίσχο του μανιταριού [6].

Λόγω των προαναφερθέντων βιοδραστικών ενώσεων, τα μανιτάρια παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων που προκαλούν εξαιρετικό όφελος στην υγεία, όπως αντιοξειδωτικές, αντικαρκινικές, ανοσοτροποποιητικές, αντιδιαβητικές, νευροπροστατευτικές, αντιυπερτασικές, ηπατοπροστατευτικές, αντιμυκητιακές, αντιμικροβιακές, αντιικές και αντιβακτηριακές ιδιότητες [5].

2.2. Lentinula edodes -shiitake

Το *Lentinula edodes*, γνωστό και ως μανιτάρι shiitake καλλιεργείται εδώ και αιώνες στην Ασία ενώ τα τελευταία χρόνια η καλλιέργεια του έχει επεκταθεί σε ολόκληρο τον κόσμο χάρη στην πλούσια γεύση του, τις θεραπευτικές του ιδιότητες και τις θρεπτικές ουσίες που το καθιστούν το δεύτερο πιο δημοφιλές μανιτάρι παγκοσμίως, ενώ η παραγωγή του έχει αυξηθεί ραγδαία από 2.68 χιλιάδες τόνους σε 10.8 χιλιάδες τόνους ετησίως [7]. Σύμφωνα με τη σύγχρονη ιατρική και την επιστήμη τροφίμων, το *Lentinula edodes* παρουσιάζει σημαντικές αντικαρκινικές, αντιβακτηριακές, αντικικές, αντιοξειδωτικές, αντιγηραντικές ιδιότητες και για αυτό το λόγο θεωρείται ότι ανήκει στην κατηγορία των φαρμακευτικών μανιταριών [8].

Ανήκοντας στο τμήμα των Βασιδιομυκήτων, αυτός ο μύκητας λευκής σήψης καλλιεργείται εμπορικά σε κορμούς που τοποθετούνται στο δάπεδο του δάσους (σε εξωτερικούς χώρους) και επάνω σε συνθετικά υποστρώματα πριονιδιού (σε εσωτερικούς χώρους). Πρόσφατα, η καλλιέργεια σε εσωτερικούς χώρους έχει αναδειχθεί ως η κύρια μέθοδος παραγωγής *L. edodes*; ωστόσο η παραδοσιακή καλλιέργεια σε κορμούς εξακολουθεί να συμβάλλει ουσιαστικά στη συνολική παραγωγή *L. edodes* [7].

2.3. Χημική σύσταση

Μελέτες που έχουν επικεντρωθεί στον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των διάφορων ειδών μανιταριού έδειξαν ότι τα μανιτάρια περιέχουν υψηλές ποσότητες πρωτεϊνών και διαιτητικών ινών, χαμηλά επίπεδα λιπαρών και λογική ποσότητα φωσφόρου γεγονός που τα καθιστά τρόφιμα με εξαιρετική διατροφική αξία, ενώ παράλληλα βρέθηκε πως 100g μανιταριού καλύπτουν περίπου το 15-30% της ημερήσιας ποσότητας βιταμινών και ιχνοστοιχείων που συστήνεται για τη σωστή διατροφή ενός ενήλικα [5].

Συγκεκριμένα, βρέθηκε πως ένα μανιτάρι *Lentinula edodes* αποτελείται από υδατάνθρακες σε ποσοστό 58-60%, πρωτεΐνη σε ποσοστό 20-23%, φυτικές ίνες σε ποσοστό 9-10%, λίπος σε ποσοστό 3-4% και τέφρα σε ποσοστό 4-5%. Επιπλέον, το *L. edodes* έχει αποδειχθεί ότι περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων όπως είναι το ασβέστιο, ο σίδηρος, ο φώσφορος, το κάλιο, ο ψευδάργυρος και το μαγγάνιο ενώ περιέχει ακόμη αρκετές βιοδραστικές ενώσεις με μεγάλη θρεπτική και φαρμακολογική αξία, όπως πολυσακχαρίτες, γλυκοπρωτεΐνες και φαινολικές ενώσεις (π-υδροξυβενζοϊκό, π-κουμαρικό και κινναμικό οξύ) [5]. Όσον αφορά τις βιταμίνες που περιέχονται σε ένα μανιτάρι *Lentinula*, έρευνες έχουν εντοπίσει σημαντική ποσότητα βιταμινών C, B1, B2, B12 και βιταμίνης D [9].

Η χαρακτηριστική γεύση του μανιταριού shiitake αποδίδεται στα οργανικά οξέα που περιέχει, όπως το μηλικό οξύ, το α-κετο-γλουταρικό οξύ, το φουμαρικό οξύ, το οξαλικό οξύ, το οξικό οξύ, το γαλακτικό οξύ, το γλυκολικό οξύ και το μυρμηκικό οξύ. Το *L. edodes* περιέχει πολυάριθμα βιοσυστατικά που διαθέτουν φαρμακολογική ισχύ έναντι διαφόρων διαταραχών και μορφών καρκίνου [7].

Πίνακας 1: Κύριες ενώσεις που περιέχονται στα μανιτάρια *Lentinula edodes* [7], [10].

Λιπαρά οξέα	Ελεύθερα σάκχαρα	Πολυσακχαρίτες		Αμινοξέα	
		Διαλυτοί	Μη διαλυτοί		
Λινολεϊκό	Αραβινόζη	Ετερογλυκάνες	Ετερογλυκάνες	Θρεονίνη	Γλουταμινικό
Παλμιτικό	Γλυκερίνη	Ετερογλακτάνες	Πολυουρονίδια	Αργινίνη	Βαλίνη
Τετραδεκενοϊκό	Αραβινόλη	Ετερομαννάνες	Β-γλυκάνες	Κυστεΐνη	Αλανίνη
Ελαϊκό	Μαννόζη	Ξυλογλυκάνες	Χιτίνη	Ιστιδίνη	Λυσίνη
Στεραϊκό	Μαννιτόλη			Ασπαρτικό	Γλυκίνη
Μυριστικό	Γλυκόζη			Ισολευκίνη	Σερίνη
Αραχιδικό	Φρουκτόζη			Φαινυλαλανίνη	Προλίνη
	Τρεχαλόζη			Λευκίνη	Τυροσίνη

2.4. Βιοδραστικές ενώσεις

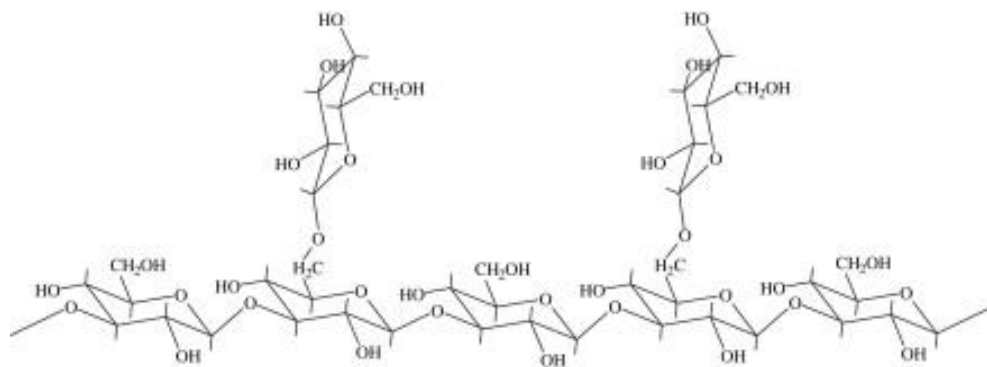
Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω το μανιτάρι είναι ένα τρόφιμο πλούσιο σε βιοδραστικές ενώσεις και θρεπτικά συστατικά τα οποία του προσδίδουν θεραπευτικές ιδιότητες. Επιπλέον, η παρουσία συγκεκριμένων βιοδραστικών συστατικών καθιστά τα

μανιτάρια αυτά ιατρικά χρήσιμα, από την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος έως την αποκατάσταση και αποφυγή απειλητικών για τη ζωή διαταραχών, όπως κακοήθειες, εγκεφαλικά επεισόδια, καρδιακές παθήσεις και υπέρταση.

2.4.1. Λεντινάνη

Η λεντινάνη (LTN), ή αλλιώς β -(1 \rightarrow 3)-d-γλυκάνη, είναι ένας πολυσακχαρίτης που συναντάται στο μανιτάρι *Lentinula edodes* και είναι ευρέως γνωστή για τις φαρμακευτικές της ιδιότητες καθώς πρόκειται για ένα μακρομόριο το οποίο παρουσιάζει πολύ ισχυρή αντικαρκινική δράση. Η δράση αυτή βασίζεται στην ενεργοποίηση ανοσοκυττάρων όπως είναι τα T-λεμφοκύτταρα, τα Natural Killer Cells (κύτταρα-δολοφόνοι) και τα μακροφάγα, έναντι των καρκινικών, και σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το υψηλό μοριακό βάρος της λεντινάνης. Παρότι οι αντικαρκινικές και αντιικές ιδιότητες της λεντινάνης είναι γνωστές εδώ και χρόνια, οι επιστήμονες συνάντησαν δυσκολίες σχετικά με την εξαγωγή, τον καθαρισμό, και τη διαμόρφωση της αλυσίδας της [11]. Σήμερα, μετά από βασική κατανόηση της χημικής της δομής αλλά και της διαμόρφωσης της αλυσίδας της και των βιοδραστικότητων της, έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία φαρμάκων με βάση τη λεντινάνη, τα οποία δοσολογούνται σε κάψουλες, δισκία ή και ενέσεις [8].

Η λεντινάνη έχει την κύρια αλυσίδα των β -(1 \rightarrow 3)-D- γλυκανών και τις πλευρικές αλυσίδες που συνδέονται με δεσμούς β (1 \rightarrow 6) και β (1 \rightarrow 3) με διαμόρφωση τριπλής έλικας σε νερό και 0,9% NaCl. Μόνο μόρια λεντινάνης υψηλού μοριακού βάρους (>90.000 Da) μπορούν να σχηματίσουν δομές τριπλής έλικας στο νερό λόγω του μεγάλου αριθμού δεσμών υδρογόνου στην πλευρική αλυσίδα. Τα μόρια με τη δομή αυτή είναι εκείνα που προσδίδουν στη λεντινάνη την αντικαρκινική της ιδιότητα, καθώς όταν η τριπλή έλικα σπάσει σε μεμονωμένες τυχαίες σπείρες η ιδιότητα αυτή μειώνεται σημαντικά ή εξαφανίζεται [8].



Εικόνα 1: Η επαναλαμβανόμενη ομάδα στη δομή της λεντινάνης [11].

Βέβαια οι μέθοδοι εκχύλισης, απομόνωσης και καθαρισμού της λεντινάνης έχουν μεγάλη επιρροή στη χημική δομή, το μοριακό βάρος και τη δραστηριότητα της. Ανά τα χρόνια έχουν δοκιμαστεί διάφοροι μέθοδοι εκχύλισης με καθεμία από αυτές να χαρακτηρίζεται από τις δικές της ιδιαιτερότητες. Για παράδειγμα, η εκχύλιση με ζεστό νερό, μια διαδικασία κατά την οποία τα κύτταρα του μύκητα υφίστανται πλασματικό διαχωρισμό και η ουσία του κενοτοπίου διαπερνά το κυτταρικό τοίχωμα και διασκορπίζεται στο διάλυμα έξω από αυτό, είναι απλή και οικονομική χωρίς να έχει όμως υψηλή απόδοση. Αντίθετα, η εκχύλιση με τη χρήση υπερήχων, οι οποίοι σπάνε τα στερεά κύτταρα του αποξηραμένου μανιταριού με στόχο τη διείσδυση του διαλύτη και την έκπλυση των ουσιών, είναι πολύ πιο αποδοτική και λιγότερο χρονοβόρα, ενώ αν συνδυαστεί με ενζυμική επεξεργασία η απόδοση γίνεται ακόμη υψηλότερη, καθώς τα ένζυμα (συνήθως πρωτεάση, κυτταρινάση, παπαΐνη και πηκτινάση) έχουν την ικανότητα να καταστρέφουν το κυτταρικό τοίχωμα απελευθερώνοντας έτσι πιο γρήγορα τον πολυσακχαρίτη. Ακόμη, η εκχύλιση με υποκρίσιμο νερό (νερό σε πολύ υψηλή θερμοκρασία και πίεση) είναι αποτελεσματική αλλά αρκετά χρονοβόρα, ενώ η εκχύλιση με όξινο ή αλκαλικό διάλυμα είναι μια απλή διαδικασία η οποία όμως μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες δομικές τροποποιήσεις και δυσκολία στη διήθηση [8].

Γενικά, οι πολυσακχαρίτες συνήθως δεν υπάρχουν μεμονωμένα αλλά συζευγνύονται με άλλα συστατικά, όπως πρωτεΐνες, λιπίδια και νουκλεϊκά οξέα. Επομένως, οι ακατέργαστοι πολυσακχαρίτες που λαμβάνονται από τη διαδικασία εκχύλισης του *L. edodes* πρέπει να καθαριστούν περαιτέρω με στάδια όπως ο αποχρωματισμός, η αποπρωτεϊνοποίηση και η ταξινόμηση πολυσακχαριτών. Αυτό μπορεί να συμβεί με χρωματογραφία στήλης, απλή χρωματογραφία, διαχωρισμό μεμβράνης και καθίζηση με οργανικό διαλύτη. Η τελευταία μέθοδος είναι αυτή που χρησιμοποιείται πιο ευρέως, με τους συνηθέστερους

οργανικούς διαλύτες να είναι η αιθανόλη, η ακετόνη και η ισοπροπανόλη, αλλά επειδή οι προηγούμενοι απαιτούν μεγάλη ποσότητα διαλύτη, συχνά χρησιμοποιείται υδατικό διάλυμα πολυαιθυλενογλυκόλης, για εξοικονόμηση κόστους [8].

2.4.2. Εκχύλισμα LEM

Το εκχύλισμα LEM (*Lentinula Edodes Mycelium*) λαμβάνεται έπειτα από εκχύλιση στο μυκήλιο του *Lentinula Edodes* που συλλέγεται πριν αναπτυχθεί το καρποφόρο σώμα του μανιταριού. Εκχυλίζεται από το κονιοποιημένο μυκήλιο με ζεστό νερό και ακολούθως υδρολύεται μερικώς από ενδογενή ένζυμα ενώ έπειτα το διήθημα αποξηραίνεται με κατάψυξη (freeze drying) [9]. Το κύριο ενεργό συστατικό του είναι ένα πρωτεϊνικό σύζευγμα ετερογλυκάνης, δηλαδή ένας πολυσακχαρίτης συνδεδεμένος με πρωτεΐνη. Περιέχει περίπου 24.6% πρωτεΐνη και 44% σάκχαρα – κυρίως ξυλόζη, αραβινόζη, γλυκόζη, μαννόζη και φρουκτόζη – καθώς και διάφορα παράγωγα νουκλεϊκών οξέων, ενώσεις βιταμινών Β – ιδίως Β1 και Β2, εργοστερόλη και εριταδενίνη. Περιέχει επίσης διάφορα παράγωγα νουκλεϊκών οξέων, ενώσεις βιταμινών Β, ιδίως Β-1 (θειαμίνη) και Β-2 (ριβοφλαβίνη), εργοστερόλη και εριταδενίνη [12].

Από το εκχύλισμα LEM μπορούν να απομονωθούν διάφορα κλάσματά του με πολύ ισχυρό βιοδραστικό χαρακτήρα και φαρμακευτικές ιδιότητες, όπως είναι το EP3 και το EPS4 τα οποία αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από υδατοδιαλυτή λιγνίνη [13], καθώς και το JLS-18 και το LAP [12]. Μελέτες έχουν δείξει πως το LEM και τα καθαρισμένα κλάσματά του παρουσιάζουν αντικές ιδιότητες και ανοσοτροποποιητικές λειτουργίες. Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν *in vivo* και *in vitro* σε ποντίκια έδειξαν ότι η εξαιρετικά συμπυκνωμένη και καρβοξυλιωμένη λιγνίνη ως δραστική ουσία του EP3 ενεργοποίησε τα μακροφάγα (τύπος λευκών αιμοσφαιρίων του ανοσοποιητικού συστήματος) αυξάνοντας την κατανάλωση γλυκόζης τους και προκάλεσε τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων του μυελού των οστών αναστέλλοντας τη μολυσματικότητα του ιού της ανθρώπινης ανοσοανεπάρκειας (HIV) και τις κυτταροπαθητικές επιδράσεις στα μολυσμένα από τον ιό κύτταρα [13]. Ακόμη, πέρα από τη δράση κατά του HIV, το EPS και το EPS4 (υδατοδιαλυτά παράγωγα λιγνίνης από το ολικό εκχύλισμα LEM) έχουν δείξει αντικές ιδιότητες κατά του απλού έρπητα Ι και ΙΙ, της εγκεφαλίτιδας των ιπποειδών, του ιού της πολιομυελίτιδας, της ιλαράς και της παρωτίτιδας. Το JLS-18, κλάσμα του LEM επίσης πλούσιο σε λιγνάνες βρέθηκε να αυξάνει τη δραστηριότητα των Τ και των ΝΚ κυττάρων έναντι κυττάρων ινοσαρκώματος αλλά και τη δραστηριότητα των μακροφάγων έναντι της λεμφοβλαστικής λευχαιμίας, ενώ ταυτόχρονα φαίνεται πως η χρήση του θα μπορούσε να φανεί αποτελεσματική στη θεραπεία της ηπατίτιδας Β και των ασθενών με AIDS. Επίσης, η αντική δραστηριότητα έναντι του Herpes simplex τύπου Ι που έδειξε το JLS-18 τόσο *in vivo* όσο και *in vitro* ήταν περίπου 70 φορές μεγαλύτερη από τη δραστηριότητα του ίδιου του LEM [12].

2.4.3. KS-2- α-Mannan Peptide

Πρόκειται για ένα σύμπλοκο πεπτιδίου-πολυσακχαρίτη στο οποίο το πεπτίδιο είναι συνδεδεμένο με τον πολυσακχαρίτη με α και β μαννόζη. Το πεπτίδιο α-μαννάνης που συνδέεται με τον πολυσακχαρίτη αποτελείται από τα αμινοξέα σερίνη, θρεονίνη, αλανίνη και προλίνη, καθώς και από υπολειμματικές ποσότητες των άλλων αμινοξέων [9].

Το KS-2 λαμβάνεται από το καλλιεργημένο μυκήλιο του *Lentinula Edodes* έπειτα από εκχύλιση με ζεστό νερό ακολουθούμενη από καταβύθιση με αιθανόλη. Έρευνες έχουν δείξει πως η ενδοφλέβια και η ενδοπεριτοναϊκή (στην κοιλιά) έγχυση του KS-2 ανέστειλε την ανάπτυξη του σαρκώματος 180 και των όγκων Ehrlich σε ποντίκια, μαζί με την επαγωγή ιντερφερόνης στο αίμα. Η ανοσοτροποποιητική λειτουργία του KS-2 έχει φανεί πως προστατεύει τον οργανισμό από λομώξεις βακτηρίων και ιών, και μάλιστα έρευνες αναφέρουν πως σε πειράματα *in vitro* σε ζώα το KS-2 έχει επιδείξει αντικαρκινικές ιδιότητες με την ενεργοποίηση των μακροφάγων έναντι σε καρκινικά κύτταρα. Ωστόσο, υπάρχει ακόμη πολύς χώρος για έρευνα σχετικά με το KS-2 καθώς ο ακριβής τρόπος δράσης του δεν είναι ακόμη γνωστός [14].

2.5. Οφέλη στην υγεία

Τα μανιτάρια αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της λαϊκής και παραδοσιακής ιατρικής για πολλούς πολιτισμούς ανά τον κόσμο καθώς από την αρχαιότητα ακόμη αναγνωρίστηκαν οι πολλαπλές θεραπευτικές τους ιδιότητες. Ιστορικά, πολλά σημαντικά φαρμακευτικά προϊόντα με αποδεδειγμένες φαρμακευτικές εφαρμογές έχουν παραχθεί από ανώτερους μύκητες [9]. Στη

σύγχρονη ιατρική, η εμφάνιση φαινομένων όπως η ανοχή στα αντιβιοτικά έχει οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων για τη θεραπεία και την πρόληψη ασθενειών και πολλοί είναι εκείνοι που στρέφονται ξανά προς τα φυσικά φαρμακευτικά προϊόντα έναντι των συνθετικών [15]. Έτσι, στην Ασία και την Ινδία κυρίως, τα μανιτάρια χρησιμοποιούνται ευρέως σε φαρμακευτικές εφαρμογές ακόμη και σήμερα, ενώ ταυτόχρονα διεξάγονται συνεχώς μελέτες για την περαιτέρω κατανόηση της δράσης τους [7].

Ένα εξαιρετικό παράδειγμα ανώτερου μύκητα με φαρμακευτική αξία είναι το *Lentinula Edodes*, καθώς συγκαταλέγεται μεταξύ των πιο πολύτιμων φαρμακευτικών μανιταριών. Στην Ιαπωνία, το μανιτάρι αυτό αποκαλούνταν «ελιξίριο της ζωής» καθώς από νωρίς έγιναν γνωστές οι θεραπευτικές του ιδιότητες. Έχει μακρά ιστορία στην ανατολίτικη λαογραφία για τη θεραπεία όγκων, γρίπης, καρδιακών παθήσεων, υψηλής αρτηριακής πίεσης, παχυσαρκίας, διαβήτη, ηπατικών και αναπνευστικών παθήσεων και προβλημάτων που σχετίζονται με τη σεξουαλική δυσλειτουργία και τη γήρανση, την εξάντληση και την αδυναμία [9]. Οι πολύτιμες ιδιότητες του αναγνωρίζονται και από τη σύγχρονη ιατρική επιστήμη καθώς τα πολυάριθμα μέταλλα, οι βιταμίνες, τα θρεπτικά στοιχεία αλλά κυρίως οι ισχυρές βιοδραστικές ενώσεις του που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα συμβάλλουν στη διατήρηση της καλής υγείας του ατόμου αλλά και την πρόληψη από ασθένειες αφού η τόνωση και η ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος είναι κάτι το αποδεδειγμένο για το μανιτάρι αυτό [15]. Στις παρακάτω υποενότητες θα γίνει μια σύντομη ανάλυση σχετικά με τις σημαντικότερες επιδράσεις που έχει το *Lentinula Edodes* στην υγεία του ανθρώπου.

2.5.1. Αντικαρκινική και αντικαρκινογόνος δράση

Η αντικαρκινική δράση του *Lentinula Edodes* αφορά την πρόληψη, μέσω ενεργοποίησης των κυττάρων του ανοσοποιητικού έναντι των καρκινικών κυττάρων, αλλά και την αντιμετώπιση καθώς έχει φανεί μέσα από την έρευνα πως κάποια στοιχεία του μανιταριού έχουν τη δυνατότητα να καταπολεμήσουν τα καρκινικά κύτταρα.

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι περισσότερες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη λεντινάνη ως την κύρια αντικαρκινική ένωση του *L. Edodes*, καθώς είναι εκείνη που ενεργοποιεί ποικίλες λειτουργίες των μακροφάγων, όπως την παραγωγή ορισμένων κυτταροκινών και ανιόντων υπεροξειδίου, τη φαγοκυττάρωση και την κυτταροτοξικότητα [16]. Επίσης μέσω της διέγερσης από τη λεντινάνη τα μακροφάγα εκκρίνουν τον παράγοντα νέκρωσης όγκων - α (TNF- α) ο οποίος είναι πολύ σημαντικός για την άμυνα του ξενιστή και έχει την ικανότητα ακόμη και να σκοτώσει τα καρκινικά κύτταρα [15]. Ακόμη, έρευνες έδειξαν πως η β -γλυκάνη αλληλεπιδρά με κάποιους υποδοχείς παράγοντας κυτταροκίνες με αποτέλεσμα τη διέγερση της δραστηριότητας των κυττάρων του ανοσοποιητικού, όπως τα T και τα B κύτταρα [15].

Μία από τις πρώτες μελέτες που επιβεβαίωσαν την αντικαρκινική δράση της λεντινάνης έγινε πάνω σε τρωκτικά στα οποία μεταμοσχεύθηκε Σάρκωμα-180 (τύπος καρκινικού όγκου) και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ανασταλτική της δράση στους όγκους ήταν σημαντική, καθώς οι όγκοι υποχώρησαν μετά από καθημερινή χορήγηση για 10 ημέρες [17]. Αργότερα μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε τρωκτικά και αφορούσαν διάφορους τύπους όγκων έδειξαν ότι η χορήγηση λεντινάνης ήταν αποτελεσματικότερη καθώς σε δόση 1-5 mg/kg για 10 ημέρες ανέστειλε τους όγκους σε ποσοστό 95 έως 97,5% ενώ σε ημερήσια δόση 0,2 mg/kg οι όγκοι υπέστησαν πλήρη υποχώρηση σε 6 από τα 10 ποντίκια [9].

Οι πρώτες αυτές μελέτες που επιβεβαίωσαν την αντικαρκινική δράση της λεντινάνης ενθάρρυναν την επιστημονική κοινότητα να συνεχίσει την έρευνα ώστε να βρεθεί τρόπος να ενσωματωθούν στοιχεία του *L. Edodes* στη θεραπεία κατά του καρκίνου. Πολυσακχαρίτες που ελήφθησαν από το *L. edodes* και εξετάστηκαν έναντι της ανθρώπινης κυτταρικής σειράς καρκίνου του μαστού MCF-7, προώθησαν την έκφραση του ογκοκατασταλτικού γονιδίου p53 ενώ κατέστειλαν τη δραστηριότητα του HER-3 (γονίδιο που αποτελεί αυξητικό παράγοντα πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων) με δοσοεξαρτώμενο και χρονοεξαρτώμενο τρόπο [18]. Επίσης, η πρωτεΐνη Latcgrin-13 που απομονώθηκε από το *L. Edodes* προκάλεσε την απόπτωση των κυττάρων A549 (ανθρώπινη κυτταρική σειρά καρκίνου του πνεύμονα) αποτρέποντας το σχηματισμό όγκου και καρκινικών κυττάρων, αποδεικνύοντας έτσι την αντικαρκινική της ιδιότητα [19]. Παρομοίως, έρευνες που εξέτασαν τα εκχυλίσματα του *L. Edodes* έναντι διαφόρων τύπων καρκινικών κυττάρων όπως DU-145 και PC3 (κύτταρα καρκίνου του προστάτη), HepG2 (κύτταρα ηπατοκυτταρικού καρκινώματος), Colo-205 (κύτταρα καρκινώματος του παχέος εντέρου) και HeLa (κύτταρα καρκινώματος του τραχήλου της μήτρας), κατέγραψαν μια συνολική μείωση της βιωσιμότητας όλων των καρκινικών κυττάρων κατά 20% [20].

Ωστόσο οι περισσότερες έρευνες που έχουν διεξαχθεί δεν έγιναν σε ανθρώπους αλλά σε καλλιεργημένα καρκινικά κύτταρα, ενώ κάποιες άλλες έγιναν πάνω σε πειραματόζωα [15]. Οι έρευνες που έχουν γίνει πάνω σε καρκινοπαθείς των οποίων η χημειοθεραπεία συνδυάστηκε με ταυτόχρονη χορήγηση εκχυλίσματος μυκηλίου *L. Edodes* έδειξαν, στην πλειονότητα τους, θετικά αποτελέσματα αφού η χρήση του μανιταριού βελτίωσε την ποιότητα ζωής των ασθενών και μείωσε την ανάπτυξη των καρκινικών κυττάρων [15], [21].

2.5.2. Αντιμικροβιακή δράση

Η εμφάνιση ανθεκτικών μικροβίων και βακτηρίων με ανοχή στα αντιβιοτικά έχει ωθήσει τους επιστήμονες να στραφούν σε φυσικά προϊόντα με την ικανότητα να αναστέλλουν την ανάπτυξη μικροβίων. Το *Lentinula Edodes* είναι γνωστό εδώ και αιώνες για τις αντιμικροβιακές του ιδιότητες και στο πλαίσιο αυτό έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες που διερευνούν την αντιμικροβιακή του φύση [15]. Το *L. Edodes* εξετάστηκε μαζί με άλλους 22 μακρομύκητες έναντι στο ανθεκτικό βακτήριο *Mycobacterium abscessus*, υπεύθυνο για δερματικές και πνευμονικές λοιμώξεις, και παρατηρήθηκε αντιμικροβιακή δράση και αναστολή της ανάπτυξής του [22]. Επίσης, έρευνα που εξέτασε δύο ποικιλίες *L. Edodes*, τη *Donko* και την *Koshin*, έναντι απομονωμένων στελεχών του βακτηρίου *Staphylococcus aureus* έδειξε πως τα εκχυλίσματα *Koshin* παρουσίασαν σημαντική αντιμικροβιακή δράση για αρκετά από αυτά. Μελετήθηκε επίσης το ενδεχόμενο συνδυασμού των εκχυλισμάτων *L. Edodes* με εμπορικές αντιβιοτικές ουσίες όπως η γεντακμίνη και η βανκομικίνη στις οποίες τα εξεταζόμενα στελέχη παρουσιάζουν ανοχή, και τα αποτελέσματα ήταν ευνοϊκά, ενώ φάνηκε επίσης πως η μέθοδος εκχύλισης και ο διαλύτης που χρησιμοποιήθηκε για την εκχύλιση (νερό ή μεθανόλη) έπαιξαν κρίσιμο ρόλο στις αντιμικροβιακές ιδιότητες του εκχυλίσματος, καθώς όσες περισσότερες φαινολικές ενώσεις περιείχε το εκχύλισμα τόσο πιο ισχυρή ήταν η αντιμικροβιακή του δράση [23]. Ακόμη, σε έρευνα που συνέκρινε υδατικό εκχύλισμα *L. Edodes* με το εμπορικό αντιβιοτικό *Ceftriaxone* κατά του μικροβίου *Pseudomonas aeruginosa* εκτιμήθηκε ότι 20 mg ακατέργαστου εκχυλίσματος αντιστοιχούν σε 0,2 mg καθαρού αντιβιοτικού [24].

Ακόμη, έχει αποδειχθεί πως το *L. Edodes* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λειτουργικό τρόφιμο για την πρόληψη και την αντιμετώπιση στοματικών ασθενειών και τη βελτίωση της στοματικής υγείας στο σύνολό της, καθώς τα εκχυλίσματά του έχουν επιδείξει ικανότητα πρόληψης τόσο της τερηδόνας όσο και της περιοδοντίτιδας αφού παρουσιάζουν ανασταλτική δράση έναντι των βακτηρίων του στόματος [25]. Έρευνες έχουν δείξει πως τα εκχυλίσματα του μανιταριού σε συγκεκριμένη δοσολογία αναστέλλουν την ανάπτυξη των περιοδοντικών παθογόνων *Actinobacillus actinomycescomitans*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia* και *Fusobacterium nucleatum* [26]. Ακόμη, βρέθηκε πως τα εκχυλίσματα *L. Edodes* μπορούν να μειώσουν την προσκόλληση μικροοργανισμών στα βιοφίλμ που δημιουργούν τα καριογόνα βακτήρια *Streptococcus mutans* και *Streptococcus sobrinus* στην επιφάνεια των δοντιών προλαμβάνοντας έτσι το σχηματισμό τερηδόνας. Η αδενοσίνη και η ερυθριτόλη, ενώσεις που συναντώνται στα εκχυλίσματα *L. Edodes* αναστέλλουν την προσκόλληση του *S. mutans* στο δόντι προάγοντας την αποκόλληση των βακτηρίων και προκαλώντας την καταστροφή του βιοϋμενίου [25]. Για να διερευνηθούν οι προστατευτικές ως προς την τερηδόνα ιδιότητες του κλάσματος χαμηλού μοριακού βάρους του εκχυλίσματος *L. Edodes* πραγματοποιήθηκε δοκιμή σε εθελοντές από το πανεπιστήμιο του Γκέτεμποργκ η οποία έδειξε πως οι συχνές πλύσεις με εκχύλισμα *L. Edodes* μείωσαν τη μεταβολική δραστηριότητα της οδοντικής πλάκας και κατά συνέπεια τη δημιουργία τερηδόνας [27].

Η αντιμικροβιακή δράση του μανιταριού *Lentinula* δεν περιορίζεται στα παθογόνα του στόματος καθώς αρκετές μελέτες έχουν αναφέρει τις αντιμικροβιακές ιδιότητες των εκχυλισμάτων του έναντι μιας ποικιλίας ανθρώπινων παθογόνων μικροοργανισμών όπως για παράδειγμα της *Salmonella enterica* subsp. *Enterica* και *Bacillus subtilis* var. *spizizinii*, *Escherichia coli* [15]. Μέσα από έρευνα η αντιμικροβιακή δράση του μανιταριού αυτού έχει αποδοθεί σε ενώσεις όπως η ερυθριτόλη, το κοπαλικό οξύ, η αδενοσίνη, η καρβακρόλη, τα σεσκίτερπενια, τα στεροειδή, η ανθρακινόνη, το βενζοϊκό οξύ και οι κινολόνες καθώς οι ενώσεις αυτές έχουν επιδείξει βακτηριοκτόνες ή βακτηριοστατικές ιδιότητες που αναστέλλουν την ανάπτυξη ή άλλες διαδικασίες των βακτηρίων [15], [25].

2.5.3. Αντιοξειδωτικές ιδιότητες

Η αντίδραση οξειδωσης είναι μια χημική αντίδραση των κυττάρων η οποία πραγματοποιείται συνήθως κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού και προκαλεί το σχηματισμό ελεύθερων ριζών. Οι ελεύθερες ρίζες αποτελούν επιβλαβή μόρια καθώς ξεκινούν αλυσιδωτές αντιδράσεις που επιβαρύνουν την υγεία των κυττάρων. Τα αντιοξειδωτικά μόρια είναι ικανά να τερματίζουν αυτές

τις αλυσιδωτές αντιδράσεις απομακρύνοντας τα ενδιάμεσα προϊόντα των ελεύθερων ριζών και να αποτρέπουν άλλες αντιδράσεις οξειδωσης με το να οξειδώνονται τα ίδια [9]. Το σώμα μας διαθέτει αντιοξειδωτικά συστήματα άμυνας, ωστόσο υπάρχουν τροφές όπως τα μανιτάρια, πλούσιες σε αντιοξειδωτικά, οι οποίες βοηθούν στην πλήρη αποτροπή των βλαβών που προκαλούνται από την οξείδωση.

Το *L. Edodes* περιέχει μεγάλο βαθμό αντιοξειδωτικών ενώσεων, όπως οι φαινόλες [15]. Η χορήγηση πολυσακχαριτών *L. Edodes* σε αρουραίους που τρέφονταν με δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά, μείωσε σημαντικά την ολική χοληστερόλη ορού, τα τριγλυκερίδια, τη χοληστερόλη των λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας και ενίσχυσε τη δραστηριότητα των αντιοξειδωτικών ενζύμων ορού, υποδεικνύοντας μείωση του αυξημένου οξειδωτικού στρες [9]. Μεταγενέστερες μελέτες που έγιναν σε υπερχοληστερολαιμικούς αρουραίους υπέδειξαν ότι η χορήγηση μανιταριών *Lentinula* στη διατροφή τους μείωσε σημαντικά τις οξειδωτικές ουσίες στον οργανισμό τους [15].

Μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι η παραγωγή των μανιταριών, καθώς και η μέθοδος και η θερμοκρασία εκχύλισής τους επηρεάζουν επίσης την αντιοξειδωτική τους δράση [15]. Διάφορα είδη εκχυλίσματος έχουν μελετηθεί για τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες: υδατικά εκχυλίσματα του καρποφόρου σώματος, κλάσματα διαφορετικού μοριακού βάρους πολυσακχαριτών, ακατέργαστα εκχυλίσματα πολυσακχαριτών (LEP) και εκκρίματα που λαμβάνονται από το μυκήλιο, και όλες οι αναφορές έχουν δείξει αντιοξειδωτική δράση με υψηλή περιεκτικότητα σε φαινόλες [10]. Ακόμη, εκχυλίσματα του *L. Edodes* που λαμβάνονται με οργανικούς διαλύτες και υπερκρίσιμα υγρά, έχουν φέρει επιτυχή αποτελέσματα όσον αφορά την αντιοξειδωτική τους δράση [9], όμως έρευνες έχουν δείξει πως τα υδατικά εκχυλίσματα μανιταριών *L. Edodes* εκφράζουν γενικά υψηλότερη δραστηριότητα σε σύγκριση με τα μεθανολικά [15]. Ακόμη, η θερμοκρασία εκχύλισης είναι σημαντικός παράγοντας, καθώς μελέτη έχει αναφέρει πως η αντιοξειδωτική δραστηριότητα μειώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας και αντίστοιχα αυξάνεται με την αύξηση της, ενώ η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τους 50 °C μειώνει σταδιακά την αντιοξειδωτική δράση των εκχυλισμάτων του *L. Edodes*. Η ίδια μελέτη συγκρίνοντας διαφορετικά στελέχη του μανιταριού αλλά και διαφορετικά μέσα καλλιέργειας (κορμοί ξύλου, τεχνητά υποστρώματα πριονιδιού) συμπέρανε ότι κάποια στελέχη έχουν ισχυρότερη αντιοξειδωτική δράση σε σύγκριση με άλλα, αλλά και ότι τα μανιτάρια που καλλιεργήθηκαν σε κορμό υποδεικνύουν υψηλότερη δραστηριότητα απορρόφησης ριζών από αυτά που καλλιεργήθηκαν σε υπόστρωμα [24]. Ωστόσο, όπως και με τους άλλους τομείς των θεραπευτικών ιδιοτήτων του μανιταριού αυτού, έχει παρατηρηθεί ότι η αντιοξειδωτική ιδιότητα μελετάται κυρίως σε κυτταρικές καλλιέργειες και ζώα γεγονός που καθιστά θεμιτή την περαιτέρω έρευνα και σε ανθρώπινα υποκείμενα [15].

3. Λεμόνια

3.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Το λεμόνι είναι ο καρπός του δέντρου λεμονιά (*Citrus limon*) η οποία ανήκει στην οικογένεια των Ρουτιδών και κατατάσσεται στο γένος Κίτρος (*Citrus*). Οι καρποί που παράγονται από τα είδη του γένους αυτού αποκαλούνται εσπεριδοειδή και είναι ευρέως γνωστά για την πολύτιμη διατροφική αξία τους καθώς είναι βασική πηγή πολλών βιταμινών και άλλων θρεπτικών ουσιών.

Η καλλιέργεια των εσπεριδοειδών ανάγεται στην αρχαιότητα με τις πρώτες αναφορές να εντοπίζονται στην περιοχή της Νοτιοανατολικής Ασίας περί το 2100 π.Χ., ενώ στην Ελλάδα φαίνεται πως το πρώτο είδος εσπεριδοειδών που καλλιεργήθηκε ήταν η Κιτριά περί το 800 π.Χ. Στις μέρες μας τα εσπεριδοειδή καλλιεργούνται σε περισσότερες από 80 χώρες παγκοσμίως, με το 70% αυτών να παράγεται στο Βόρειο Ημισφαίριο, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων. Η καλλιέργειά τους είναι πολύ σημαντική για την παγκόσμια οικονομία αλλά και για τη χώρα μας αφού εκατομμύρια τόνοι εσπεριδοειδών παράγονται ετήσια τόσο σε παγκόσμιο όσο και εγχώριο επίπεδο. Η πρώτη παραγωγική χώρα σε εσπεριδοειδή παγκοσμίως είναι η Κίνα, ενώ στην Ευρώπη είναι η Ισπανία με την Ελλάδα να κατέχει υψηλή θέση στον τομέα αυτό [28].

Το γένος Κίτρος περιλαμβάνει πολυκαρπικά αειθαλή φυτά, θάμνους ή δέντρα (ύψους 3 έως 15 μέτρων) με φύλλα δερματώδη, ωοειδή ή ελλειπτικού σχήματος και τα είδη που ανήκουν σε αυτό απαντώνται φυσικά σε περιοχές με θερμό και ήπιο κλίμα, κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου αφού είναι ευαίσθητα στο κρύο. Εκτός από το λεμόνι και το πορτοκάλι, που είναι τα πιο γνωστά και ευρέως διαδεδομένα εσπεριδοειδή, στο γένος Κίτρος ανήκουν το πικρό πορτοκάλι (*Citrus aurantium* ssp. *Aurantium*), το μανταρίνι (*Citrus reticulata*), το γκρέιπφρουτ (*Citrus paradise*), το κίτρο (*Citrus medica*) και πολλά ακόμη. Η βοτανική ταξινόμηση των ειδών του γένους Κίτρος είναι πολύ δύσκολη λόγω του συχνού σχηματισμού υβριδίων και της εισαγωγής πολυάριθμων ποικιλιών μέσω διασταυρούμενης γονιμοποίησης, είτε αυτή γίνεται φυσικά μέσω εγγενούς αναπαραγωγής είτε τεχνητά, με στόχο την απόκτηση καρπών με πολύτιμες οργανοληπτικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά καλύτερα από των γονικών τους, όπως για παράδειγμα την αντίσταση σε διάφορες νόσους [29].

Όπως τα περισσότερα είδη εσπεριδοειδών έτσι και η λεμονιά έχει προκύψει ως υβρίδιο από τη διασταύρωση διαφορετικών ειδών μέσα στους αιώνες. Η ακριβής της καταγωγή δεν μπορεί να είναι βέβαιη, το πιο πιθανό όμως είναι πως πρόκειται για ένα υβρίδιο των ειδών *C.medica* και *C.aurantium* σύμφωνα με μελέτες ταυτοποίησης [30]. Η ίδια η λεμονιά, όπως τα περισσότερα παραγωγικά είδη εσπεριδοειδών δίνει πολυάριθμες ποικιλίες (Berna, Eureka, Genova, Lisbon κ.α.) και υβρίδια (Lemonime, Lumia, Ponderosa, Volkamer). Είναι δέντρο που φτάνει σε ύψος τα 2,5 με 3 μέτρα και έχει αειθαλή λογχοειδή φύλλα ενώ τα άνθη του είναι δίφυλλα και λευκά. Ο καρπός του δέντρου, δηλαδή το λεμόνι έχει επιμήκες, ωοειδές σχήμα και αρχικά έχει πράσινο χρώμα το οποίο κατά την ωρίμανση μετατρέπεται σε κίτρινο. Η φλούδα του (επικάρπιο) είναι αρκετά παχιά και δεν είναι βρώσιμη, με τους συμβατικούς όρους της έννοιας, λόγω της πικρής της γεύσης. Κάτω από την πρώτη επιδερμίδα του επικαρπίου βρίσκεται το περιφερειακό τμήμα της φλούδας, γνωστό και ως flavedo, το οποίο περιέχει κυστίδια ελαίου και καροτενοειδείς χρωστικές ουσίες. Το μεσοκάρπιο, δηλαδή ο πυρήνας του λεμονιού, είναι λευκό και σπογγώδες και χωρίζει το ενδοκάρπιο, δηλαδή τη σάρκα του σε τμήματα με ακτινωτή διάταξη, κάθε ένα από τα οποία περιέχει μεγάλες πολυκυτταρικές κύστες που περιέχουν το χυμό του λεμονιού [29].

Το λεμόνι είναι το τρίτο δημοφιλέστερο και παραγόμενο εσπεριδοειδές μετά το πορτοκάλι και το μανταρίνι παγκοσμίως. Η όξινη γεύση του, το ιδιαίτερο άρωμά του, τα πολυάριθμα θρεπτικά στοιχεία του και οι βιοδραστικές του ενώσεις που ευθύνονται για τις θεραπευτικές του ιδιότητες του χαρίζουν μια σημαντική θέση στη βιομηχανία τροφίμων, στη φαρμακευτική αλλά και στην κοσμητολογία [28]. Μεγάλης εμπορικής και φαρμακευτικής σημασίας είναι τα παράγωγα του ίδιου του καρπού, δηλαδή τα εκχυλίσματα που προκύπτουν από αυτόν, ο χυμός του και τα αιθέρια έλαιά του.

3.2. Χημική σύσταση

Πέρα από τη χημική σύσταση του ίδιου του καρπού, ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης του χυμού, των αιθέριων ελαίων, του επικαρπίου και του πυρήνα είναι σημαντικός για την περαιτέρω χρήση του λεμονιού στα πεδία που το αφορούν [29]. Το

λεμόνι περιέχει πολύτιμες βιοδραστικές ενώσεις αλλά και πολυάριθμα θρεπτικά στοιχεία που το καθιστούν σημαντικό παράγοντα μιας ισορροπημένης διατροφής.

Στοιχεία με έτος εκτίμησης το 2008, που όμως έρχονται σε συμφωνία με μεταγενέστερες αναφορές, δείχνουν πως 100g λεμονιού χωρίς φλούδα έχουν ενεργειακή αξία 29 kcal και περιέχουν 6.52g υδατανθράκων, 1.1g πρωτεΐνης, 0.039g κορεσμένων λιπαρών, 5-6 g/100 ml κιτρικού οξέος, 0.3g ολικών λιπαρών και 2.8g διατροφικών ινών [31].

Η πιο σημαντική ομάδα βιοδραστικών ενώσεων τόσο στον καρπό όσο και στο χυμό του λεμονιού είναι τα φλαβονοειδή, τα οποία διακρίνονται σε φλαβανόνες, φλαβόνες και φλαβανόλες και τα οποία θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια καθώς είναι η βασική ομάδα που καθορίζει τη βιολογική δράση του και τα αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά του. Ακόμη, στον καρπό και στο χυμό εντοπίζεται άλλη μια σημαντική ομάδα ενώσεων, τα φαινολικά οξέα και κυρίως το φερουλικό οξύ και το συναπικό οξύ, καθώς και τα παράγωγά τους. Επίσης έχει επιβεβαιωθεί η παρουσία του p-υδροξυβενζοϊκού οξέος στον καρπό. Στον καρπό επίσης βρίσκονται κουμαρινικές ενώσεις, καρβοξυλικά οξέα και αμινοξέα [29]. Τέλος, οι βιταμίνες που περιέχονται στον καρπό και το χυμό του λεμονιού είναι η Βιταμίνη Α, οι Βιταμίνες Β₁, Β₂, Β₃, Β₆, Β₉ και φυσικά η βιταμίνη C [31].

Μια άλλη ενδιαφέρουσα ομάδα ενώσεων που συναντάται στους καρπούς του λεμονιού είναι τα λιμονοειδή. Τα λιμονοειδή είναι εξαιρετικά οξειδωμένοι δευτερογενείς μεταβολίτες με πολυκυκλικό τριτερπενοειδές σκελετό και βρίσκονται κυρίως στους σπόρους, τον πολτό και τη φλούδα. Λιμονοειδή βρίσκονται γενικά στα εσπεριδοειδή, με τη λιμονίνη και τη νομιλίνη να εντοπίζονται κυρίως στο λεμόνι, και οι συγκεντρώσεις των ενώσεων αυτών έχει φανεί πως εξαρτώνται από τα στάδια ανάπτυξης και ωρίμανσης των καρπών – τα ώριμα εσπεριδοειδή περιέχουν χαμηλότερες ποσότητες από τα νεότερα [29].

Όσον αφορά τα μακροστοιχεία, ο πολτός και η φλούδα του λεμονιού περιέχουν ασβέστιο, μαγνήσιο, φώσφορο, κάλιο και νάτριο καθώς και ιχνοστοιχεία σελήνιου, μαγγάνιου και χαλκού [31].

Στο σπορέλαιο του λεμονιού, τα κύρια συστατικά είναι τα λιπαρά οξέα (αραχιδονικό οξύ, βεχενικό οξύ, λινολεϊκό οξύ) καθώς και οι τοκοφερόλες και τα καροτενοειδή. Το έλαιο πολτού καρπών λεμονιού περιέχει πολυάριθμα λιπαρά οξέα (βεχενικό οξύ, ερουκικό οξύ, γονδοϊκό οξύ, λαυρικό οξύ, λινολεϊκό οξύ κ.α.), περισσότερα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είδη εσπεριδοειδών [29].

Τα κύρια συστατικά του αιθέριου ελαίου του λεμονιού είναι μονοτερπενοειδή. Μεταξύ αυτών, ποσοτικά κυρίαρχα στο αιθέριο έλαιο που λαμβάνεται από το περικάρπιο είναι: λιμονένιο (69,9%), β-πινένιο (11,2%), γ-τερπινένιο (8,21%), σαβινένιο (3,9%), μυρσένιο (3,1%), γερανιάλιο (Ε-σιτράλιο, 2,9%), νεράλιο (Ζ-σιτράλιο, 1,5%), λιναλοόλη (1,41%). Ενδιαφέρον έχει πως το αιθέριο έλαιο του φύλλου του λεμονιού διαφέρει στη σύνθεση από το έλαιο που λαμβάνεται από το περικάρπιο. Οι κύριες ενώσεις του περιλαμβάνουν: λιμονένιο (31,5%), σαβινένιο (15,9%), κιτρονελλάλη (11,6%), λιναλοόλη (4,6%), νεράλη (4,5%), γερανιάλη (4,5%), (Ε)-β-οικιμένιο (3. 9%), μυρτσένιο (2,9%), κιτρονελόλη (2,3%), β-καρυοφυλλένιο (1,7%), τερπεν-4-όλη (1,4%), γερανιόλη (1,3%) και α-πινένιο (1,2%) [29].

Πίνακας 2: Χημική σύσταση λεμονιού [29], [31].

Ομάδα ενώσεων	Μέρος του φρούτου	Μεταβολίτες
Φλαβονοειδή	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	Φλαβανόνες: Εριοσιτρίνη, Εριοδικτυόλη, Εσπεριδίνη, Ναρινγίνη, Νεοεριοσιτρίνη, Νεοεσπεριδίνη
		Φλαβόνες: Απιγενίνη, Διοσμετίνη, Διοσμίνη, Νεοδιοσμίνη, Λουτεολίνη, Οριετίνη, Βιτεξίνη
		Φλαβανόλες: Κερκετίνη, Λιμοκιτρίνη, Ρουτοσίδη, Σπινασετίνη, Λιμοκιτρόλη
Λιμονοειδή	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	Λιμονίνη, Νομιλίνη
Φαινολικά Οξέα	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	Διυδροφερουλικό οξύ, p-υδροξυβενζοϊκό οξύ, 3-(2-υδροξυ-4-μεθοξυφenoλ)προπανοϊκό οξύ, συναπικό οξύ
Καρβοξυλικά Οξέα	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	Κιτρικό οξύ, Γαλακτουρονικό οξύ, Γλυκουρονικό οξύ, Γλουταρικό οξύ, ομοκιτρικό οξύ, 3-υδροξυμεθυλογλουταρικό οξύ, ισοκιτρικό οξύ, μαλικό οξύ, Μηλικό οξύ
Κουμαρινικές Ενώσεις	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	Κιτροπτεν(5,7-διμεθοξυκουμαρίνη), Σκοπολετίνη
Αμινοξέα	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	L- αλανίνη, L- αργινίνη, L- ασπαραγίνη, L- ασπαραϊκό οξύ, διμεθυλογλυκίνη, γλουταμινικό οξύ, L- φενυλαλανίνη, DL- προλίνη, L- τρυπτοφάνη, L- τυροσίνη, L- βαλίνη
Υδατάνθρακες	Φλούδα	Μονοσακχαρίτες: Αραβινόζη, Φρουκτόζη, β-φρουκτοφουρανόζη, β-φρουκτοπυρανόζη, Γλακτόζη, Γλυκόζη, Μαννόζη, Μυοϊνοσιτόλη, Ραμνόζη, Σκυλοϊνοσιτόλη, Ξυλόζη
	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	Δισακχαρίτες: Σακχαρόζη
Βιταμίνες	Ολόκληρο(πολτός, φλούδα και σπόροι)	A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₆ , B ₉ , C
Μακρομόρια	Πολτός και φλούδα	Ασβέστιο, Μαγνήσιο, Φώσφορος, Κάλιο, Νάτριο

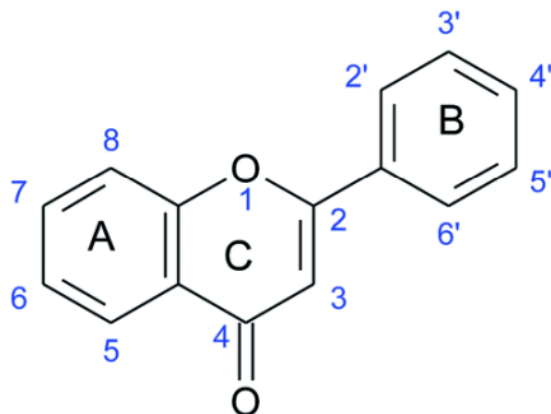
3.3. Φαινολικές ενώσεις

Η παρουσία φαινολικών ενώσεων στα φυτά έχει μελετηθεί με τη συμμετοχή τους σε διαδικασίες που είναι υπεύθυνες για το χρώμα, τη στυφή γεύση και το άρωμα σε διάφορα τρόφιμα. Επιπλέον, λόγω της αντιοξειδωτικής τους δράσης, αρκετοί ερευνητές έχουν αποδώσει έναν πιθανό ρόλο αυτών των ενώσεων στην πρόληψη διαφόρων ασθενειών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες, όπως ο καρκίνος και οι καρδιαγγειακές και νευροεκφυλιστικές ασθένειες [32].

3.3.1. Φλαβονοειδή

Οι φαινολικές ενώσεις εμφανίζονται σε όλα τα φρούτα ως μια μεγάλη και πολυποίκιλη ομάδα δευτερογενών μεταβολιτών, δηλαδή χημικών ουσιών που δεν καθίστανται απαραίτητες για την επιβίωση του φυτού, αλλά έχουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του, την προστασία του από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, καθώς και την προσέλκυση επικονιαστών. Γενικά, οι δευτερογενείς μεταβολίτες διακρίνονται σε τρεις δομικές ομάδες: τις φαινολικές ενώσεις, τα αλκαλοειδή και τα τερπένια.

Τα φλαβονοειδή είναι η πιο διαδεδομένη ομάδα φαινολικών ενώσεων και υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία βρώσιμων φρούτων και λαχανικών. Η βασική δομή τους αποτελείται από ένα βενζολικό δακτύλιο (A), συμπυκνωμένο με έναν διυδροπυρανικό δακτύλιο (C), που στη θέση 2 είναι υποκατεστημένος με έναν φαινολικό δακτύλιο (B) [33].



Εικόνα 2: Βασικός σκελετός φλαβονοειδούς [33].

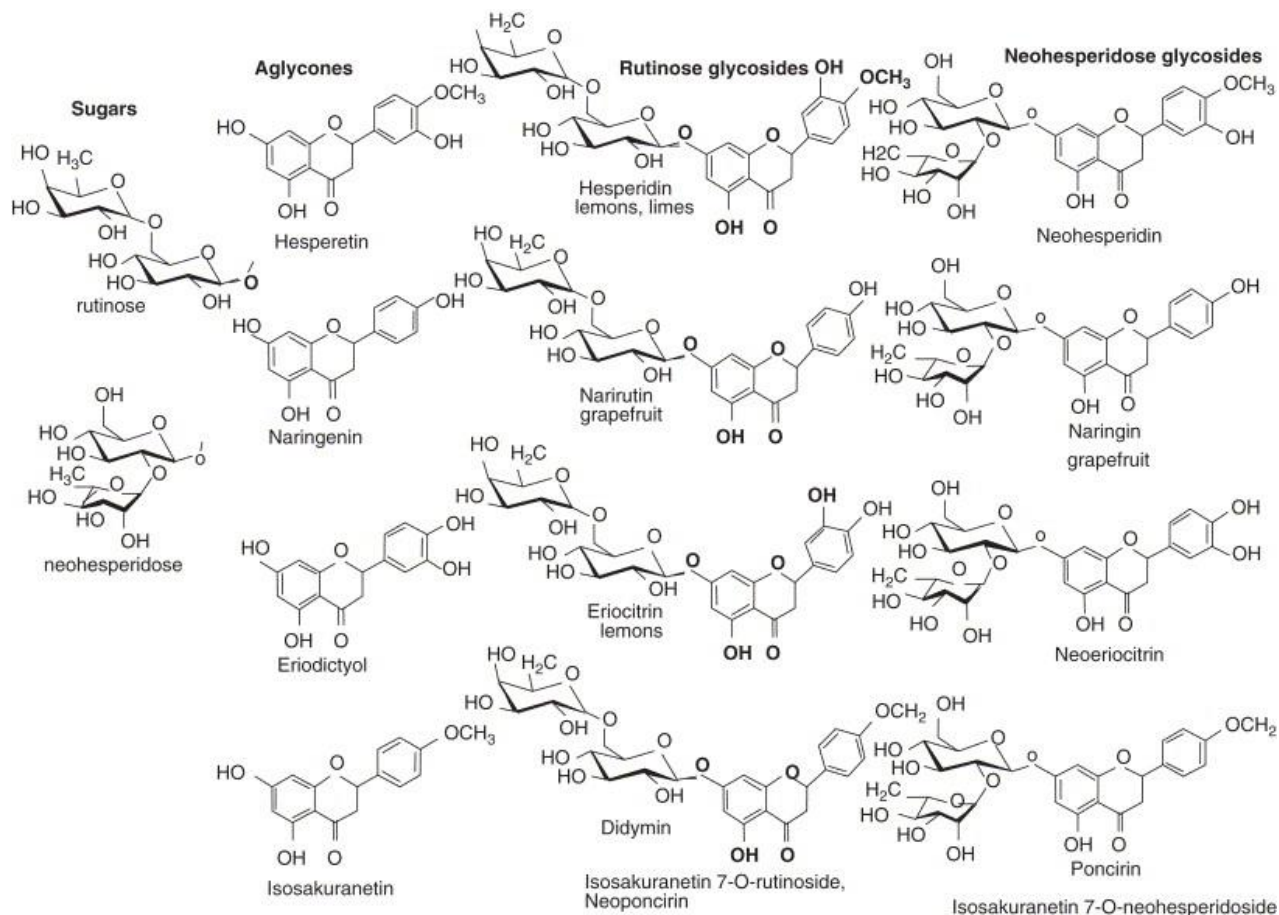
Τα φλαβονοειδή, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, έχουν τη βασική χημική δομή ενός σκελετού που αποτελείται από 15 άνθρακες. Τα φλαβονοειδή μπορούν να υποδιαιρεθούν σε διαφορετικές υποομάδες, ανάλογα με τον άνθρακα του δακτυλίου C, στον οποίο είναι προσαρτημένος ο δακτύλιος B, καθώς επίσης και ανάλογα με τον βαθμό ακορεστότητας και οξειδωσης του δακτυλίου C [33].

Τα περισσότερα φλαβονοειδή συναντώνται κυρίως ως γλυκοζίτες. Πιο συγκεκριμένα, σάκχαρα είναι συνδεδεμένα με υδροξυλικές ομάδες, συνήθως με αυτή του άνθρακα που βρίσκεται στη θέση 3 της γέφυρας του πυρανικού δακτυλίου. Το σάκχαρο με το οποίο είναι συνδεδεμένο το φλαβονοειδές καθορίζει τις ιδιότητές του, όπως για παράδειγμα τη γεύση του φρούτου ή του χυμού του. Εξαιτίας της δομικής ποικιλομορφίας, λόγω του αριθμού και της θέσης των υποκαταστατών στους αρωματικούς δακτυλίους A και B, καθώς και της σύζευξης με σάκχαρα και άλλες ενώσεις, οι κατηγορίες και τα είδη των φλαβονοειδών ποικίλλουν [33]. Περισσότερα από εξήντα μεμονωμένα φλαβονοειδή έχουν ταυτοποιηθεί στα εσπεριδοειδή και τα περισσότερα από αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες: φλαβανόνες, φλαβόνες και φλαβανόλες [31].

3.3.1.1. Φλαβανόνες

Οι φλαβανόνες είναι τα πιο άφθονα φλαβονοειδή των εσπεριδοειδών και στα λεμόνια συγκεκριμένα αποτελούν το 90% του συνόλου των φλαβονοειδών τους [31]. Τα φλαβονοειδή αυτά, που ονομάζονται και διυδροφλαβόνες, στερούνται του διπλού δεσμού μεταξύ των ανθράκων 2 και 3 στο δακτύλιο C του σκελετού των φλαβονοειδών, ο οποίος υπάρχει στις φλαβόνες και στις φλαβανόλες [34].

Οι φλαβανόνες συναντώνται στα φυτά ως αγλυκόνες (σε ελεύθερη, μη συζευγμένη μορφή) και ως γλυκοζίτες (σε συζευγμένη μορφή με μόρια σακχάρου) [34]. Διανέμονται σε τρεις κύριες αγλυκόνες: τη ναρινγκενίνη, την εσπεριτίνη και την εριδικτυόλη, αλλά τις περισσότερες φορές υπάρχουν σε γλυκοζιτική μορφή διότι συνήθως συνδυάζονται μέσω της υδροξυλομάδας C-7 είτε με σάκχαρο β-νεοεσπεριδόζης είτε με σάκχαρο β-ρουτινόζης [35]. Για παράδειγμα, η εριδικτυόλη αν συνδεθεί με ρουτινόζη μετατρέπεται στον γλυκοζίτη με το όνομα εριοικιτρίνη ενώ αν συνδεθεί με σάκχαρο νεοεσπεριδόζης μετατρέπεται σε γλυκοζίτη νεοεριοικιτρίνη [36]. Τα σάκχαρα με τα οποία συνδέονται οι αγλυκόνες επηρεάζουν τη γεύση των εσπεριδοειδών: για παράδειγμα, οι νεοεσπεριδοσίδες προκαλούν μια έντονα πικρή γεύση, ενώ οι ρουτινοσίδες – που υπερισχύουν στα λεμόνια – δεν έχουν γεύση [31].



Εικόνα 3: Φλαβανόνες σε άγλυκη και γλυκοζιτική μορφή [36].

Σε έρευνα που διεξήχθη με σκοπό τον προσδιορισμό των τιμών των φλαβανονών σε διάφορα εσπεριδοειδή αναφέρεται πως τα λεμόνια περιέχουν ολικές φλαβανόνες ίσες με 26 mg αγλυκόνης σε 100 g εδώδιμου φρούτου ή χυμού, με την εσπεριδίνη και την εριοκitrine να κυριαρχούν, με μέσο όρο 16mg αγλυκόνης σε 100 g εδώδιμου φρούτου ή χυμού για την εσπεριδίνη και 9 mg αγλυκόνης/100g εδώδιμου φρούτου ή χυμού για την εριοκitrine (όλα τα στοιχεία αποδόθηκαν σε μονάδα μέτρησης mg αγλυκόνης/100g εδώδιμου φρούτου η χυμού) [36]. Η σύνθεση των σπόρων και της φλούδας του λεμονιού δεν είναι η ίδια σε φλαβανόνες καθώς ο σπόρος του λεμονιού περιέχει κυρίως εριοκitrine και εσπεριδίνη και πολύ μικρές ποσότητες ναρινγίνης, ενώ η φλούδα είναι πλούσια σε νεοεριοκitrine, ναρινγίνη και νεοεσπεριδίνη. Ακόμη, διαφορά υπάρχει και μεταξύ των σπόρων και της φλούδας με το χυμό: ενώ η ναρινγίνη βρίσκεται στη φλούδα και στους σπόρους του λεμονιού, δεν εντοπίζεται στο χυμό του [37].

Η βιοδραστικότητα των φλαβανονών αφορά κυρίως την αντιμικροβιακή και αντιμυκητιακή δράση και μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης στεφανιαίας νόσου. Επιπλέον, οι φλαβανόνες έχουν ευεργετικές επιδράσεις στον οργανισμό, καθώς εμφανίζουν αντιυπερτασικές, λιπομειωτικές, ινσουλινοευαισθητοποιητικές, αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Ακόμη, δρουν ως καρδιοπροστατευτικοί παράγοντες και μειώνουν την πιθανότητα ισχαιμικού εγκεφαλικού επεισοδίου. Η ναρινγίνη είναι γνωστή για την αντιοξειδωτική της δράση καθώς δρα ως καθαριστικό των ελεύθερων ριζών. Ακόμη, έχει αποδειχθεί πως μπορεί να μειώσει το επίπεδο της ολικής χοληστερόλης ενισχύοντας το μεταβολισμό των λιπιδίων και μειώνοντας το οξειδωτικό στρες [34].

3.3.1.2. Φλαβόνες

Μετά τις φλαβανόνες, οι φλαβόνες είναι η επόμενη κατηγορία φλαβονοειδών όσον αφορά την αφθονία τους στα εσπεριδοειδή. Πρόκειται για ενώσεις που παρασκευάζονται από τις φλαβανόνες ως άμεση βιοσυνθετική πρόδρομη ουσία με την αφαίρεση δύο ατόμων υδρογόνου, η οποία καταλύεται κυρίως από τη συνθάση των φλαβονών. Όπως ισχύει με τις φλαβανόνες, έτσι και οι φλαβόνες εμφανίζονται σε άγλυκη και σε γλυκοζιτική μορφή. Για παράδειγμα η αγλυκόνη διοσμίνη

μπορεί να μετατραπεί σε διοσμίνη αν συνδεθεί με ρουτινόζη αλλά και σε νεοδιοσμίνη αν συνδεθεί με νεοεσπεριδόση. Σύμφωνα με τη μεταβολική οδό των φλαβονοειδών, οι φλαβόνες – νεοεσπεριδοσίδες μπορούν να συντεθούν από τις αντίστοιχες φλαβανόνες – νεοεσπεριδοσίδες τους: η αγλυκόνη ναρινγενίνη (φλαβανόνη) μπορεί να μετατραπεί σε αγλυκόνη απιγενίνη (φλαβόνη) με αφυδρογόνωση που καταλύεται από τη συνθάση. Ομοίως ο γλυκοζιτή νεοεσπεριδίνη μπορεί να μετατραπεί σε νεοδιοσμίνη, ενώ η λουτεολίνη – νεοεσπεριδοσίδη μπορεί να συντεθεί με την αφυδρογόνωση της εριοδικτυόλης που καταλύεται από μια φλαβονική συνθάση ή με την υδροξυλίωση της απιγενίνης που καταλύεται από μια υδροξυλάση. Αυτές οι τρεις φλαβόνες (λουτεολίνη-νεοεσπεριδόζη, νεοδιοσμίνη και απιγενίνη-νεοεσπεριδόζη) είναι εκείνες που βρίσκονται σε περισσότερη αφθονία στο λεμόνι [38]. Μικρότερες ποσότητες από βισενίνη και διοσμίνη εντοπίζονται στο χυμό, ενώ στη φλούδα εντοπίζονται μεγάλες ποσότητες διοσμετίνης συνδεδεμένης με γλυκόζη, βισενίνης και διοσμίνης [31].

Μεγάλο ενδιαφέρον έχει μια υποομάδα των φλαβονών, οι μεθοξυλιωμένες φλαβόνες, οι οποίες αποτελούν τα περισσότερο υδρόφοβα φλαβονοειδή. Βρίσκονται κυρίως στη φλούδα και στο flavedo κάποιων εσπεριδοειδών και είναι γνωστές για τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρουν στην υγεία, όμως στο λεμόνι δεν εντοπίζεται σημαντική ποσότητα τέτοιων ενώσεων.

Προκλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι φλαβονικές ενώσεις διαθέτουν ποικίλες φαρμακολογικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών, αντιμικροβιακών και αντικαρκινικών δραστηριοτήτων ως χημειοπροληπτικοί και χημειοθεραπευτικοί παράγοντες, λόγω της ικανότητάς τους να αναστέλλουν την αγγειογένεση, να επάγουν απόπτωση, να αποτρέπουν την καρκινογένεση σε ζωικά μοντέλα, να μειώνουν την ανάπτυξη του όγκου in vivo και να ευαισθητοποιούν τα καρκινικά κύτταρα στις κυτταροτοξικές επιδράσεις ορισμένων αντικαρκινικών φαρμάκων [34].

3.3.1.3. Φλαβανόλες

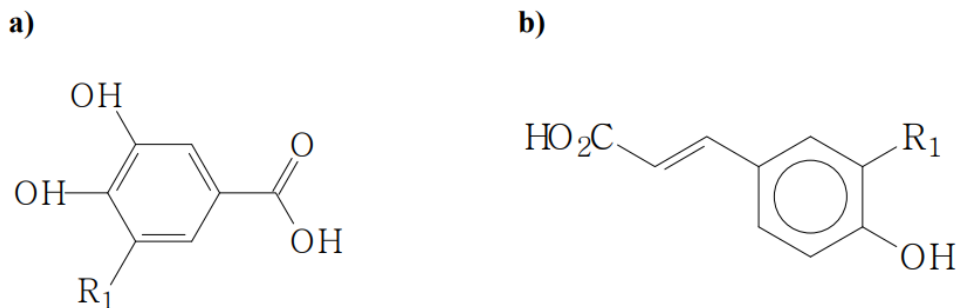
Οι φλαβανόλες μοιάζουν δομικά πολύ με τις φλαβόνες, με τη διαφορά ότι οι φλαβανόλες διαθέτουν μία ομάδα υδροξυλίου στη θέση 3 του δακτυλίου C [34]. Σύμφωνα με τη γενική πορεία των φλαβονοειδών, οι φλαβανόλες συντίθενται από τις φλαβανόνες με σύνθεση δύο σταδίων, η οποία ξεκινά με υδροξυλίωση που προκαλείται από μια υδροξυλάση φλαβανόνης και ακολουθείται από αφυδρογόνωση που καταλύεται από μια συνθάση φλαβανόλης [38]. Η βιοσύνθεση των γλυκοζιτών της φλαβανόλης διεγείρεται από το φως και αυτό οδηγεί σε συσσώρευση στους εξωτερικούς και εναέριους ιστούς (δέρμα και φύλλα) των φυτών και των φυτικών προϊόντων [34].

Όπως και οι παραπάνω ενώσεις, έτσι και οι φλαβανόλες συναντώνται σε άγλυκη αλλά και σε γλυκοζιτική μορφή: οι πιο συνηθισμένες αγλυκόνες φλαβανόλης είναι η κερκετίνη, η καεμφερόλη και η μυρικετίνη και εμφανίζουν εκατοντάδες γλυκοζιτικούς συνδυασμούς συνδεδεμένες με σάκχαρα [34]. Όπως οι φλαβόνες, έτσι και οι φλαβανόλες παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στα πρότυπα μεθυλίωσης και υδροξυλίωσης. Στο λεμόνι, οι γλυκοζυλιωμένες μορφές συνδέονται συνήθως με σάκχαρο γλυκόζης ή ραμνόζης: η λιμοκιτρίνη και η λιμοκιτρόλη (αμφότερες συζευγμένες σε ένα γλυκοζιτή και ένα 3-υδροξυ-3-μεθυλ-γλουταρυλικό) και η ρουτίνη (κερκετίνη συζευγμένη με δισακχαρίτη ραμνόζης) είναι οι πιο άφθονες φλαβανόλες, ενώ ακόμη συναντώνται, σε μικρότερες ποσότητες, λιμοκιτρίνη, κερκετίνη και ισοραμνετίνη συνδεδεμένες με νεοεσπεριδόζη, κερκετίνη συδεδεμένη με δύο γλυκοζίτες και μία ραμνόζη και σπινασετίνη συνδεδεμένη με δύο γλυκοζίτες και ένα 3-υδροξυ-3-μεθυλ-γλουταρυλικό [38]. Η ρουτίνη εντοπίζεται στο χυμό του λεμονιού, η λιμοκιτρίνη και οι λιμοκιτρόλες συνδεδεμένες με τα σάκχαρα τους εντοπίζονται στη φλούδα ενώ η κερκετίνη βρίσκεται τόσο στη φλούδα όσο και στο χυμό [31].

Οι φλαβανόλες προσδίδουν πολλά οφέλη στην ανθρώπινη υγεία, λόγω των αντιοξειδωτικών και νευροπροστατευτικών ιδιοτήτων τους, ενώ επίσης κατέχουν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη της αθηροσκλήρωσης και άλλων αγγειακών παθήσεων. Επίσης, παρουσιάζουν κυτταροτοξική δράση κατά των ανθρώπινων καρκινικών κυττάρων του ακανθοκυτταρικού καρκινώματος και κατά των κυττάρων των όγκων των σιελογόνων αδένων [34].

3.3.2. Φαινολικά οξέα

Εκτός από τα φλαβονοειδή, μία άλλη κατηγορία φαινολικών ενώσεων η οποία εντοπίζεται τόσο στα εσπεριδοειδή γενικότερα όσο και στο λεμόνι ειδικότερα, είναι τα φαινολικά οξέα. Τα φαινολικά οξέα είναι μόρια που αποτελούνται από έναν δακτύλιο φαινόλης συνδεδεμένο με μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες και βρίσκονται σε πολλά φρούτα και λαχανικά. Στο σύνολό τους μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο μεγάλες ομάδες, τα υδροξυβενζοϊκά οξέα και τα υδροξυκιναμικά οξέα.



Εικόνα 4: Χημική δομή των a) υδροξυβενζοϊκών οξέων b) υδροξυκινναμικών οξέων.

a) Το πρωτοκατεχικό οξύ διαθέτει στη θέση R_1 ένα μόριο υδρογόνου (H) ενώ το γαλλικό οξύ ένα υδροξύλιο (OH).

b) Το καφεϊκό οξύ διαθέτει στη θέση R_1 ένα υδροξύλιο (OH), το φερουλικό οξύ ένα μόριο μεθανόλης (OCH_3) και το *p*-κουμαρικό οξύ ένα μόριο υδρογόνου (H).

Τα υδροξυκινναμικά οξέα είναι τα πιο ευρέως διαδεδομένα φαινολικά οξέα στα φυτά και αντιπροσωπεύονται κυρίως από το καφεϊκό, το φερουλικό και το *p*-κουμαρικό οξύ και ακολούθως από το σιναπικό οξύ. Συνήθως, τα πιο κοινά υδροξυκινναμικά οξέα δεν υπάρχουν στα φυτά σε ελεύθερη κατάσταση, αλλά εμφανίζονται συχνότερα ως απλοί εστέρες με κινικό οξύ ή γλυκόζη [39]. Για παράδειγμα, το καφεϊκό οξύ, το κύριο υδροξυκινναμικό οξύ που υπάρχει στα τρόφιμα, συναντάται κυρίως ως χλωρογενικό οξύ (CGA-5- καφεοϋλοκινικό οξύ), δηλαδή σε μορφή που έχει προκύψει με εστεροποίηση του κινικού οξέος με ένα έως τέσσερα μόρια υδροξυκινναμικών οξέων [32]. Πρόκειται για ένα μονοκαφεοϋλοκινικό οξύ, ενώ υπάρχουν και διυδροξυκινναμολικοί εστέρες με κινικό οξύ. Αντίστοιχα, μπορεί να συμβεί σχηματισμός εστέρων υδροξυκινναμικών οξέων με σάκχαρα ή με οξέα σακχάρων, όπως το γλυκαρικό και το γλυκονικό οξύ αλλά και με γλυκερόλη, με την εστεροποίηση να καταλύεται από εξειδικευμένα ένζυμα [39].

Τα υδροξυκινναμικά οξέα και τα παράγωγά τους αποτελούν σημαντική πηγή αντιοξειδωτικών και για το λόγο αυτό αρκετοί ερευνητές έχουν συνδέσει τη δράση τους με την πρόληψη διάφορων ασθενειών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες, όπως ο καρκίνος και οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Μάλιστα, πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι οι ενώσεις αυτές μπορεί να δρουν και με άλλους μηχανισμούς εκτός από αυτούς που προκύπτουν από την αντιοξειδωτική δράση, όπως η διαμόρφωση της δραστηριότητας ορισμένων ειδικών ενζύμων και η αναστολή του κυτταρικού πολλαπλασιασμού. Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες εξετάζοντας τα διάφορα υδροξυκινναμικά οξέα, τα παράγωγα και τους εστέρες τους έναντι διαφόρων σειρών καρκινικών κυττάρων *in vitro* αλλά και σε ζώα. Τα αποτελέσματα συμφωνούν μεταξύ τους στη σημαντική αντικαρκινική δράση των οξέων αυτών καθώς έχουν αναφερθεί ιδιότητες όπως η αναστολή φλεγμονωδών παραγόντων όπως η κυκλοοξυγενάση-2 (COX-2), η προσταγλανδίνη E2 (PGE2) και επαγωγή της συνθάσης του μονοξειδίου του αζώτου (iNOS), η αναστολή της μεταλλοπρωτεϊνάσης μήτρας-9 (MMP-9, ένζυμο που συμμετέχει στο σχηματισμό και τη μετάσταση όγκων), η μείωση της παραγωγής του αγγειακού ενδοθηλιακού αυξητικού παράγοντα (VEGF, γλυκοπρωτεΐνη που συμβάλει στη μετάσταση όγκων), η απορρόφηση ελεύθερων ριζών, η ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού, η αναστολή του πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων και η αύξηση της κυτταροτοξικότητας απέναντι σε καρκινικά κύτταρα του εντέρου, του στομάχου, του συκωτιού, του προστάτη και του πνεύμονα [32].

Τα υδροβενζοϊκά οξέα απαντώνται λιγότερο συχνά στη φύση από ότι τα υδροξυκινναμικά. Οι τρεις πιο κοινές ενώσεις είναι το *p*-υδροξυβενζοϊκό, το βανιλικό και το πρωτοκατεχικό οξύ ενώ συχνά συναντώνται το συριγγικό και το γαλλικό οξύ. Σε αντίθεση με τα υδροξυκινναμικά που συναντώνται κυρίως ως εστέρες κινικού οξέος, οι ενώσεις των υδροξυβενζοϊκών οξέων υπάρχουν κυρίως με τη μορφή *O*-γλυκοζιτών και σπανιότερα με τη μορφή εστέρων γλυκόζης, ενώ το γαλλικό οξύ παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα να εστεροποιείται με γλυκόζη στη μορφή υδρολυόμενης τανίνης. Παρόλο που βρίσκονται σε μια πληθώρα φρούτων και λαχανικών, οι γνωστές ενώσεις των υδροξυβενζοϊκών οξέων εντοπίζονται μόνο σε ίχνη, δηλαδή σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1 ppm, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του *p*-υδροξυβενζοϊκού γλυκοζιτη να συναντώνται στα σελινοειδή [39], [40].

Για το λεμόνι έχει καταγραφεί πως 100 γραμμάρια χυμού ή φρούτου χωρίς τη φλούδα και τους σπόρους περιέχουν 1.84mg φερουλικού οξέος, 0.64mg *p*-κουμαρικού οξέος, 0.48mg σιναπικού οξέος, 0.21mg καφεϊκού οξέος καθώς και ίχνη βανιλικού,

p-υδροξυβενζοϊκού και πρωτοκατεχικού οξέος σε ποσότητες κάτω από 0.1mg. Εκτός όμως από το εσωτερικό του φρούτου, φαινολικά οξέα -κυρίως φερουλικό και p-κουμαρικό- βρίσκονται και στη φλούδα και τους σπόρους του λεμονιού [41].

3.4. Οφέλη στην υγεία

Το λεμόνι αποτελεί αναπόσπαστο μέρος μιας υγιεινής διατροφής καθώς είναι πλούσιο σε φαινολικές ενώσεις, βιταμίνες, μέταλλα, φυτικές και διαιτητικές ίνες, αιθέρια έλαια και καροτενοειδή, ενώσεις που συμβάλλουν στην καλή λειτουργία του οργανισμού, τη σωστή ανάπτυξή του και την άμυνά του απέναντι σε λοιμώξεις και άλλου είδους ασθένειες. Πιο συγκεκριμένα, τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά οξέα στα οποία είναι πλούσιο, του προσδίδουν εξαιρετικά αντιοξειδωτικές ιδιότητες οι οποίες θα αναλυθούν ακολούθως, ενώ τα μέταλλα που περιέχει είναι απαραίτητα για τον οργανισμό καθώς είναι υπεύθυνα για βασικές μεταβολικές λειτουργίες, την καλή ανάπτυξη των οστών και των δοντιών, την κατανομή της ενέργειας και την υποβοήθηση των νευρικών και μυϊκών λειτουργιών. Ακόμη, οι βιταμίνες του (A, B₁, B₂, B₃, B₆, B₉, C) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες ως προς τη ρύθμιση της έκφρασης της αυξητικής ορμόνης, την ανάπτυξη του δέρματος και της όρασης, τη συντήρηση του νευρικού συστήματος, της καρδιάς και του εγκεφάλου, τη ρύθμιση των γαστρεντερικών και μυϊκών λειτουργιών και τη ρύθμιση του κολλαγόνου και του συνδετικού ιστού, καθώς και την απορρόφηση του ανόργανου σιδήρου [31].

3.4.1. Αντιοξειδωτικές ιδιότητες

Η σημαντική αντιοξειδωτική ικανότητα του λεμονιού οφείλεται τόσο στην πληθώρα φλαβονοειδών που περιέχει όσο και στη βιταμίνη C στην οποία είναι πλούσιο, καθώς οι ενώσεις αυτές διαθέτουν ισχυρά φυσικά αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά [31]. Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη, η χορήγηση χυμού λεμονιού σε ποντικούς που εκτέθηκαν σε οξειδωτικό στρες έδωσε πολύ επιτυχημένα αποτελέσματα σχετικά με τη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης, τον αριθμό ερυθρών και λευκών αιμοσφαιρίων και τα επίπεδα ασπαρτικής αμινοτρανσφοράσης, αμινοτρανσφοράσης αλανίνης και ολικής πρωτεΐνης, αναδεικνύοντας τα προστατευτικά και αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά που προσέδωσε ο χυμός λεμονιού στις αιματολογικές και βιοχημικές παραμέτρους των οξειδωτικά καταπονημένων ποντικών [42].

Η βιταμίνη C είναι το σημαντικότερο υδατοδιαλυτό αντιοξειδωτικό στα κύτταρα με δύο βιολογικά ενεργές μορφές, το ασκορβικό οξύ και το διυδροασκορβικό οξύ, οι οποίες μάλιστα δείχνουν να σχηματίζουν ένα αντιστρεπτό οξειδοαναγωγικό ζεύγος σύμφωνα με ηλεκτροχημικές μελέτες [43]. Η αντιοξειδωτική λειτουργία της βασίζεται στην ικανότητά της ως δότη υδρογόνου που της επιτρέπει να αδρανοποιεί τις ελεύθερες ρίζες τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά του κυττάρου λόγω της υδατοδιαλυτότητας της, αποτρέποντας τις βλάβες των πρωτεϊνών, των λιπιδίων και του DNA που προκαλούνται από την οξείδωσή τους [31]. Ακόμη, έχει την ικανότητα να αδρανοποιεί και άλλα επιβλαβή είδη που προέρχονται από το οξυγόνο όπως οι ρίζες υδροξυλίου, το υπεροξειδίο του υδρογόνου και το μονήρες οξυγόνο, λειτουργώντας ως αποδέκτης τους [43].

Τα φλαβονοειδή αντίστοιχα δρουν ως δότες υδρογόνου: η φαινολική ομάδα του φλαβονοειδούς χρησιμεύει ως πηγή ενός άμεσα διαθέσιμου ατόμου H, έτσι ώστε οι ελεύθερες ρίζες που παράγονται να μπορούν να αποκεντρωθούν πάνω στη δομή του. Η αντιοξειδωτική ικανότητα ενός φλαβονοειδούς συνδέεται με την ιδιαίτερη χημική δομή του. Οι τρεις δομικές ομάδες που είναι σημαντικότερες για την αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας είναι (A) η ορθο-διυδροξυ-δομή (κατεχόλη) στον δακτύλιο B, η οποία προσδίδει μεγαλύτερη σταθερότητα στις ρίζες αροξυλίου, ενδεχομένως μέσω δεσμών υδρογόνου, και η οποία συμμετέχει στην απομάκρυνση των ηλεκτρονίων (B) ο διπλός δεσμός 2,3, υπεύθυνος για την απομάκρυνση των ηλεκτρονίων από τον δακτύλιο B (Γ) η παρουσία τόσο 3-(α)- όσο και 5-(β)-υδροξυλικών ομάδων. Έτσι, η απουσία της υδροξυλομάδας στη θέση 3 στις φλαβανόνες και τις φλαβόνες μειώνει την αντιοξειδωτική τους ικανότητα, όπως επίσης και η απουσία της δομής της κατεχόλης στον δακτύλιο B, ωστόσο ο διπλός δεσμός 2,3 καθιστά τη δομή πιο δραστική. Ακόμη, η αντιοξειδωτική δράση των φλαβονοειδών επηρεάζεται και από άλλους τομείς, όπως η παρουσία ή απουσία γλυκοζιτών (έχει αναφερθεί ότι τα γλυκοσίδια είναι πιο δραστικά από τις αγλυκόνες τους), η παρουσία ελεύθερων υδροξυλίων, ο αριθμός και η θέση των υδροξυλίων που τελικά εστεροποιούνται καθώς και η συγκέντρωση του φλαβονοειδούς στο περιβάλλον της αντίδρασης [37]. Ακόμη, έχει αποδειχθεί ότι η αντιοξειδωτική δράση των φλαβονοειδών του λεμονιού δεν περιορίζεται μόνο στη δράση τους ως προς την απορρόφηση ριζών, αλλά αυξάνει επίσης την αντιοξειδωτική κυτταρική άμυνα μέσω του σηματοδοτικού μονοπατιού ERK/Nrf2, ενός παράγοντα που ελέγχει τη βασική και επαγόμενη έκφραση μιας σειράς γονιδίων

που εξαρτώνται από στοιχεία αντιοξειδωτικής απόκρισης για να ρυθμίζει τα φυσιολογικά και παθοφυσιολογικά αποτελέσματα της έκθεσης σε οξειδωτικά [29].

Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας είναι η μέθοδος DPPH. Πρόκειται για μια δημοφιλή, γρήγορη, εύκολη και προσιτή μέθοδο η οποία περιλαμβάνει χρήση ριζών διφαινυλ-2-πικρυλυδραζυλίου για την αξιολόγηση της δυνατότητας ουσιών να λειτουργούν ως δότες υδρογόνου ή ως αποδέκτες ελεύθερων ριζών. Έρευνα που μελέτησε την αντιοξειδωτική ικανότητα του λεμονιού αναφέρει πως οι τιμές DPPH κυμαίνονται από 1.08 έως 8.20% στη φλούδα, από 4.00 έως 7.29% στον πολτό, από 0.22 έως 0.59% στο χυμό, από 3.10 έως 7.96% σε ολόκληρο τον καρπό και από 0.50 έως 4.01% στον σπόρο, αποδεικνύοντας πως η φλούδα έχει τα πιο ισχυρά αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά, γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη συγκέντρωση φλαβονοειδών στο σημείο αυτό του φρούτου [44], με την εριοικτρίνη, τη νεοεριοικτρίνη και τη γλυκοσυλδιοσμίνη να παρουσιάζουν τη σημαντικότερη αντιοξειδωτική δράση [37].

3.4.2. Καρδιοπροστατευτική δράση

Ο ρόλος του λεμονιού στην πρόληψη καρδιαγγειακών νοσημάτων όπως η αθηροσκλήρωση σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τον αντιοξειδωτικό του ρόλο και την ικανότητα των βιοδραστικών του ενώσεων να αποτρέπουν τις επιβλαβείς αντιδράσεις οξείδωσης των κυττάρων. Μελέτες που έχουν διεξαχθεί *in vitro* και *in vivo*, αλλά και κλινικές δοκιμές αναφέρουν τη σημαντική επίδραση του χυμού λεμονιού στην αρτηριακή πίεση και στους παράγοντες θρόμβωσης του αίματος. Για παράδειγμα, μελέτη που εξέτασε την επίδραση της καθημερινής πρόσληψης χυμού λεμονιού σε 100 μεσήλικες γυναίκες έδειξε θετικά αποτελέσματα σχετικά με τη μείωση της υψηλής αρτηριακής πίεσης καθώς ο παράγοντας αυτός, μαζί με το περπάτημα, παρουσίασαν σημαντική αρνητική συσχέτιση με τη συστολική αρτηριακή πίεση [45]. Ακόμη, ο εμπλουτισμός της διατροφής με βιταμίνη C σε 36 άνδρες, οι οποίοι ταυτόχρονα τρέφονταν με δίαιτα υψηλή σε κορεσμένα λιπαρά, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ευαισθησίας των λιποπρωτεϊνών στην οξείδωση και άρα τη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακού επεισοδίου [46]. Τέλος, *In vivo* δοκιμές σε κουνέλια επιβεβαίωσαν πως η καθημερινή χορήγηση χυμού λεμονιού σε συγκεκριμένη δοσολογία είχε μεγάλη επίδραση στις παραμέτρους του αίματος και στους παράγοντες πήξης και αντιπηξίας: παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές στις αιματολογικές παραμέτρους, όπως οι ποσότητες των ερυθροκυττάρων και της αιμοσφαιρίνης, ενώ ο χρόνος αιμορραγίας και ο χρόνος θρομβίνης παρατάθηκαν σημαντικά και υπήρξε αύξηση των επιπέδων του συμπλόκου θρομβίνης-αντιθρομβίνης. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν πως το λεμόνι μπορεί να αναδείξει σημαντική αντιπηκτική δράση και να αποτρέψει τη θρόμβωση παίζοντας καρδιοπροστατευτικό ρόλο [47].

3.4.3. Αντικαρκινική δράση

Η αντικαρκινική δράση του λεμονιού έχει αποδοθεί κυρίως στα φλαβονοειδή του. Έρευνες που έχουν εξετάσει τα διάφορα φλαβονοειδή εσπεριδοειδών έναντι διάφορων τύπων καρκινικών κυττάρων έχουν αναφέρει την ικανότητα της εριοικτρίνης να προκαλεί απόπτωση στην κυτταρική σειρά ανθρώπινης λευχαιμίας HL-60, την αντιπολλαπλασιαστική δράση της εσπεριδίνης έναντι καρκινικών κυττάρων, τη θετική επίδραση της ναρινγίνης και της ναρινγενίνης στην αναστολή της καρκινογένεσης στη στοματική περιοχή και την ικανότητα της εσπεριδίνης και της διοσμίνης να δρουν ως χημειοπροστατευτικοί παράγοντες στην καρκινογένεση της ουροδόχου κύστης. Ακόμη, η κερκετίνη και η ρουτίνη φαίνεται πως έχουν την ικανότητα αναστολής της νεοπλασίας του παχέος εντέρου που προκαλείται από την αζοξυμεθανόλη. Μελέτες υποδεικνύουν πως η ύπαρξη και ο τύπος γλυκοζυλίωσης παίζει ρόλο στην έκφραση τέτοιων βιοδραστικών δραστηριοτήτων, καθώς βρέθηκε πως η εριοικτρίνη αποτελεί μεν ανασταλτική ένωση κατά των λιποξυγενάσων των αιμοπεταλίων αρουραίων (οι οποίες συνδέονται στενά με την παθογένεια διάφορων ασθενειών όπως ο καρκίνος), η αγλυκόνη της όμως, η εριδιοκτυόλη, παρουσιάζει ισχυρότερη ανασταλτική δράση [31].

Εκτός από τα φλαβονοειδή, τα φαινολικά οξέα έχουν επιδείξει αντικαρκινική δράση σε μια σειρά διαφορετικών τύπων καρκινικών κυττάρων -όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω- ενώ επίσης συστατικά που περιέχονται στο αιθέριο έλαιο του λεμονιού έχουν διερευνηθεί για τη δράση τους ως χημειοπροστατευτικοί παράγοντες. Για παράδειγμα, η κιτράλη έχει αναφερθεί πως είναι παράγοντας αναστολής της καρκινογένεσης που σχετίζεται με τη φλεγμονή, όπως ο καρκίνος του δέρματος και ο καρκίνος του παχέος εντέρου. Ακόμη, το d-λιμονένιο παρουσιάζει χημειοπροληπτική αποτελεσματικότητα σε προκλινικά μοντέλα ηπατοκυτταρικού καρκινώματος και καρκίνου του δέρματος ενώ επίσης έδειξε αντι-αγγειογενετικές και

αποπτωτικές επιδράσεις στον ανθρώπινο γαστρικό καρκίνο που εμφυτεύθηκε σε ποντίκια, αναστέλλοντας έτσι την ανάπτυξη και τη μετάσταση του όγκου [31].

Μια άλλη μελέτη έδειξε ότι ένα εκχύλισμα μεθανόλης και νερού (80:20 μεθανόλη:νερό) από σπόρους λεμονιού προκάλεσε απόπτωση σε ανθρώπινα κύτταρα αδenoκαρκινώματος του μαστού (MCF-7), οδηγώντας στην αναστολή του πολλαπλασιασμού. Αυτό το εκχύλισμα παρουσίασε τη μεγαλύτερη δυνατότητα αναστολής των κυττάρων MCF-7 σε σύγκριση με τα εκχυλίσματα οξικού αιθυλεστέρα, ακετόνης και μεθανόλης υποδηλώνοντας πως οι αγλυκόνες και οι γλυκοζίτες των λιμονοειδών και των φλαβονοειδών που υπάρχουν στο εκχύλισμα αυτό μπορούν ενδεχομένως να χρησιμεύσουν ως χημειοπροληπτικός παράγοντας για τον καρκίνο του μαστού [29].

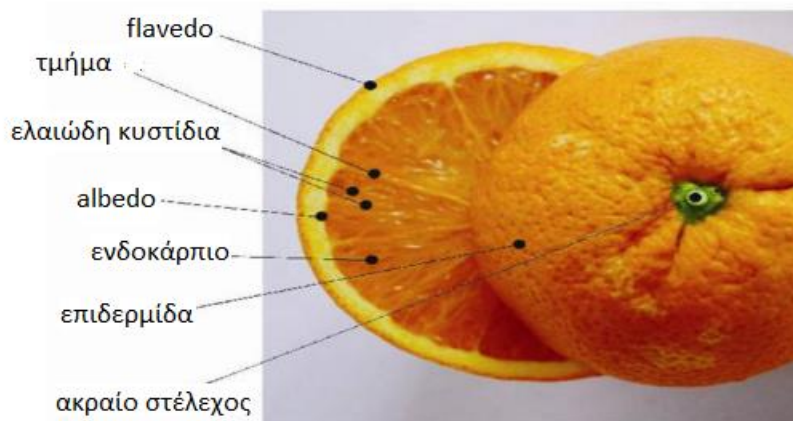
4. Πορτοκάλια

4.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Το πορτοκάλι είναι ο καρπός του δέντρου πορτοκαλιά (*Citrus sinensis*) η οποία ανήκει στην οικογένεια των Ρουτιδών και κατατάσσεται στο γένος Κίτρος, όπως και η λεμονιά. Έτσι, το πορτοκάλι κατατάσσεται στα εσπεριδοειδή και μάλιστα αποτελεί το δημοφιλέστερο και το πρώτο σε παραγωγή εσπεριδοειδές παγκοσμίως, χάρη στην πλούσια γεύση του, το χαρακτηριστικό και ιδιαίτερο άρωμά του αλλά και τα οφέλη που προσφέρει στην υγεία καθώς είναι πηγή πολλών βιταμινών και θρεπτικών στοιχείων. Το κοινώς γνωστό σε όλους μας πορτοκάλι, συχνά αποκαλείται και γλυκό πορτοκάλι, για την αποφυγή σύγχυσης με άλλα κοντινά συγγενικά είδη όπως το ξινό πορτοκάλι, το νεράντζι και το μανταρίνι [48].

Τα πορτοκάλια εισήχθησαν στη νότια Ευρώπη από τους Πορτογάλους εξερευνητές που ακολούθησαν τα βήματα της εκστρατείας του Βάσκο ντε Γκάμα προς την Ανατολή. Έτσι, τα πορτοκάλια διαδόθηκαν από την Κίνα στην ανατολική ακτή της Αφρικής και αργότερα στην Ευρώπη περί τον 15^ο αιώνα. Μέχρι τις αρχές του 16^{ου} αιώνα, η καλλιέργεια του πορτοκαλιού είχε εδραιωθεί και είχε ήδη μεγάλη εμπορική σημασία στη νότια Ευρώπη, ενώ περίπου στα μέσα του το πορτοκάλι εισήχθη και στην Αμερικάνικη ήπειρο [49]. Στις μέρες μας, η καλλιέργεια των πορτοκαλιών αποτελεί σημαντικό παράγοντα τόσο για την παγκόσμια όσο και για την εγχώρια οικονομία αφού αντιπροσωπεύει περίπου το 70% της συνολικής ετήσιας παραγωγής εσπεριδοειδών. Σε παγκόσμιο επίπεδο η Βραζιλία κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή τους ενώ σε ευρωπαϊκό η Ισπανία ακολουθούμενη από την Ιταλία και έπειτα την Ελλάδα, όπου εκατοντάδες χιλιάδες τόνοι πορτοκαλιών παράγονται και εξάγονται σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Στην Ελλάδα η καλλιέργεια πραγματοποιείται κυρίως στην Περιφέρεια Πελοποννήσου και ειδικότερα στους νομούς Αργολίδας και Λακωνίας [28].

Η πορτοκαλιά είναι ένα αειθαλές ανθοφόρο δέντρο, με σχετικά μεγάλο ύψος αφού μπορεί να φτάσει τα 9-10 μέτρα. Τα φύλλα του είναι εναλλασσόμενα, το σχήμα τους κυμαίνεται από ελλειπτικό, επιμήκες, έως ωοειδές και είναι πλούσια σε έλαια τα οποία τους χαρίζουν μια έντονη χαρακτηριστική οσμή. Ο καρπός, το πορτοκάλι δηλαδή, είναι σφαιρικός και ωριμάζει σε πορτοκαλί ή σκούρο κίτρινο χρώμα. Ανατομικά, το πορτοκάλι αποτελείται από δύο διακριτές περιοχές, το περικάρπιο, που είναι στην ουσία η φλούδα/ ο φλοιός του, και το ενδοκάρπιο που είναι η σάρκα ή αλλιώς ο πολτός του φρούτου. Το εξωτερικό στρώμα του φλοιού ή αλλιώς η επιδερμίδα του αποτελείται από επιδερμικό κερί, με πολυάριθμους μικρούς αρωματικούς ελαιοφόρους αδένες που του προσδίδουν την ιδιαίτερη οσμή του, ενώ ακριβώς από κάτω βρίσκεται το flavedo, ένα πολύ λεπτό και εύθραυστο στρώμα πλούσιο σε ελαιώδη κυστίδια και φλαβονοειδή. Γενικά το flavedo είναι ένα άχρωμο, σπογγώδες εσωτερικό στρώμα μεσοφύλλου που αλλάζει χαρακτήρα και πάχος κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του καρπού και οι ιδιότητες του καθορίζουν την ευκολία αποφλοιώσης. Κάτω από το flavedo βρίσκεται το albedo ή μεσοκάρπιο, το οποίο αποτελείται από σωληνοειδή κύτταρα που ενώνονται μεταξύ τους και αποτελούν την ιστική μάζα που συμπιέζεται στη μεσοκυττάρια περιοχή. Η σάρκα του φρούτου αποτελείται από μεμβρανώδεις σάκους χυμού που συσσωρεύουν σάκχαρα, οργανικά οξέα και μεγάλη ποσότητα νερού και οι οποίοι χωρίζουν το φρούτο σε τμήματα. Η γεύση του χυμού πηγαίνει από όξινη σε γλυκιά. Επίσης, κάθε τμήμα έχει συνήθως δύο έως τέσσερις σπόρους επιμήκους, ωοειδούς ή ακανόνιστου σχήματος [49], [50] [48].



Εικόνα 5: Δομή του πορτοκαλιού [48].

Η γενετική προέλευση του γλυκού πορτοκαλιού δεν είναι σαφής, αν και πιστεύεται ότι προέρχεται από τον υβριδισμό ορισμένων πρωτόγονων ειδών εσπεριδοειδών. Υπάρχουν πάρα πολλές καλλιεργούμενες ποικιλίες πορτοκαλιών οι καρποί των οποίων παρουσιάζουν μικρές διαφορές στη γεύση, το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, την ύπαρξη ή όχι κουκουτσιών και της ποιότητας του φλοιού [48]. Στην Ελλάδα, οι καλλιεργούμενες ποικιλίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους στις κοινές ποικιλίες, τις ομφαλόφορες, τις αιματόσαρκες και τις γλυκόχυμες και οι πιο σημαντικές είναι η Washington Navel, η Valencia, η Navellina, η New Hall, η Χίου, η Άρτας και η Σανκουίνι [28].

4.2. Χημική σύσταση

Όπως ισχύει και για το λεμόνι, έτσι και για το πορτοκάλι ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης είναι σημαντικός όχι μόνο για το ίδιο το φρούτο αλλά και για το χυμό, τα αιθέρια έλαια και τη φλούδα του, καθώς τα παράγωγά του αυτά έχουν μεγάλη εμπορική σημασία. Το πορτοκάλι είναι πλούσιο σε βιοδραστικές ενώσεις και θρεπτικά συστατικά τα οποία το καθιστούν αναπόσπαστο κομμάτι της μεσογειακής διατροφής.

Έχει βρεθεί πως 100g εδώδιμου τμήματος πορτοκαλιού έχουν ενεργειακή αξία 49 kcal και περιέχουν 12.2 g υδατανθράκων, 85.1 g νερού, 1.2 g πρωτεΐνης, 0.76 g κιτρικού οξέος, 0.12g ολικών λιπαρών και 2.4g διατροφικών ινών [51], [48].

Η σάρκα, ο χυμός και η φλούδα του πορτοκαλιού είναι πλούσια σε φαινολικές ενώσεις οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες αλλά και στη συνολική γεύση του φρούτου. Οι κυριότερες φαινολικές ενώσεις που εντοπίζονται είναι τα φλαβονοειδή -κυρίως φλαβανόνες- ενώ στο χυμό εντοπίζονται και φαινολικά οξέα -κυρίως φερουλικό και σιναπικό οξύ-. Ακόμη, εντοπίζονται στεροειδή – β-σιτοστερόλη και β-σιτοστερόλη-3-O-β-D-γλυκοκυρανοσίδη- αλλά και διάφορες κουμαρίνες, πεπτίδια, υδροξυαμίδια, αλκυλαμίνες, αμινοξέα και πτητικές ενώσεις [50]. Οι βιταμίνες που περιέχονται στον καρπό και το χυμό του πορτοκαλιού είναι το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) , η θειαμίνη (βιταμίνη B₁), η νιασίνη (βιταμίνη B), το παντοθενικό οξύ (βιταμίνη B₅) και η ριβοφλαβίνη (βιταμίνη B₂) [51]. Ακόμη, στους σπόρους του πορτοκαλιού εντοπίζονται λιμονοειδή, με τη λιμονίνη να είναι η πιο άφθονη, ακολουθούμενη από τη νομιλίνη [52].

Μια ομάδα ενώσεων που συναντάται σε αυθονία στο πορτοκάλι είναι τα καρτενοειδή. Πρόκειται για χρωστικές που συσσωρεύονται κυρίως στο φλοιό του πορτοκαλιού και τα καρτένια μαζί με τις ξανθοφύλλες αποτελούν τις κύριες υποομάδες τους. Τα καρτενοειδή αλλάζουν για τις διάφορες ποικιλίες πορτοκαλιού και λεμονιού κατά την ωρίμανση. Στο πράσινο στάδιο του καρπού, η νεοξανθίνη, η καροτίνη, η λουτεΐνη και η trans-βιολαξανθίνη είναι παρούσες στις φλούδες των πορτοκαλιών, ενώ ο πολτός περιέχει μόνο λουτεΐνη και trans-βιολαξανθίνη. Στη συνέχεια, κατά την ωρίμανση, παρατηρείται συσσώρευση περισσότερο στη φλούδα και λιγότερο στον πολτό, και το έντονο πορτοκαλί χρώμα οφείλεται στα ισομερή της βιολαξανθίνης και της κρυπτοξανθίνης [52].

Όσον αφορά τα μακροστοιχεία, 100g εδώδιμου τμήματος πορτοκαλιού περιέχουν 42.5 mg ασβέστιου, 10.1 mg μαγνήσιου, 175 mg καλίου, 21.2 mg φώσφορου, 0.7 mg νάτριου και 0.4 mg σιδήρου [51].

Οι ενώσεις που περιέχονται στα αιθέρια έλαια του πορτοκαλιού ομαδοποιούνται σε κατηγορίες: υδρογονανθρακικά μονοτερπένια, οξυγονωμένα μονοτερπένια, υδρογονανθρακικά σεσκιτερπένια, οξυγονωμένα σεσκιτερπένια και άλλα. Τα κύρια συστατικά που περιέχονται στο αιθέριο έλαιο του πορτοκαλιού είναι η λιμονίνη, το α- και β- πηνένιο, η μυρσίνη, η γ-τερπενίνη, το p-σιμένιο, η λινασόλη και το σαβινένιο [53].

4.3. Βιοδραστικές Ενώσεις

4.3.1. Ασκορβικό οξύ – Βιταμίνη C

Η πολύτιμη αξία της βιταμίνης C έγινε γνωστή αιώνες πριν, όταν παρατηρήθηκε πως ναυτικοί που ζούσαν για μήνες μέσα στα καράβια, τρεφόμενοι αποκλειστικά με κονσέρβες και παστό κρέας, εμφάνιζαν συμπτώματα σκορβούτου, μιας σοβαρής ασθένειας η οποία συχνά οδηγούσε και σε θάνατο. Γιατροί της εποχής έκαναν διάφορες δοκιμές στην προσπάθεια τους να βρουν τα αίτια της ασθένειας και γρήγορα ανακάλυψαν πως η προσθήκη πορτοκαλιών και λεμονιών στη διατροφή των ναυτικών οδηγούσε στην εξάλειψη των συμπτωμάτων. Έτσι έγινε γνωστό πως το σκορβούτο προκαλείται από την έλλειψη

βιταμίνης C στον οργανισμό και πως η κατανάλωση φρούτων πλούσιων σε βιταμίνη C είναι αναγκαία για μια ισορροπημένη και υγιή διατροφή, καθώς ο άνθρωπος δε διαθέτει την ικανότητα να τη συνθέσει ενδογενώς. Μάλιστα, η ονομασία «ασκορβικό οξύ» προέρχεται από την έκφραση «αντισκορβουτική βιταμίνη», δηλαδή η βιταμίνη που θεραπεύει και προλαμβάνει το σκορβούτο.

Η βιταμίνη C είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη που αφθονεί στη φύση και είναι εξαιρετικά ευμετάβλητη. Η ύπαρξή της στον οργανισμό συμβάλει στις σημαντικές λειτουργίες του και επηρεάζει την κατάσταση της υγείας. Οι βιοχημικές λειτουργίες της βιταμίνης C είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν τη διέγερση ορισμένων ενζύμων, τη βιοσύνθεση κολλαγόνου, την αναγέννηση ιστών, την ορμονική ενεργοποίηση, την οξειδωτική δράση, την αποτοξίνωση της ισταμίνης, την ενεργοποίηση φαγοκυτταρικών λειτουργιών των λευκοκυττάρων, το σχηματισμό νιτροζαμίνης και την υδροξυλίωση της προλίνης. Σύμφωνα με έρευνες, η βιταμίνη C έχει ενεργό ρόλο στην πρόληψη θανατηφόρων ασθενειών όπως ο καρκίνος και οι καρδιαγγειακές παθήσεις λόγω της ικανότητας της να αδρανοποιεί τις ελεύθερες ρίζες και να σταματά τις αντιδράσεις οξείδωσης που προκαλούν βλάβες στον οργανισμό. Ταυτόχρονα, έχει την ικανότητα να καταστέλλει το σχηματισμό καρκινογόνων ουσιών όπως οι νιτροζαμίνες και έχει μειωτική επίδραση στην αρτηριακή πίεση, και ιδιαίτερα στη συστολική. Ακόμη, η βιταμίνη αυτή είναι απαραίτητη για τον κατάλληλο μεταβολισμό των φαρμάκων στο σώμα ενώ επιδημιολογικά δεδομένα έχουν αποκαλύψει τον προληπτικό και θεραπευτικό ρόλο της βιταμίνης C σε ορισμένες παθολογικές καταστάσεις του οργανισμού [54].

Η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του πορτοκαλιού. Για παράδειγμα η φλούδα του περιέχει υψηλότερη συγκέντρωση από ότι το εσωτερικό του φρούτου: στη φλούδα περιέχονται περίπου 110.4 mg/100g ασκορβικού οξέος ενώ στα εσωτερικά μέρη (πολτός και σπόροι) περιέχονται περίπου 89.8 mg/ 100g. Επιπλέον, η περιεκτικότητα του χυμού πορτοκαλιού σε βιταμίνη C είναι μικρότερη από εκείνη του πολτού, καθώς σε 100 ml περιέχονται από 29 μέχρι 82.5 mg. Η ποσότητα της βιταμίνης C στο φρούτο εξαρτάται και από την ποικιλία του πορτοκαλιού: η υψηλότερη περιεκτικότητα έχει καταγραφεί στους χυμούς πορτοκαλιών Navel και Pineapple ενώ η χαμηλότερη στο χυμό πορτοκαλιών Valencia Late. Ακόμη, το στάδιο ωρίμανσης του φρούτου επηρεάζει την ποσότητα της βιταμίνης C αλλά δεν είναι ξεκάθαρος ο τρόπος, καθώς υπάρχουν αναφορές τόσο για τη μείωση της ποσότητας κατά την ωρίμανση όσο και για την αύξηση [52].

4.3.2. Φλαβονοειδή

Το πορτοκάλι όπως και τα περισσότερα εσπεριδοειδή είναι πλούσιο σε φλαβονοειδή, τα οποία συμβάλουν στο βιολογικό του ρόλο και το καθιστούν ένα σημαντικό αντιοξειδωτικό φρούτο. Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω τα φλαβονοειδή που συναντώνται στα εσπεριδοειδή είναι οι φλαβανόνες, οι φλαβόνες και οι φλαβανόλες και υπάρχουν στο φρούτο είτε σε αγλυκονική είτε σε O- ή C-γλυκοζιτική μορφή, συνδεδεμένα δηλαδή με μόρια σακχάρου [52].

Οι φλαβανόνες είναι οι πιο άφθονες φλαβονοειδείς ενώσεις στο πορτοκάλι, όπως και στα εσπεριδοειδή γενικότερα. Το πρότυπο γλυκοζιτών φλαβανονών στα γλυκά πορτοκάλια αποτελείται κυρίως από εσπεριδίνη (εσπεριτίνη συνδεδεμένη με σακχαρόζη) και ναριρουτίνη (ναρινγενίνη συνδεδεμένη με δισακχαρίτη ρουτινόζη). Εντοπίζονται τέσσερις O-γλυκοζίτες φλαβανόνης στον καρπό του πορτοκαλιού, μεταξύ των οποίων η ισοσακουρανετίνη-7-O-ρουτινοσίδη (διδυμίνη), η ναρινγενίνη-7-O-ρουτινοσίδη (ναριρουτίνη), η εριοδικτυόλη-7-O-ρουτινοσίδη (εριοκίτίνη) και η εσπερετίνη-7-O-ρουτινοσίδη (εσπεριδίνη). Επιπλέον, αναγνωρίζονται δύο C-γλυκοζίτες φλαβανονών, η απιγενίνη-6,8-di-C-γλυκοσίδη και η χρυσοεριοόλη-6,8-C-γλυκοσίδη [52].

Η πιο διαδεδομένη μορφή κατανάλωσης του πορτοκαλιού είναι ο χυμός του, ο οποίος είναι πλούσιος σε εσπεριδίνη, ναριρουτίνη και διδυμίνη. Ωστόσο, η κατανομή των φλαβανονών στο φρούτο δεν είναι ομοιόμορφη: η ναρινγίνη για παράδειγμα δεν έχει βρεθεί ποτέ στο χυμό του γλυκού πορτοκαλιού και η παρουσία της εξασφαλίζει νοθεία. Επίσης υπάρχουν φλαβονοειδή όπως η εσπεριτίνη-O-δεοξυεξοζίδιο που δεν εντοπίζονται στο χυμό αλλά είναι εμφανώς παρόντα στις φλούδες του πορτοκαλιού. Τέλος, η εσπεριδίνη εντοπίζεται στο χυμό όμως η συγκέντρωσή της στη φλούδα είναι σημαντικά μεγαλύτερη [52].

Φλαβόνες και οι φλαβανόλες εντοπίζονται επίσης στον καρπό αν και σε σημαντικά μικρότερες ποσότητες. Στη φλούδα του γλυκού πορτοκαλιού έχουν αναγνωρισθεί C-γλυκοζυλιωμένες φλαβόνες όπως η 6,8-di-C-γλυκοκυρανοσυλ-απιγενίνη και η 6-C-β-γλυκοσυλ-διοσμίνη καθώς και φλαβονικοί O-γλυκοζίτες όπως η χρυσοεριοόλη-7-O-ρουτινοσίδη, η διοσμετίνη-7-O-ρουτινοσίδη, και η λουτεολίνη-7-O-ρουτινοσίδη. Ακόμη, σε αντίθεση με τη φλούδα του λεμονιού, στη φλούδα του

πορτοκαλιού εντοπίζονται και πολυμεθοξυλιωμένες φλαβόνες (PMFs), δηλαδή φλαβόνες με δύο μεθοξυομάδες στον σκελετό τους και μια καρβονυλική ομάδα στον τέταρτο άνθρακα οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές βιολογικές ιδιότητες. Αναλύσεις HPLC σε εκχυλίσματα φλούδας πορτοκαλιού εντόπισαν την παρουσία τεσσάρων PMFs, της επταμεθοξυφλαβόνης, της τανγκερετίνης, της νομπιλετίνης και της σενσετίνης. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως το επίπεδο των PMFs στη φλούδα του πορτοκαλιού εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση της ποικιλίας, αφού πειραματικά δεδομένα έδειξαν πως η συγκέντρωση νομπιλετίνης και τανγκερετίνης σε πορτοκάλι παραγμένο στην Καλιφόρνια ήταν χαμηλότερη από την αντίστοιχη πορτοκαλιού παραγμένου στην Κίνα. Ακόμη, σε χυμό γλυκού πορτοκαλιού έχουν ανιχνευθεί σημαντικές ποσότητες C-γλυκοζιτών φλαβονών όπως της βικενίνης-2, ενός γλυκοζίτη απιγενίνης με ισχυρές αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές ιδιότητες, ενώ ακόμη έχει εντοπιστεί μία O-γλυκοζυλική φλαβόνη, η χρυσοσεριόλη-9-O- νεοεπεριδοσίδη, η οποία σχηματίζεται με τη σύνδεση νεοεπεριδοζής στο 3'-μεθοξυ παράγωγο της αγλυκόνης λουτεολίνης [52].

Τέλος, οι φλαβονόλες που εντοπίζονται σε ολόκληρο τον καρπό του πορτοκαλιού είναι η ισοραμνετίνη, η κερκετίνη, η ρουτίνη και η καεμφερόλη. Πειραματικές μετρήσεις έδειξαν πως στη φλούδα οι ποσότητες καεμφερόλης, ρουτίνης και κερκετίνης ήταν 0,32, 0,23 και 0,14 mg/g φλούων πορτοκαλιού, αντίστοιχα, και πως για το χυμό τα επίπεδα ρουτίνης κυμαίνονταν μεταξύ 0,05 και 2,39 mg/100 g [52].

Γενικά, κάθε στάδιο ωρίμανσης των επεριδοειδών χαρακτηρίζεται από ένα ξεχωριστό προφίλ φλαβονοειδών. Από τη μέση και μέχρι το τέλος της περιόδου ανάπτυξης, οι φλαβονόνες μετατρέπονται σε φλαβόνες, πιθανά μέσα από ένα μηχανισμό βιορύθμισης που είναι υπεύθυνος για την τόνωση της δραστηριότητας της συνθάσης των φλαβονών, ενώ αναστέλλει εκείνη της συνθάσης των φλαβανολών. Έτσι, όταν επιτυγχάνεται το μέγιστο μέγεθος του καρπού οι φλαβονόνες και οι φλαβόνες υπερσχύουν των φλαβανολών και εμπλέκονται στην άμυνα του φρούτου κατά των αρπακτικών [52].

4.4. Οφέλη στην υγεία

Η πολύτιμη θεραπευτική αξία του πορτοκαλιού έχει αναγνωρισθεί από νωρίς, αφού το ίδιο το φρούτο, ο χυμός και τα εκχυλίσματά του έχουν χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα από την λαϊκή ιατρική. Παραδοσιακά, το πορτοκάλι έχει χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση αναπνευστικών παθήσεων όπως ο βήχας, η φυματίωση και η βρογχίτιδα, εντερικών παθήσεων όπως οι κολικοί, η δυσκοιλιότητα, οι κράμπες και η διάρροια, καρδιαγγειακών παθήσεων όπως η υπέρταση, αλλά ακόμη και ψυχολογικών ζητημάτων όπως το άγχος και η κατάθλιψη. Η σύγχρονη ιατρική αναγνωρίζει την αξία που προσδίδουν στο πορτοκάλι τα θρεπτικά συστατικά του και ταυτόχρονα δίνει βάση στις βιοδραστικές ενώσεις που αυτό περιέχει, οι οποίες του προσδίδουν επιπλέον αντιοξειδωτικές, αντικαρκινικές, αντιμικροβιακές και αντιμυκητιακές ιδιότητες, σύμφωνα με μελέτες. Οι μελέτες αυτές καταδεικνύουν σαφώς πως το πορτοκάλι ενέχει πολύ καλές προοπτικές για την ενσωμάτωση των ενώσεων του ως λειτουργικά συστατικά τόσο σε ανθρώπινα τρόφιμα όσο και σε νέα φάρμακα [50], [52].

4.4.1. Αντιοξειδωτικές ιδιότητες

Η βιταμίνη C, οι φαινολικές ενώσεις και τα φλαβονοειδή τα οποία περιέχονται σε αφθονία στον καρπό πορτοκαλιού, είναι αυτές οι ουσίες που του προσδίδουν την αντιοξειδωτική του δράση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι ουσίες αυτές χάρη στην ικανότητά τους να δρουν ως δότες υδρογόνου, καταφέρνουν να αδρανοποιήσουν τις ελεύθερες ρίζες και να εμποδίσουν την οξείδωση τους η οποία συχνά επιφέρει επιβλαβείς συνέπειες στον οργανισμό και οδηγεί σε εκφυλιστικές ασθένειες [52]. Κλινική έρευνα κατά την οποία χορηγούνταν ημερησίως χυμός πορτοκαλιού σε εικοσιπέντε άνδρες άνω των 50 ετών με υψηλές τιμές χοληστερόλης, ανέφερε υψηλά επίπεδα επεριτίνης στο πλάσμα, μείωση των δραστικών μορφών οξυγόνου, τάση μείωσης της ενδοθηλιακής δυσλειτουργίας και μέτρια αύξηση της συγκέντρωσης της απολιποπρωτεΐνης A1 στο πλάσμα [55].

Η μεγαλύτερη αντιοξειδωτική δράση εντοπίζεται στη φλούδα του πορτοκαλιού και αυτό οφείλεται στην αφθονία της σε φαινολικές ενώσεις, αναγωγικά σάκχαρα, καροτενοειδή και βιταμίνη C. Κατά τη διάρκεια μελέτης, φλούδες πορτοκαλιού εκχυλίστηκαν με μεθανόλη, αιθανόλη, ακετόνη και ζεστό νερό και τα εκχυλίσματα υποβλήθηκαν σε εξέταση δραστικότητας απορρόφησης ριζών 2,2-διφαινολυλοπικρυλ-υδραζιλίου (DPPH), σε δοκιμή αναγωγικής αντιοξειδωτικής δύναμης σιδήρου (FRAP) καθώς και σε δοκιμή ικανότητας απορρόφησης ριζών οξυγόνου (ORAC). Τα εκχυλίσματα παρουσίασαν σημαντική αντιοξειδωτική δράση και στις τρεις δοκιμές, με το αιθανολικό εκχύλισμα να παρουσιάζει την υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή και φαινολικές ενώσεις, υποδεικνύοντας πως οι φλούδες του

πορτοκαλιού προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησης από τη βιομηχανία τροφίμων για την ανάκτηση των πολύτιμων φυσικών αντιοξειδωτικών ουσιών που περιέχουν [56].

Εκτός από τη φλούδα, ο χυμός του πορτοκαλιού παρουσιάζει επίσης αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, ακατέργαστος χυμός πορτοκαλιού ποικιλίας Moro αξιολογήθηκε με βάση την αναγωγική του ικανότητα προς τον σίδηρο αλλά και την ικανότητα του να αδρανοποιεί τις δραστικές ρίζες DPPH[•], ABTS^{•+} και OH[•]. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν σημαντική αντιοξειδωτική δράση η οποία αποδόθηκε στην παρουσία C- γλυκοζυλικών φλαβονών. Ακόμη, εκχυλίσματα σπόρων πορτοκαλιού παρουσίασαν αντιοξειδωτική δράση κατά την εξέταση της αναγωγικής τους δύναμης και δέσμευσης ριζών DPPH[•] [50].

4.4.2. Αντιμικροβιακή δράση

Έρευνες έχουν αποδείξει πως οι βιοδραστικές ουσίες που περιέχονται στα διάφορα μέρη του καρπού πορτοκαλιού παρουσιάζουν αντιμικροβιακή δράση απέναντι σε μια ποικιλία βακτηρίων και μικροοργανισμών. Πιο συγκεκριμένα, οι πολυμεθοξυλιωμένες φλαβόνες τανγκερετίνη και νομπιλετίνη που συναντώνται στη φλούδα του πορτοκαλιού επέδειξαν αντιβακτηριακή δράση έναντι δύο τύπων ψευδομονάδων (*Pseudomonas aeruginosa* και *Pseudomonas fluorescens*) διαρρηγνύοντας την κυτταρική τους μεμβράνη και προκαλώντας εν τέλει το θάνατο τους. Ακόμη, η φλαβανόνη εσπεριτίνη και το φερουλικό οξύ που απομονώθηκαν από τη φλούδα πορτοκαλιού παρουσίασαν αντιβακτηριακή δράση ευρέος φάσματος έναντι του ανθεκτικού στην μεθικιλίνη χρυσίζωντα σταφυλόκοκκου (*Staphylococcus aureus*), του λεπτοφυή Βακίλου (*Bacillus subtilis*) και της ξανθομονάδας *citri*. Τέλος, μελέτες αναφέρουν πως οι φαινολικές ενώσεις και ιδιαίτερα οι φλαβανόνες της φλούδας πορτοκαλιού παρουσίασαν ισχυρή αντιβακτηριακή δράση έναντι σε παθογόνους μικροοργανισμούς (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella senftenberg* και *Yersinia enterocolitica*) που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές λοιμώξεις και να διαταράξουν την υγεία του οργανισμού [52].

Για τη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην κατανάλωση χυμού πορτοκαλιού και στον εντερικό μικροβιόκοσμο του ανθρώπινου οργανισμού, πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου 500 ml χυμού πορτοκαλιού ποικιλίας Cara Cara και Bahia χορηγούνταν σε εικοσιπέντε υγιείς ενήλικες καθημερινά για μία εβδομάδα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η καθημερινή κατανάλωση χυμού πορτοκαλιού προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στο μικροβίωμα του εντέρου, που σχετίζονταν κυρίως με έναν πυρήνα βακτηρίων ο οποίος εμπλέκεται σε διάφορες φυσιολογικές διεργασίες του ξενιστή όπως ο μεταβολισμός της γλυκόζης και των πρωτεϊνών, η ανοσολογική ομοιόσταση και η ενεργειακή ισορροπία του σώματος. Συνολικά, τα ευρήματα του πειράματος έδειξαν ότι η κατανάλωση χυμού πορτοκαλιού θα μπορούσε να διαμορφώσει τις αλληλεπιδράσεις ξενιστή-μικροβίων αποτελώντας μια νέα θεραπευτική προσέγγιση στις διατροφικές μελέτες που στοχεύουν στην καταπολέμηση χρόνιων παθήσεων όπως η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου, η παχυσαρκία, η κολίτιδα και ο διαβήτης τύπου 2 [57].

Τέλος, έρευνες αναφέρουν πως τα αιθέρια έλαια διαφόρων ποικιλιών γλυκού πορτοκαλιού παρουσιάζουν ικανότητα αναστολής έναντι σε συγκεκριμένα βακτήρια και μύκητες που μπορούν να αποτελέσουν απειλή για τον ανθρώπινο οργανισμό όπως είναι ο χρυσίζων σταφυλόκοκκος (*Staphylococcus aureus*), η Σαλμονέλα *enterica*, ο Φυτογαλακτοβάκιλος (*Lactobacillus plantarum*), ο Πρωτέας (*proteus mirabilis*), το Κλαδοσπόριο (*Cladosporium herbarum*), ο Σακχαρομύκητας (*Saccharomyces cerevisiae*) και το Τριχόδεσμα (*Trichoderma viride*) [52].

4.4.3. Αντικαρκινική δράση

Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες που αναφέρουν την αντικαρκινική δράση των βιοδραστικών ουσιών που περιέχονται στο γλυκό πορτοκάλι έναντι πολλών ανθρώπινων και μη ανθρώπινων σειρών καρκινικών κυττάρων. Οι πολυμεθοξυλιωμένες φλαβόνες που εντοπίζονται στη φλούδα του καρπού έχουν λάβει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς μελέτες δείχνουν πως διαθέτουν σημαντικές αντικαρκινικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, η νομπιλετίνη μαζί με άλλες μεθοξυφλαβόνες παρουσίασαν ανασταλτική δράση απέναντι στις ανθρώπινες σειρές κυττάρων καρκίνου του πνεύμονα H1299 και H441, ενώ το έλαιο φλοιού πορτοκαλιού, αποτελούμενο από ένα μείγμα πολυμεθοξυφλαβονών, προκάλεσε την απόπτωση στα καρκινικά κύτταρα του μαστού MCF-7. Μελέτη που έγινε σε ποντίκια των οποίων η διατροφή εμπλουτίστηκε με εκχύλισμα φλούδας πορτοκαλιού έδειξε ισχυρή ικανότητα μείωσης της ανάπτυξης όγκων, ενώ ακόμη αναφέρεται πως το εκχύλισμα φλούδας πορτοκαλιού, πλούσιο σε

πολυμεθοξυλιωμένες φλαβόνες, παρουσίασε ικανότητα επαγόμενης απόπτωσης σε καρκινικά κύτταρα HL-60 που σχετίζονται με την ανθρώπινη λευχαιμία [50].

Ακόμη, μελέτες έχουν αναφέρει την αντικαρκινική δράση που παρουσιάζουν τα φλαβονοειδή που περιέχονται στο χυμό πορτοκαλιού. Εκχυλίσματα χυμού διαφόρων ποικιλιών πορτοκαλιού έχουν βρεθεί να αναστέλλουν τον πολλαπλασιασμό της ανθρώπινης κυτταρικής σειράς προστατικού επιθηλίου PZ-HPV-7, των κυτταρικών σειρών K562 και HL-60 που σχετίζονται με την ανθρώπινη λευχαιμία και της σειράς MCF-7 που σχετίζεται με το ανθρώπινο αδenoκαρκίνωμα του μαστού [50].

5. Ξήρανση

5.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Η ξήρανση είναι ίσως η παλαιότερη και η σημαντικότερη τεχνική συντήρησης στη βιομηχανία τροφίμων. Πρόκειται για μία ανακάλυψη η οποία αναβάθμισε το επίπεδο ζωής τα παλαιότερα χρόνια, καθιστώντας τον άνθρωπο λιγότερο εξαρτημένο από την καθημερινή εύρεση τροφής [58]. Σήμερα, η συντήρηση και η ξήρανση των τροφίμων αποτελεί κεντρικό μέλημα της βιομηχανίας τροφίμων καθώς η παραγωγή φρούτων και λαχανικών είναι τεράστια και μεγάλο ποσοστό της καταλήγει να χαλάει και να απορρίπτεται λόγω ανεπαρκούς αποθηκευτικής ικανότητας [59].

Στόχος της ξήρανσης είναι η απομάκρυνση του νερού μέσω της εξάτμισης, υπό την εφαρμογή θερμότητας, ώστε να παραχθεί ένα τελικό προϊόν με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, χαμηλότερη ενεργότητα νερού και μικρότερο βάρος και όγκο. Έτσι, στο τρόφιμο ελαχιστοποιείται σημαντικά η μικροβιακή αλλοίωση καθώς σε χαμηλές ενεργότητες νερού τα μικρόβια δεν μπορούν να αναπτυχθούν ή να επιβιώσουν και με αυτό τον τρόπο το τρόφιμο προστατεύεται από την πιθανή καταστροφή και την αποσύνθεσή του, καθώς και από διάφορες χημικές μεταβολές που θα οδηγούσαν στην απώλεια της ποιότητάς του και της θρεπτικής του αξίας [15]. Με αυτό τον τρόπο η διάρκεια ζωής των τροφίμων παρατείνεται και τα τρόφιμα μπορούν να αποθηκευτούν για μεγάλο χρονικό διάστημα με διασφαλισμένη την ασφάλεια και την ποιότητά τους. Ακόμη, το μειωμένο μέγεθος και βάρος των τροφίμων μετά την ξήρανση καθιστά την αποθήκευσή τους πιο βολική, τη συσκευασία τους πιο οικονομική και τη μεταφορά τους πιο εύκολη.

5.2. Καταστάσεις του περιεχόμενου νερού

Τα τρόφιμα, και ιδιαίτερα τα φρούτα και τα λαχανικά, χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά περιεχόμενου νερού. Το περιεχόμενο νερό στα τρόφιμα μπορεί να βρίσκεται είτε σε δεσμευμένη είτε σε ελεύθερη μορφή, ανάλογα με το πόσο κοντά βρίσκεται στα μη υδατικά συστατικά του τροφίμου. Δεσμευμένο είναι το νερό το οποίο βρίσκεται κοντά στα μη υδατικά συστατικά του τροφίμου και παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες από το νερό στο σύνολό του: Έχει μειωμένη κινητικότητα καθώς συγκρατείται, με διαφορετικούς βαθμούς συγκράτησης, και ως εκ τούτου δεν καταψύχεται εύκολα και δεν είναι διαθέσιμο ως διαλύτης ή ως χημικό αντιδραστήριο. Ο βαθμός συγκράτησης του δεσμευμένου νερού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τη φύση των μη υδατικών συστατικών, το pH και τη θερμοκρασία, και ανάλογα με αυτούς το δεσμευμένο νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως ισχυρά δεσμευμένο, γειτνιάζον και πολυστρωματικό. Το ισχυρά δεσμευμένο νερό χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό συγκράτησης και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των μη υδατικών συστατικών ενώ το γειτνιάζον αποτελεί το πρώτο στρώμα επαφής με τα μη υδατικά συστατικά και συνδέεται κυρίως με τις ιοντικές ομάδες τους. Το πολυστρωματικό νερό καταλαμβάνει τα αμέσως επόμενα στρώματα και συνδέεται με τα μη υδατικά συστατικά με δεσμούς υδρογόνου οι οποίοι το καθιστούν μη ισχυρά δεσμευμένο. Το πολυστρωματικό νερό δεν καταψύχεται ακόμη και στους -40°C και εμφανίζει μικρή διαλυτική ικανότητα. Το ποσοστό του δεσμευμένου νερού διαφέρει ανάλογα το τρόφιμο ενώ σε τρόφιμα υψηλής υγρασίας το ποσοστό είναι μικρό. Γενικά, το ισχυρά δεσμευμένο και το γειτνιάζον αποτελούν περίπου το 0.5% του νερού του τροφίμου ενώ το πολυστρωματικό αποτελεί περίπου το 1-5%.

Από την άλλη, το ελεύθερο νερό παρουσιάζει τις γνωστές ιδιότητες του καθαρού νερού. Βρίσκεται στις πιο απομακρυσμένες θέσεις από τα μη υδατικά συστατικά και δρα ως διαλύτης ενώ επίσης καταψύχεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 0°C , η οποία εξαρτάται από τη συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών του τροφίμου.

Κατά την απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο μέσω της ξήρανσης, το νερό που εγκαταλείπει το τρόφιμο πιο εύκολα είναι το ελεύθερο νερό το οποίο εξατμίζεται στη θερμοκρασία εξάτμισης του καθαρού νερού. Το πολυστρωματικό νερό για να εξατμιστεί απαιτεί θερμότητα λίγο μεγαλύτερη από αυτή που απαιτεί το καθαρό νερό, ενώ το γειτνιάζον απομακρύνεται ακόμη δυσκολότερα απαιτώντας θερμότητα πολύ μεγαλύτερη. Το ισχυρά δεσμευμένο νερό πρακτικά δεν απομακρύνεται καθώς απαιτεί πάρα πολύ υψηλή θερμότητα, η οποία αν εφαρμοστεί θα προκαλέσει μεταβολές στη δομή και την υφή του τροφίμου.

Η διαθεσιμότητα για την ανάπτυξη και τη δράση μικροοργανισμών εξαρτάται επίσης από το βαθμό συγκράτησης του νερού από τα μη υδατικά συστατικά του τροφίμου. Το ισχυρά δεσμευμένο και το γειτνιάζον νερό δεν είναι διαθέσιμα για την

ανάπτυξη μικροβίων και βακτηρίων, ενώ το πολυστρωματικό παρουσιάζει μικρή διαθεσιμότητα. Το ελεύθερο νερό παρουσιάζει πλήρη διαθεσιμότητα για μικροβιακές δράσεις και σε συνδυασμό με το ότι απομακρύνεται εύκολα από το τρόφιμο, αποτελεί το πιο κρίσιμο είδος νερού για την αποτελεσματικότητα των διεργασιών ξήρανσης ή αφυδάτωσης. Η ενεργότητα νερού του τρόφιμου συνδέεται άμεσα με την ποσότητα του ελεύθερου νερού στο τρόφιμο και ως εκ τούτου η απομάκρυνση του ελεύθερου νερού προκαλεί μείωση της ενεργότητας και μείωση της διαθεσιμότητας για μικροβιολογική ανάπτυξη και δράση. Έτσι, η αποτελεσματικότητα των διεργασιών ως προς τη μικροβιολογική σταθερότητα του τρόφιμου σχετίζεται όχι μόνο με το ολικό ποσό νερού που απομακρύνεται αλλά και με το ποσοστό του ελεύθερου νερού που εγκαταλείπει το τρόφιμο [60].

5.3. Μέθοδοι ξήρανσης

Η μέθοδος ξήρανσης που θα επιλεγθεί και το τελικό σημείο της διεργασίας εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των φρέσκων προϊόντων, το επιθυμητό τελικό επίπεδο υγρασίας, το κόστος και την ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται. Η τελική περιεχόμενη υγρασία στην οποία στοχεύει μία διεργασία ξήρανσης καθορίζεται για κάθε τρόφιμο ξεχωριστά και σχετίζεται με τα ζητούμενα χαρακτηριστικά της ποιότητας του, την τελική χρήση του και την προβλεπόμενη διάρκεια αποθήκευσης του. Κυρίαρχο μέλημα είναι η διαφύλαξη της ασφάλειας του τροφίμου και έπειτα η αποδοχή του από τον καταναλωτή [58].

Καθώς η διεργασία της ξήρανσης είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη βιομηχανία τροφίμων, τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία της, συμπεριλαμβανομένων των προεπεξεργασιών, των νέων τεχνικών, του εξοπλισμού και της ποιότητας των τελικών προϊόντων [61].

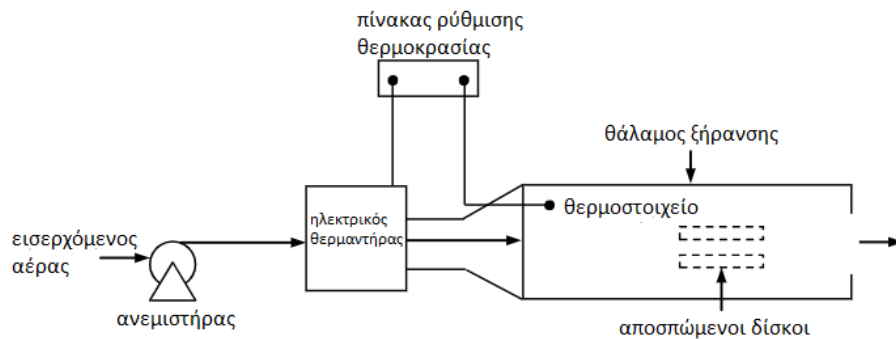
Η αρχαιότερη μέθοδος ξήρανσης είναι η έκθεση των τροφίμων στον ήλιο. Σήμερα, η μέθοδος αυτή έχει αναβαθμιστεί με τη συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας και τη μετέπειτα χρήση της για την ξήρανση των τροφίμων, και αποτελεί την πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο. Γενικά εφαρμόζονται πολλές διαφορετικές μέθοδοι ξήρανσης και χρησιμοποιούνται εκατοντάδες διαφορετικοί τύποι ξηραντήρων συνεχούς ή ασυνεχούς λειτουργίας, με άμεση ή έμμεση μεταφορά θερμότητας, με λειτουργία υπό ατμοσφαιρικό αέρα ή υπό κενό [61]. Κάποιες από τις συνήθεις μεθόδους ξήρανσης είναι η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, η ξήρανση υπό κενό, η ξήρανση με υπερήχους, η ξήρανση υποβοηθούμενη από μικροκύματα, η ξήρανση υπό κατάψυξη, η ωσμωτική αφυδάτωση, η ξήρανση με ψεκάσμο και η ξήρανση χαμηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού [62]. Η κάθε μέθοδος διαθέτει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και για αυτό το λόγο συχνά προτιμάται ο συνδυασμός μεθόδων ξήρανσης. Συγκεκριμένα, είναι πολύ συνήθης ο συνδυασμός διαφόρων μεθόδων ξήρανσης με την εφαρμογή μικροκυμάτων καθώς οδηγεί σε μεγαλύτερα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και αυξημένη απομάκρυνση νερού. Παρακάτω θα αναλυθούν τρεις από τις δημοφιλέστερες μεθόδους ξήρανσης στη βιομηχανία τροφίμων.

5.3.1. Ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα

Πρόκειται για την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο ξήρανσης στη βιομηχανία τροφίμων. Η μεταφορά θερμότητας που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού του τρόφιμου και την απομάκρυνση των υδρατμών από την επιφάνεια του, παρέχεται μέσω συναγωγής στο τρόφιμο από μια συνεχή ροή θερμού αέρα [61]. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται σε φούρνους όπου ο αέρας ρέει πάνω ή μέσα από το τρόφιμο το οποίο είναι τοποθετημένο σε κατάλληλα στηρίγματα. Οι τυπικές τιμές της θερμοκρασίας του αέρα ξήρανσης κυμαίνονται μεταξύ 40°C και 80°C, ενώ η ταχύτητα του αέρα κυμαίνεται συνήθως από 0,5 έως 5 m/s, και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει και στα 10 m/s. Ο χρόνος ξήρανσης εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους ενώ συνήθως δεν ξεπερνά τις 20 ώρες [63].

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την έκβαση της διεργασίας αυτής σχετίζονται τόσο με τον αέρα ξήρανσης (θερμοκρασία, ταχύτητα και υγρασία) όσο και με τις διαστάσεις του δείγματος. Μελέτες που εξέτασαν την κινητική ξήρανσης διάφορων λαχανικών αναφέρουν πως οι σημαντικότερες παράμετροι κατά τη διεργασία είναι η θερμοκρασία του αέρα και οι διαστάσεις του δείγματος, ενώ επίσης αναφέρουν πως τα προϊόντα μετά την ξήρανση χαρακτηρίζονται από χαμηλό πορώδες -το οποίο αποτρέπει την οξείδωση τους-, υψηλή φαινόμενη πυκνότητα [64], μικρές μεταβολές στο χρώμα [65] και χαμηλή ικανότητα απορρόφησης [66].

Γενικά ο αέρας, λόγω υψηλής διαθεσιμότητας και μεγάλης ικανότητας κορεσμού, είναι το πιο δημοφιλές μέσο ξήρανσης στη βιομηχανία [61]. Η ξήρανση με ρεύμα αέρα είναι μια απλή διεργασία και ταυτόχρονα ενέχει το πλεονέκτημα πως οι παράμετροι που την επηρεάζουν μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν. Ωστόσο, η διεργασία αυτή απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας και μεγάλους χρόνους για τη διεξαγωγή της, ενώ η έκθεση των τροφίμων σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της ποιότητάς τους και συρρίκνωση της φυσικής τους δομής.

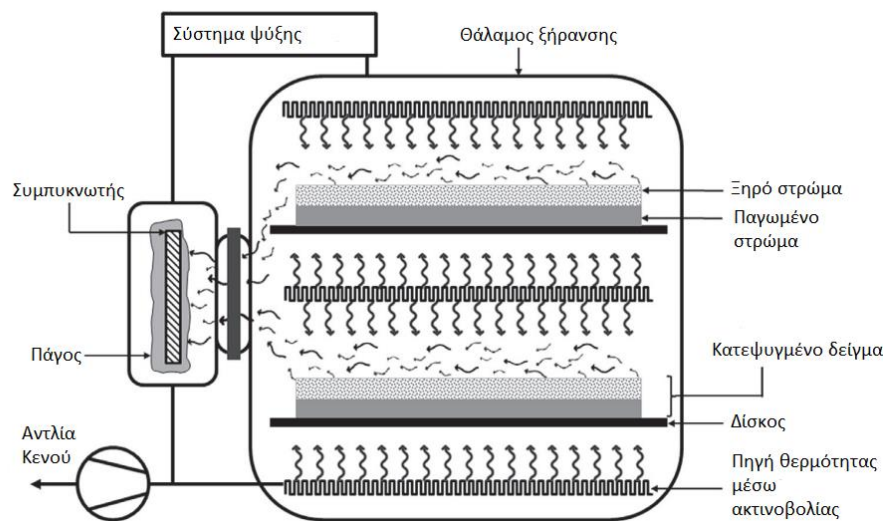


Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της ξήρανσης με ρεύμα θερμού αέρα [67].

5.3.2. Ξήρανση υπό κατάψυξη

Η ξήρανση υπό κατάψυξη, γνωστή και ως λυοφιλίωση, πραγματοποιείται σε συνθήκες κενού και περιλαμβάνει την κατάψυξη του τρόφιμου και έπειτα την έκθεση του σε συνθήκες χαμηλής πίεσης και κατάλληλης θερμοκρασίας ώστε το περιεχόμενο νερό του που βρίσκεται σε μορφή πάγου να εξαχνωθεί σε ατμό, χωρίς να μεσολαβήσει το στάδιο της υγρής φάσης. Η διεργασία αυτή χρησιμοποιείται συχνά για την ξήρανση τροφίμων που περιέχουν θερμοευαίσθητα συστατικά καθώς διαφυλάσσει τη δομή τους και οδηγεί σε αποξηραμένα προϊόντα υψηλής ποιότητας [58]. Τα προϊόντα αυτά διατηρούν την πρωτογενή τους γεύση, το χρώμα, τη δομή και τα θρεπτικά συστατικά τους και χαρακτηρίζονται από υψηλό πορώδες το οποίο επιτρέπει την εύκολη επανυδάτωση τους. Βέβαια, το υψηλό τους πορώδες τα καθιστά ευάλωτα στην οξείδωση και για αυτό το λόγο απαιτούνται ειδικές συνθήκες αποθήκευσης ώστε να αποφεύγεται η έκθεση στον αέρα [68].

Η διεργασία αυτή θεωρείται εξαιρετικά αποτελεσματική καθώς απομακρύνει σε μεγάλο βαθμό το νερό από το τρόφιμο χωρίς να επιφέρει κανενός είδους αλλοίωση και διατηρώντας τα αρχικά χαρακτηριστικά του. Ωστόσο, πρόκειται για μια πολύ ακριβή μέθοδο της οποίας το κόστος δεν επιτρέπει την ευρεία βιομηχανική χρήση της. Για αυτό το λόγο, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά σε τρόφιμα με υψηλή αξία και λεπτό άρωμα, καθώς και για τη συντήρηση μικροβιακών καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων [61].



Εικόνα 7: Βασική δομή ενός τυπικού ξηραντήρα κατάψυξης [69].

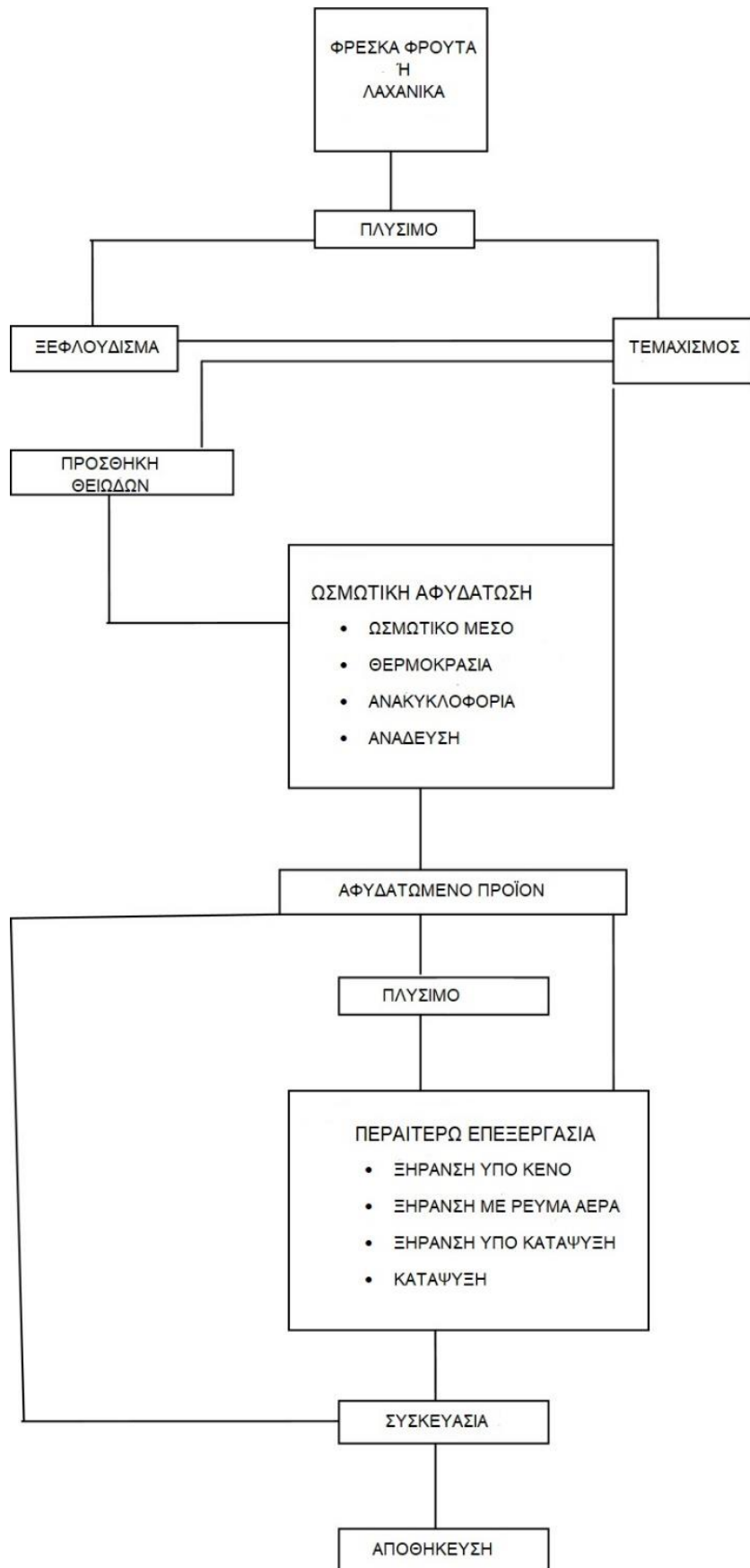
5.3.3. Ωσμωτική αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια μέθοδος που αποσκοπεί στη μερική απομάκρυνση νερού από το τρόφιμο και χρησιμοποιείται κυρίως στα φρούτα και τα λαχανικά καθώς αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού στους ιστούς τους. Κατά τη διαδικασία αυτή το τρόφιμο εμβαπτίζεται σε ένα υπερτονικό διάλυμα σακχάρων ή αλατιού (ή και των δύο) το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή ωσμωτική πίεση και, χάρη στη διαφορά της ωσμωτικής πίεσης μεταξύ του τροφίμου και του διαλύματος, μέρος του νερού του τροφίμου διαχέεται στο διάλυμα. Εκτός από τη μεταφορά νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα, πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και τα εξής δύο φαινόμενα μεταφοράς:

- Μεταφορά διαλυμένης ουσίας από το ωσμωτικό διάλυμα στο τρόφιμο: Το φαινόμενο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της ποιότητας του προϊόντος καθώς μπορούν έτσι να εισαχθούν σε αυτό επιλεγμένες δραστικές ουσίες και συντηρητικοί παράγοντες.
- Μεταφορά διαλυμένων συστατικών (σάκχαρα, οργανικά οξέα, μέταλλα, βιταμίνες κλπ) από το τρόφιμο στο διάλυμα: Το φαινόμενο αυτό είναι ποσοτικά αμελητέο σε σύγκριση με τα άλλα δύο, είναι όμως σημαντικό για τη σύνθεση του τελικού προϊόντος καθώς ενδέχεται να υποβαθμίσει τη θρεπτική αξία του [70].

Μετά την ωσμωτική αφυδάτωση η υγρασία των τροφίμων μειώνεται, παραμένει όμως σχετικά υψηλή (20-50%). Σκοπός της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι η παραγωγή προϊόντων ενδιάμεσης υγρασίας και χαμηλής ενεργότητας νερού, συνθήκες που εξασφαλίζουν στο τρόφιμο μικροβιακή σταθερότητα [70]. Για το λόγο αυτό, συχνά αποτελεί μέθοδο προκατεργασίας και ακολουθείται από άλλες διεργασίες όπως είναι η κατάψυξη, η ξήρανση υπό κατάψυξη ή η ξήρανση με ρεύμα αέρα, για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος βέλτιστης ποιότητας [71]. Λειτουργώντας ως προκατεργασία, η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει τον επικείμενο χρόνο ξήρανσης και συνεπώς το κόστος της διεργασίας και το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που απαιτεί λόγω των ήπιων θερμοκρασιών στις οποίες πραγματοποιείται, την καθιστά εξαιρετικά συμφέρουσα βιομηχανικά [68]. Επιπλέον, οι χαμηλές θερμοκρασίες στις οποίες πραγματοποιείται η μέθοδος αυτή έχουν ως αποτέλεσμα τη διαφύλαξη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου όπως είναι για παράδειγμα το χρώμα, η υφή, το άρωμα και η γεύση αλλά και την αποφυγή της ενζυμικής αμαύρωσης [72].

Τα ισχυρά πλεονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης έναντι των υπόλοιπων μεθόδων συντήρησης τροφίμων έχουν προσελκύσει το επιστημονικό ενδιαφέρον για τη βελτιστοποίησή της και την περαιτέρω χρήση της στη βιομηχανία. Για την αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης και άρα την επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας δοκιμάζονται συνεχώς νέες τεχνικές όπως είναι η χρήση υπερήχων πριν ή κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η εφαρμογή παλμικού ηλεκτρικού πεδίου υψηλής ισχύος, η εφαρμογή υψηλής υδροστατικής πίεσης, και η χρήση της φυγόκεντρου δύναμης [71]. Ταυτόχρονα, μελετώνται νέοι ωσμωτικοί παράγοντες και εναλλακτικά διαλύματα, τα οποία θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια.



Εικόνα 8: Διάγραμμα ροής της οσμωτικής αφυδάτωσης [59].

6. Ωσμωτική αφυδάτωση

6.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Η τεχνολογία της ωσμωτικής αφυδάτωσης βασίζεται στο φαινόμενο της ώσμωσης κατά το οποίο, ανάμεσα σε δύο διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων που χωρίζονται από μια ημιδιαπερατή μεμβράνη, μόρια διαλύτη διαχέονται αυθόρμητα μέσω της μεμβράνης από το αραιότερο στο πυκνότερο διάλυμα. Το φαινόμενο αυτό πραγματοποιείται μέχρι να επέλθει ισορροπία στο σύστημα, δηλαδή μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων. Ως ωσμωτική πίεση ορίζεται η ελάχιστη εξωτερική πίεση που πρέπει να ασκηθεί σε ένα διάλυμα που διαχωρίζεται με ημιδιαπερατή μεμβράνη από τον καθαρό διαλύτη, προκειμένου να εμποδιστεί το φαινόμενο της ώσμωσης. Έτσι, διαλύματα με υψηλή συγκέντρωση διαθέτουν υψηλή ωσμωτική πίεση ενώ διαλύματα με χαμηλή συγκέντρωση διαθέτουν χαμηλότερη ωσμωτική πίεση.

Στην περίπτωση εμφύσησης ενός τρόφιμου σε υδατικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης, λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ώσμωσης: το τρόφιμο λόγω του υψηλού περιεχόμενου νερού συμπεριφέρεται σαν υδατικό διάλυμα χαμηλής συγκέντρωσης, ενώ το κυτταρικό τοίχωμα του εξωτερικού ιστού του τρόφιμου παίρνει το ρόλο της ημιδιαπερατής μεμβράνης. Έτσι διαλύτης, δηλαδή νερό, μεταφέρεται από το τρόφιμο στο διάλυμα αυθόρμητα μέσω του φυσικού αυτού φαινομένου.

Η ωσμωτική αφυδάτωση, επειδή βασίζεται σε μια φυσική διαδικασία και δεν περιλαμβάνει κάποια αλλαγή φάσης, έχει χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις και είναι ταχύτερη από την ξήρανση με αέρα ή την ξήρανση με κατάψυξη [73]. Στην εξοικονόμηση ενέργειας και το χαμηλό κόστος έρχεται να προστεθεί μια πληθώρα πλεονεκτημάτων που σχετίζονται με τη φύση της διαδικασίας αυτής. Πρώτον, οι ήπιες θερμοκρασίες στις οποίες εκτίθεται το τρόφιμο δεν επιφέρουν αλλοίωση στη χρώμα, τη γεύση και την υφή του, όπως συμβαίνει με άλλες διεργασίες. Μάλιστα, τα σάκχαρα που συνήθως περιέχονται στα ωσμωτικά διαλύματα διατηρούν, και σε πολλές περιπτώσεις βελτιώνουν τη γεύση του προϊόντος, ενώ παράλληλα αναστέλλουν το ενζυμικό και οξειδωτικό μαύρισμα δρώντας «προστατευτικά» ως περίβλημα στην επιφάνεια του τρόφιμου. Ακόμη, το φαινόμενο πρόσληψης διαλυμένης ουσίας από το τρόφιμο έχει τη δυνατότητα να αναβαθμίσει την ποιότητά του στην περίπτωση που το ωσμωτικό διάλυμα εμπλουτιστεί επιλεκτικά με βιοδραστικές ουσίες και συντηρητικούς παράγοντες. Τέλος, τα μειωμένα επίπεδα νερού που επικρατούν στο τρόφιμο μετά την ωσμωτική αφυδάτωση εξασφαλίζουν τη μικροβιολογική σταθερότητά του και την καλύτερη συντήρησή του για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η μείωση στο βάρος και το μέγεθος των προϊόντων καθιστά τη συσκευασία τους πιο οικονομική και συντελεί στην πιο εύκολη αποθήκευση και μεταφορά τους [59], [71].

Η μεγαλύτερη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί ώστε η ωσμωτική αφυδάτωση να ενταχθεί πλήρως στη βιομηχανική διαδικασία είναι η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος μετά το πέρας της διεργασίας. Η διαδικασία συνεχούς παρασκευής ωσμωτικών διαλυμάτων με προορισμό τη χρήση τους για ένα μόνο κύκλο διεργασίας και έπειτα την απόρριψή τους είναι χρονοβόρα και κυρίως οικονομικά μη συμφέρουσα. Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης το ωσμωτικό διάλυμα αραιώνεται σημαντικά και επιπλέον υφίσταται μεταβολές στις φυσικοχημικές του ιδιότητες όπως το pH, το ιξώδες και την ενεργότητα νερού του. Ταυτόχρονα, μεταβάλλονται οι οργανοληπτικές του ιδιότητες όπως η γεύση και το χρώμα του ενώ η αύξηση του οργανικού περιεχομένου του, λόγω της πρόσληψης ουσιών από το τρόφιμο, μπορεί να παρέχει υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροβίων. Οι παράμετροι αυτοί περιορίζουν τη δυνατότητα χρήσης του ωσμωτικού διαλύματος για περαιτέρω κύκλους διεργασίας, και για το λόγο αυτό διερευνάται η επεξεργασία που απαιτείται ώστε ένα ωσμωτικό διάλυμα να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Για τον καθαρισμό και την αποκατάσταση του χρησιμοποιημένου ωσμωτικού διαλύματος έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι: αντίστροφη ώσμωση και εξάτμιση για την επαναφορά της επιθυμητής συγκέντρωσης, παστερίωση για την εξάλειψη του μικροβιακού φορτίου, χονδροειδής διήθηση για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων του τρόφιμου που έχουν μεταφερθεί στο διάλυμα και αποχρωματισμός με χρήση άνθρακα για την επαναφορά του χρώματος. Πρόκληση αποτελεί και η διάθεση των αποβλήτων, όταν τα ωσμωτικά διαλύματα δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν περαιτέρω και σε αυτό το πλαίσιο έχει προταθεί η ένταξη τους στην παρασκευή μαρμελάδων, χυμών και σιροπιών για κονσερβοποίηση φρούτων [71].

6.2. Φαινόμενα μεταφοράς μάζας

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, όταν ένα τρόφιμο εμβαπτίζεται σε ένα υπερτονικό διάλυμα, νερό ξεκινά να μεταφέρεται από το τρόφιμο στο διάλυμα μέσω μιας ημιδιαπερατής μεμβράνης, η οποία αποτελείται στην ουσία από το κυτταρικό τοίχωμα του τροφίμου. Όταν η κυτταρική μεμβράνη είναι απόλυτα ημιδιαπερατή, οι διαλυμένες ουσίες δεν μπορούν να μεταφερθούν μέσω αυτής από το διάλυμα στα κύτταρα. Ωστόσο, οι ημιδιαπερατές μεμβράνες στα κύτταρα των τροφίμων δεν είναι τέλειες λόγω της πολύπλοκης εσωτερικής δομής τους, επιτρέποντας στις διαλυμένες ουσίες του διαλύματος να διαχέονται στο κύτταρο. Έτσι, φαινόμενα μεταφοράς μάζας πραγματοποιούνται από και προς το διάλυμα, με δύο ροές αντίθετης κατεύθυνσης να λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα: μία ροή από το τρόφιμο προς το διάλυμα η οποία είναι η πιο σημαντική και αποτελείται από νερό αναμεμιγμένο με μικρή ποσότητα διαλυμένων ουσιών (οργανικών οξέων, σακχάρων κλπ) και μία ροή από το διάλυμα προς το τρόφιμο η οποία αποτελείται από τα διαλυμένα στερεά του ωσμωτικού διαλύματος [74].

Η απομάκρυνση του νερού λαμβάνει χώρα μέσω τριχοειδούς ροής και διάχυσης, ενώ η πρόσληψη διαλυτών ουσιών από το προϊόν και η έκπλυση των διαλυτών στερεών του προϊόντος στο διάλυμα συμβαίνει μόνο μέσω διάχυσης. Γενικά, η διάχυση του υγρού λαμβάνει χώρα στα μη πορώδη στερεά, ενώ η τριχοειδής ροή λαμβάνει χώρα στα πορώδη στερεά. Στα τρόφιμα με πορώδη δομή, κοιλότητες αερίων, τριχοειδή και κυτταρικά τοιχώματα καθώς και ενδοκυτταρικοί και εξωκυτταρικοί χώροι παρέχουν τις απαραίτητες οδούς για τη μεταφορά μάζας [71].

Την κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά μάζας αποτελεί η βαθμίδα χημικού δυναμικού που δημιουργείται ανάμεσα στο διάλυμα και το ενδοκυττάριο υγρό του τροφίμου. Η σχέση μεταξύ του χημικού δυναμικού και της ενεργότητας νερού είναι η ακόλουθη:

$$\mu_i = \mu_i^0 RT \ln a_w$$

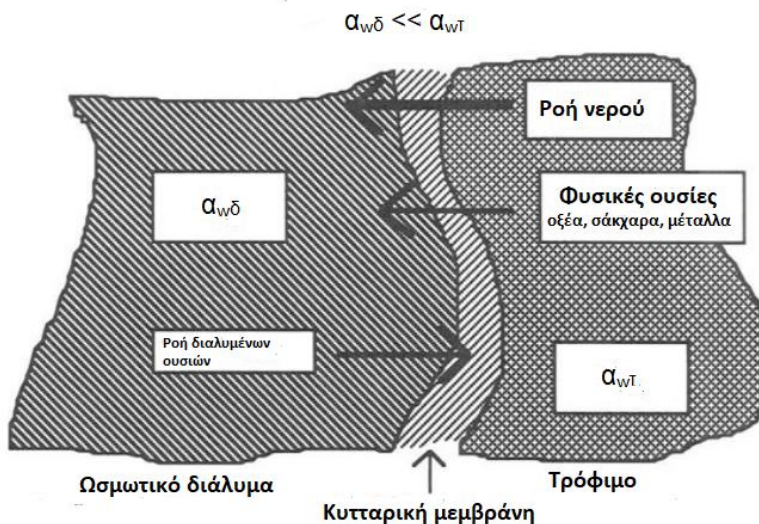
Όπου,

μ_i^0 : το χημικό δυναμικό στην πρότυπη κατάσταση ($\frac{J}{mol}$)

R: η παγκόσμια σταθερά αερίων = $8.314 \left(\frac{J}{mol \cdot K}\right)$

T: η θερμοκρασία (K)

Καθώς το ωσμωτικό διάλυμα διαθέτει υψηλή ωσμωτική πίεση και χαμηλή ενεργότητα νερού, η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιείται μέχρι να επέλθει ισορροπία στην ενεργότητα νερού ανάμεσα στις δύο πλευρές της ημιδιαπερατής μεμβράνης [73].



Εικόνα 9: Μεταφορά μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης [73].

Ο ρυθμός της απώλειας υγρασίας από το τρόφιμο είναι ταχύτερος στην αρχή, από τη στιγμή δηλαδή που το τρόφιμο θα εμποτιστεί στο διάλυμα και για τις πρώτες δύο ώρες περίπου. Στο αρχικό αυτό στάδιο η διάχυση της διαλυμένης ουσίας στο τρόφιμο δεν είναι σημαντική και το κύριο φαινόμενο που συμβαίνει είναι η μεταφορά νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα. Μετά το πέρας του αρχικού σταδίου, ο ρυθμός απώλειας υγρασίας μειώνεται αργά μέχρι να μηδενιστεί ενώ ταυτόχρονα ο ρυθμός διάχυσης της διαλυμένης ουσίας αυξάνεται. Συνήθως η διαδικασία μεταφοράς νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα διαρκεί πέντε με έξι ώρες, αυτό όμως εξαρτάται και από το τρόφιμο και πρέπει να ελεγχθεί πειραματικά για κάθε ξεχωριστή περίπτωση [71].

Κατά την εμβάπτιση του τροφίμου στο ωσμωτικό διάλυμα, τα κύτταρα της πρώτης στρώσης του υλικού έρχονται σε επαφή με το διάλυμα και αρχίζουν να χάνουν νερό λόγω της διαφοράς στη συγκέντρωση, γεγονός που αυξάνει την ωσμωτική πίεση στην επιφάνεια. Καθώς η ωσμωτική πίεση φτάνει σε μια κρίσιμη τιμή οι κυτταρικές μεμβράνες αρχίζουν να διαρρηγνύονται και να συρρικνώνονται. Λόγω της απώλειας νερού δημιουργείται διαφορά χημικού δυναμικού ανάμεσα στα κύτταρα της πρώτης στιβάδας και στα κύτταρα της δεύτερης, η οποία αναγκάζει το νερό των κυττάρων της δεύτερης στιβάδας να μεταφέρεται στα κύτταρα της πρώτης, με αποτέλεσμα τη συρρίκνωση των κυττάρων της δεύτερης. Σταδιακά, η διαδικασία απομάκρυνσης νερού και συρρίκνωσης των ιστών, η οποία συμβαίνει ταυτόχρονα, μεταφέρεται από την επιφάνεια προς το κέντρο του τροφίμου μέχρι τελικά να χάσουν νερό και τα κεντρικά κύτταρα και το σύστημα να εξισορροπηθεί. Κατά τη μεταφορά του μετώπου αφυδάτωσης προς το κέντρο του υλικού οι κυτταρικές μεμβράνες αποσυντίθενται [71].

Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης η μεταφορά νερού λαμβάνει χώρα σε τρία διαφορετικά επίπεδα: διάχυση του νερού από τον πυρήνα του υλικού προς το μέτωπο αφυδάτωσης, διάχυση του νερού κατά μήκος του μετώπου και διάχυση του νερού από το ωσμωτικά επεξεργασμένο βιολογικό υλικό στο περιβάλλον μέσο, δηλαδή στο διάλυμα. Η συρρίκνωση των μεμβρανών των πρώτων κυτταρικών στρωμάτων οδηγεί σε απότομη μείωση του ποσοστού των άθικτων κυττάρων η οποία αντανακλάται στην αύξηση του δείκτη κυτταρικής αποσύνθεσης (Z_p). Η κατάσταση αυτή οδηγεί σε απότομη αύξηση του ρυθμού μεταφοράς μάζας και μια σημαντική ποσότητα νερού διαχέεται προς τα έξω με συντελεστή διάχυσης D_2 . Ο συντελεστής διάχυσης του νερού που απελευθερώνεται μέσω των διαλυμένων και συρρικνωμένων κυττάρων στο ωσμωτικό μέσο, D_3 , είναι μικρότερος από τον D_2 . Ο συντελεστής διάχυσης νερού D_1 από τον πυρήνα του υλικού είναι πολύ χαμηλότερος από τους D_2 και D_3 καθώς τα κύτταρα του πυρήνα παραμένουν άθικτα [71].

Δύο μεγέθη που αντιπροσωπεύουν επαρκώς την ωσμωτική αφυδάτωση και μπορούν να την περιγράψουν ποσοτικά είναι το WL (Water Loss, δηλαδή απώλεια νερού) και το SG (Solid Gain, δηλαδή πρόσληψη στερεών). Ο υπολογισμός τους γίνεται με τον εξής τρόπο:

$$WL_{dry} = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \quad (6.1)$$

WL_{dry} : Water Loss (gr νερού/gr αρχικής ξηρής βάσης)

$$WL_{wet} = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{M_o} \quad (6.2)$$

WL_{wet} : Water Loss (gr of νερού/gr αρχικής υγρής βάσης)

$$SG_{dry} = \frac{m - m_o}{m_o} \quad (6.3)$$

SG_{dry} : Solid Gain (gr ολικών στερεών/gr αρχικής ξηρής βάσης)

$$SG_{wet} = \frac{m - m_o}{M_o} \quad (6.4)$$

SG_{wet} : Solid Gain (gr ολικών στερεών/gr αρχικής υγρής βάσης)

Όπου

M_o : η αρχική μάζα του φρέσκου τροφίμου πριν από την ωσμωτική επεξεργασία (gr)

m_0 : η αρχική ξηρή μάζα του φρέσκου τρόφιμου (gr)

M : η μάζα του τρόφιμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας (gr)

m : η ξηρή μάζα του τρόφιμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας (gr)

Και τα δύο μεγέθη μπορούν να εκφραστούν τόσο σε ξηρή βάση όσο και σε υγρή βάση, ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε πειράματος [75], [70]. Είναι ενδεικτικά για το κάθε πείραμα καθώς μπορούν να εκφράσουν ανά πάσα στιγμή την ποσότητα νερού που έχει φύγει από το τρόφιμο και την ποσότητα διαλυμένης ουσίας που έχει εισχωρήσει σε αυτό.

6.2.1.1. Μαθηματικά Μοντέλα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα δύο βασικές αντίθετες ροές, η ύπαρξη των οποίων καθιστά τη μοντελοποίηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης περίπλοκη. Μάλιστα, καθώς εμπλέκονται και άλλοι παράγοντες (συγκέντρωση και θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος, χρόνος εμβάπτισης, μέγεθος και σχήμα δείγματος κ.α.) καθίσταται ακόμη πιο δύσκολο να αναπτυχθεί ένα μαθηματικό μοντέλο ικανό να τους συμπεριλαμβάνει όλους [76]. Ο κύριος μηχανισμός μεταφοράς μάζας είναι η διάχυση λόγω της βαθμίδας συγκέντρωσης μεταξύ του ωσμωτικού διαλύματος και του τρόφιμου και για αυτό το λόγο για την περιγραφή του μηχανισμού της ώσμωσης μπορεί να εφαρμοστεί το μοντέλο διάχυσης Fick σε ασταθή κατάσταση [77]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (6.5)$$

Όπου

w : η απώλεια νερού ή η πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

t : ο χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας (s)

D : η σταθερά διάχυσης ($\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$)

x : το μήκος της πλάκας (cm)

Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι (Newton Raphson, Crank-Nicholson) για τον προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης με την επίλυση του νόμου του Fick [77]. Οι μηχανιστικές προσεγγίσεις που έχουν προταθεί μπορούν να δώσουν μια επαρκή περιγραφή του μηχανισμού μεταφοράς μάζας, ωστόσο ενέχουν πολλές υποθέσεις οι οποίες είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν [76].

Επίσης, έχουν προταθεί πολλά εμπειρικά και ημιεμπειρικά μαθηματικά μοντέλα τα οποία συσχετίζουν μεταβλητές επεξεργασίας με την απώλεια νερού (WL) ή την πρόσληψη στερεών (SG) χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τα υποκείμενα φαινόμενα, πράγμα που σημαίνει πως δεν παρέχουν πληροφορίες για το μηχανισμό μεταφοράς μάζας. Τα μοντέλα αυτά είναι πολύ πιο απλά στην εφαρμογή τους και συνήθως περιλαμβάνουν παλινδρομήσεις πολλαπλών μεταβλητών, ανάλυση επιφάνειας απόκρισης και εξισώσεις που προέρχονται από ισοζύγια μάζας [76].

Παρακάτω παρατίθενται παραδείγματα μαθηματικών μοντέλων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης από ερευνητές.

Μοντέλο Peleg (1988)

Το εμπειρικό μοντέλο Peleg χρησιμοποιεί μια εξίσωση δύο παραμέτρων που βασίζεται στο νόμο διάχυσης του Fick για να προσδιορίσει τη διαδικασία απορρόφησης σε διάφορα τρόφιμα [78]. Οι σταθερές του μοντέλου δίνουν το ρυθμό μεταφοράς μάζας και την ικανότητα του τρόφιμου να επιτύχει τη μέγιστη απορρόφηση. Η εξίσωση δύο παραμέτρων είναι η ακόλουθη [79]:

$$M = M_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (6.6)$$

Όπου

M: η περιεκτικότητα σε υγρασία εκφρασμένη σε ξηρή βάση τη χρονική στιγμή t

M₀: η αρχική υγρασία εκφρασμένη σε ξηρή βάση

K₁: σταθερά που σχετίζεται με το ρυθμό μεταφοράς μάζας (σταθερά ρυθμού)

K₂: σταθερά που σχετίζεται με την ικανότητα απορρόφησης (σταθερά χωρητικότητας)

t: χρόνος (s)

Στην Εξ. (6.6), το θετικό πρόσημο χρησιμοποιείται όταν πρόκειται για απορρόφηση ή προσρόφηση διαλυτών στερεών από το τρόφιμο και το αρνητικό πρόσημο χρησιμοποιείται όταν πρόκειται για εκρόφηση νερού από το τρόφιμο.

Ο ρυθμός απορρόφησης αποδίδεται από την πρώτη παράγωγο της εξίσωσης (6.6):

$$R = \frac{dM}{dt} = \pm \frac{K_1}{(K_1 + K_2 t)^2} \quad (6.7)$$

Η σταθερά ρυθμού K₁ αφορά τον ρυθμό εκρόφησης στην αρχή, δηλαδή για t = t₀ όπου η εξίσωση (6.7) παίρνει τη μορφή:

$$R_0 = \pm \frac{1}{K_1}$$

Η σταθερά χωρητικότητας K₂ σχετίζεται με την περιεκτικότητα υγρασίας στην ισορροπία M_∞. Όταν t → ∞ η παρακάτω εξίσωση δίνει τη σχέση μεταξύ της K₂ και της υγρασίας στην ισορροπία:

$$M_\infty = M_0 \pm \frac{1}{K_2}$$

Έτσι, το μοντέλο αυτό μπορεί να προσδιορίσει το ρυθμό μεταφοράς μάζας του νερού αλλά και την ελάχιστη τιμή υγρασίας που μπορεί να επιτευχθεί έπειτα από την εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης σε ένα τρόφιμο.

Μοντέλο Azuara (1992)

Το εμπειρικό μοντέλο Azuara βασίζεται στο μοντέλο Peleg [78] και προβλέπει την απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών σε μεγάλες περιόδους ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιώντας τις εξής εξισώσεις δύο παραμέτρων:

$$WL = \frac{S_1 t W L_\infty}{1 + S_1 t} \quad (6.8)$$

$$SG = \frac{S_2 t S G_\infty}{1 + S_2 t} \quad (6.9)$$

Όπου

WL: απώλεια υγρασίας σε χρόνο t

SG: πρόσληψη διαλυτών στερεών σε χρόνο t

WL_∞: απώλεια υγρασίας στην κατάσταση ισορροπίας

SG_∞: απώλεια υγρασίας στην κατάσταση ισορροπίας

S₁, S₂: σταθερές μοντέλου που σχετίζονται με το ρυθμό διάχυσης νερού και διαλυτών στερεών αντίστοιχα

t: χρόνος (s)

Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε με βάση τα ισοζύγια μάζας του νερού και του σακχάρου και είναι ικανό να προβλέψει την κινητική της αφυδάτωσης και το τελικό σημείο ισορροπίας [80]. Για το λόγο αυτό και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό της ωσμωτικής αφυδάτωσης διαφόρων τύπων τροφίμων, χωρίς περιορισμούς γεωμετρικών διαμορφώσεων [81], το μοντέλο αυτό είναι δημοφιλές και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από ερευνητές.

Ακόμη, όταν το μοντέλο αυτό συσχετίζεται με τον δεύτερο νόμο του Fick για τη μη σταθερή μονοδιάστατη διάχυση μέσω λεπτής πλάκας προκύπτουν απλές εξισώσεις οι οποίες μπορούν να αποδώσουν εύκολα τους συντελεστές διάχυσης.

Αξίζει να σημειωθεί πως στα μοντέλα Peleg και Azuara η σημαντικότερη παραδοχή είναι το ότι η διάχυση ουσιών από το τρόφιμο στο διάλυμα θεωρείται αμελητέα [78].

Μοντέλο Page (1949)

Το μαθηματικό αυτό μοντέλο χρησιμοποιείται συχνά από τους ερευνητές για την περιγραφή των κινητικών της ωσμωτικής αφυδάτωσης διότι συνήθως έχει πολύ καλή προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα και υψηλή ικανότητα πρόβλεψης [82]. Το μοντέλο περιλαμβάνει τις παρακάτω εξισώσεις [83]:

$$\frac{WL}{WL_{\infty}} = 1 - \exp(-A_w t^{B_w}) \quad (6.10)$$

$$\frac{SG}{SG_{\infty}} = 1 - \exp(-A_s t^{B_s}) \quad (6.11)$$

Όπου

WL, SG: απώλεια υγρασίας, πρόσληψη διαλυτών στερεών σε χρόνο t

WL_∞, SG_∞: απώλεια υγρασίας, πρόσληψη διαλυτών στερεών στην κατάσταση ισορροπίας

A_w, B_w, A_s, B_s: σταθερές Page

6.3. Παράμετροι της διεργασίας

Η αποτελεσματικότητα της ωσμωτικής αφυδάτωσης κρίνεται από τη μεταφορά της μάζας, δηλαδή το ποσοστό του νερού που απομακρύνθηκε από το τρόφιμο, την ποσότητα των στερεών που προσλήφθηκε αλλά και από την επίδραση της διαδικασίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Οι μεταβλητές που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της διεργασίας αφορούν τόσο το τρόφιμο όσο και το ωσμωτικό μέσο και η επιλογή τους σε κάθε πείραμα είναι κρίσιμη, καθώς η εύρεση των κατάλληλων επιπέδων των μεταβλητών αυτών οδηγεί σε βελτιστοποίηση της διεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές που επηρεάζουν τη διεργασία είναι οι παρακάτω.

6.3.1. Μορφολογία και χαρακτηριστικά πρώτης ύλης

Έχει αποδειχθεί πως διαφοροποιήσεις ως προς το είδος, την ποικιλία και το επίπεδο ωριμότητας παίζουν σημαντικό ρόλο στο επίπεδο επιτυχίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Φρούτα ίδιου είδους αλλά διαφορετικών ποικιλιών συχνά παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην απώλεια νερού και την πρόσληψη διαλυμένων ουσιών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, για λόγους που σχετίζονται με τη συμπαγή δομή των ιστών, την αρχική περιεκτικότητα σε διαλυτά και αδιάλυτα στερεά, την ενζυμική δραστηριότητα και τους μεσοκυττάριους χώρους [71]. Ακόμη, έχει σημασία το είδος του ιστού που συμμετέχει στην ωσμωτική αφυδάτωση: εσωτερικοί και εξωτερικοί παρεγχυματικοί ιστοί φρούτων παρουσιάζουν διαφορές στους χώρους των πόρων και τη διασυνδεσιμότητα, προκαλώντας διαφορές στις οδούς μεταφοράς και επηρεάζοντας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας [84]. Γενικά, έχει βρεθεί πως οι διαφορές στη χημική σύνθεση (πρωτεΐνες, λίπος, υδατάνθρακες, ανόργανα άλατα κ.λπ.) και στις φυσικές ιδιότητες (προσανατολισμός ινών, δέρμα και πορώδες) επηρεάζουν τις κινητικές των φαινομένων μεταφοράς μάζας στα τρόφιμα [85].

Ο ρυθμός της μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζεται επίσης από το μέγεθος και το σχήμα του δείγματος, γεγονός που οφείλεται στη μεταβολή της επιφάνειας ανά μονάδα όγκου ή μάζας και του λόγου της επιφάνειας προς το μήκος διάχυσης του τροφίμου. Έχει διαπιστωθεί πως το μικρότερο πάχος δείγματος επιφέρει πολύ καλύτερα αποτελέσματα στην απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών, λόγω μικρότερου μήκους διαδρομής διάχυσης, ενώ ο

ρυθμός της αφυδάτωσης αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της επιφάνειας. Γενικά, για τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης προτείνονται δείγματα μεγέθους 3-10 mm σε σχήμα ορθογωνίου, κύβου ή δακτυλίου [71], [70].

6.3.2. Τύπος και συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου

Ο τύπος του ωσμωτικού διαλύματος είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Γενικά, τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται για την ωσμωτική αφυδάτωση αποτελούνται από μια ουσία διαλυμένη σε απιονισμένο νερό. Το κόστος της διαλυμένης ουσίας, η οργανοληπτική συμβατότητα με το τελικό προϊόν και η πρόσθετη συντηρητική δράση από τη διαλυμένη ουσία είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά την επιλογή των ωσμωτικών παραγόντων για το εκάστοτε πείραμα [86]. Ακόμη, ο ωσμωτικός παράγοντας πρέπει να έχει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό, ώστε να μπορεί να σχηματίζει ιδιαίτερα συμπυκνωμένα διαλύματα, να μην είναι τοξικός και να μην αντιδρά με το προϊόν [59]. Επίσης, οι φυσικοχημικές ιδιότητες, η ιοντική συμπεριφορά και το μοριακό βάρος της διαλυμένης ουσίας παίζουν σημαντικό ρόλο για την έκβαση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ένας ωσμωτικός παράγοντας με χαμηλό μοριακό βάρος μπορεί να διεισδύσει πιο εύκολα στον ιστό των φρούτων και των λαχανικών από ότι ένας με υψηλό μοριακό βάρος, με αποτέλεσμα να ευνοείται η πρόσληψη στερεών από το τρόφιμο κατά την ωσμωτική διαδικασία. Μάλιστα, έχει αποδειχθεί από μελέτες πως ο ρυθμός διείσδυσης της διαλυμένης ουσίας σχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση του διαλύματος και αντιστρόφως ανάλογα με το μέγεθος του μορίου του σακχάρου [72]. Όσον αφορά την απώλεια νερού, μελέτες αναφέρουν ότι το υψηλό μοριακό βάρος του ωσμωτικού παράγοντα έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη κινητήρια δύναμη της διεργασίας και άρα μικρότερη απώλεια νερού [87].

Διάφορες διαλυμένες ουσίες έχουν δοκιμαστεί σε υπερτονικά διαλύματα από τους ερευνητές για την ωσμωτική αφυδάτωση μιας πολύ μεγάλης ποικιλίας τροφίμων. Συχνά μάλιστα χρησιμοποιείται συνδυασμός ωσμωτικών παραγόντων με σκοπό το συνδυασμό διαφορετικών χαρακτηριστικών και το καλύτερο οργανοληπτικό αποτέλεσμα. Με βάση την αποτελεσματικότητα, την ευκολία και τη γεύση τους, τα διαλύματα σακχάρων και τα διαλύματα αλάτων έχουν αποδειχθεί οι καλύτερες επιλογές [86]. Οι συνήθεις τύποι διαλυτών που χρησιμοποιούνται ως ωσμωτικοί παράγοντες για φρούτα και λαχανικά είναι η σακχαρόζη, η γλυκόζη, η φρουκτόζη, η σορβιτόλη, η γλυκερόλη, η μαλτοδεξτρίνη, το σιρόπι γλυκόζης, το σιρόπι αμύλου, το σιρόπι καλαμποκιού, και το χλωριούχο νάτριο [72]. Γενικά, για λόγους γεύσης, συνήθίζεται να χρησιμοποιούνται διαλύματα σακχάρου για την ωσμωτική αφυδάτωση φρούτων και διαλύματα αλάτων για την ωσμωτική αφυδάτωση λαχανικών, κρεάτων και ψαριών.

Οι Lenart και Flink διαπίστωσαν πως ο συνδυασμός σακχαρόζης και αλατιού οδήγησε σε μεγαλύτερη μείωση της ενεργότητας νερού στο τρόφιμο. Περαιτέρω μελέτες έδειξαν ότι η σακχαρόζη τείνει να συσσωρεύεται στο λεπτό υποεπιφανειακό στρώμα εμποδίζοντας τη μεταφορά της μάζας ενώ το αλάτι βρέθηκε να εμποδίζει τη συσσώρευση και να διεισδύει στον ωσμωτικό ιστό σε πολύ μεγαλύτερο βάθος. Η παρουσία αλατιού στο υπερτονικό διάλυμα αποτρέπει το σχηματισμό συμπαγούς επιφανειακού στρώματος και αυτό σε συνδυασμό με το χαμηλό μοριακό βάρος του αλατιού και την ικανότητά του να μειώνει σημαντικά τη σχετική υγρασία το καθιστούν παράγοντα αύξησης της απώλειας νερού και της πρόσληψης στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση [85]. Ωστόσο, για οργανοληπτικούς λόγους, η συγκέντρωση του αλατιού στο διάλυμα δεν μπορεί να είναι υψηλή.

Εκτός από τον τύπο του ωσμωτικού διαλύματος, πολύ σημαντική είναι και η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας μέσα σε αυτό καθώς μπορεί να επηρεάσει την κινητική της μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική επεξεργασία. Η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου οδηγεί στην αύξηση των ρυθμών απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών, αφού η μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας προκαλεί μειωμένη ενεργότητα νερού στο ωσμωτικό διάλυμα και άρα μεγαλύτερη διαφορά στην ενεργότητα νερού μεταξύ του διαλύματος και του τροφίμου η οποία έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο ρυθμό διάχυσης τόσο για το νερό όσο και για τη διαλυμένη ουσία [86]. Ακόμη, μελέτες έχουν δείξει πως κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος, σχηματίζεται ένα πυκνό στρώμα διαλυμένης ουσίας γύρω από το εμβαπτισμένο τρόφιμο, το οποίο ενισχύει την απομάκρυνση μορίων νερού και δρα προστατευτικά εμποδίζοντας τις θρεπτικές ουσίες του τροφίμου να διαφύγουν στο ωσμωτικό διάλυμα [86]. Οι Ispir και Toğrul συγκρίνοντας τους ρυθμούς μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση βερίκοκων για συγκεντρώσεις σακχαρόζης 40%, 50% και 60% διαπίστωσαν ότι η υψηλότερη συγκέντρωση σακχαρόζης δημιουργεί μεγαλύτερες βαθμίδες ωσμωτικής πίεσης οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερη αύξηση στερεών και απώλεια νερού καθ' όλη τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας. Ομοίως, οι Mundada, Hathan και

Maske διαπίστωσαν ότι ο ωσμωτικός παράγοντας υψηλότερης συγκέντρωσης είχε ως αποτέλεσμα το υψηλότερο κέρδος στερεών και την υψηλότερη απώλεια νερού [71].

Όσον αφορά την πρόσληψη στερεών, υπάρχουν και κάποιες μελέτες που αναφέρουν πως η αύξηση της συγκέντρωσης εμποδίζει τη διαλυμένη ουσία να διαχυθεί στο τρόφιμο καθώς επιφέρει αύξηση στην αντίσταση μεταφοράς της μάζας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως με την αύξηση της συγκέντρωσης αυξάνεται και το ιξώδες του διαλύματος, και αυτό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα [72]. Ωστόσο, πολλές μελέτες, μια εκ των οποίων είναι και η μελέτη του Lazarides πάνω στις κινητικές της ωσμωτικής αφυδάτωσης μήλων, αναφέρουν αύξηση έως και 80% της πρόσληψης στερεών με την αύξηση της συγκέντρωσης [86].

Γενικά, το ζητούμενο από ένα ωσμωτικό διάλυμα είναι να επιφέρει ταχεία απομάκρυνση νερού από το τρόφιμο, το επιθυμητό επίπεδο πρόσληψης στερεών, να προσδίδει καλές φυσικοχημικές και διατροφικές ιδιότητες στο τρόφιμο και να έχει αποδεκτό κόστος. Έτσι, η επιλογή του τύπου του ωσμωτικού διαλύματος αλλά και της συγκέντρωσής του είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν πρόκειται να πραγματοποιηθεί ένα πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης.

6.3.3. Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος

Η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό της ωσμωτικής μεταφοράς μάζας, καθώς είναι γνωστό πως η θερμοκρασία επηρεάζει το φαινόμενο της διάχυσης. Πολυάριθμες μελέτες πάνω σε ένα μεγάλο εύρος φρούτων και λαχανικών έχουν δείξει πως η αύξηση της θερμοκρασίας στη διεργασία ευνοεί την απώλεια νερού και αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διόγκωση και την πλαστικοποίηση των κυτταρικών μεμβρανών, καθώς και στο χαμηλότερο ιξώδες του ωσμωτικού μέσου, συνθήκη που μειώνει την αντίσταση μεταφοράς μάζας στην επιφάνεια του δείγματος διευκολύνοντας την εκροή νερού από το τρόφιμο [72]. Ακόμη, στα δείγματα φρούτων και λαχανικών που διαθέτουν πορώδη δομή, η υψηλή θερμοκρασία δρα απελευθερώνοντας τον παγιδευμένο αέρα από τον ιστό με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απομάκρυνση του νερού μέσω της ωσμωτικής πίεσης [72]. Όσον αφορά την πρόσληψη στερεών υπάρχουν έρευνες που αναφέρουν πως δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία και πως σε υψηλή θερμοκρασία η διαλυμένη ουσία δε διαχέεται τόσο εύκολα όσο το νερό μέσω της κυτταρικής μεμβράνης [86], [85]. Ωστόσο, πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης μήλου από τους Lazarides et al σε θερμοκρασίες 30°C και 50°C έδειξε αυξημένη πρόσληψη σακχάρων (έως και 55%) σε σύγκριση με το αντίστοιχο πείραμα σε θερμοκρασία δωματίου, γεγονός που αποδόθηκε στη διόγκωση της μεμβράνης η οποία ενισχύει τη διαπερατότητά της [71].

Πειράματα έχουν αναφέρει πως η ωσμωτική επεξεργασία σε θερμοκρασία άνω των 50°C προκαλεί δυσμενείς αλλαγές στα τρόφιμα, όπως για παράδειγμα ενζυμικό μαύρισμα, υποβάθμιση αρώματος και αλλοίωση της γεύσης, ενώ θερμοκρασίες άνω των 60°C μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στους φυτικούς ιστούς [71]. Για αυτό το λόγο, για φρούτα και λαχανικά προτιμώνται θερμοκρασίες μέχρι τους 45°C ώστε η κυτταρική μεμβράνη να παραμένει ακέραιη.

6.3.4. Χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας

Η διάρκεια εμβάπτισης του δείγματος στο ωσμωτικό διάλυμα είναι ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει την εξέλιξη της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Καθώς αυξάνεται ο χρόνος εμβάπτισης αυξάνεται και η απώλεια υγρασίας, καθώς η μεταφορά μάζας συνεχίζεται μέχρι να προκύψει ισορροπία, αλλά ο ρυθμός με τον οποίο συμβαίνει αυτό μειώνεται. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μελέτες έχουν δείξει πως η ανταλλαγή μαζών πραγματοποιείται με ταχύτερο ρυθμό εντός των αρχικών δύο ωρών, και σε αυτό το στάδιο επιτυγχάνεται το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής απώλειας βάρους [71]. Εκτός όμως από την απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών, μεγάλη σημασία έχει και η επίδραση του χρόνου διεργασίας στον ιστό των τροφίμων που αφυδατώνονται. Πειράματα ωσμωτικής αφυδάτωσης με εμβάπτιση δειγμάτων φράουλας σε διάλυμα σακχαρόζης αναφέρουν πως όσο μεγαλύτερος ήταν ο χρόνος εμβάπτισης τόσο μεγαλύτερη ήταν η απώλεια υφής, και πως μετά από την πρώτη ώρα παρατηρήθηκε σταδιακή αποσύνδεση και διάσπαση του ιστού, με απώλεια του σχήματος των κυτταρικών τοιχωμάτων μαζί με απώλεια της πίεσης σπαργής, σημαντική απώλεια ηκτικής [88], αλλά και απώλεια πτητικών ενώσεων λόγω της μεταφοράς, κυρίως των εστέρων, στο ωσμωτικό διάλυμα [89]. Έτσι, συχνά επιλέγεται χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας μικρότερος από αυτόν που χρειάζεται το σύστημα για να έρθει σε ισορροπία, με σκοπό την αποφυγή των ποιοτικών μεταβολών που προκύπτουν από την εκτεταμένη ωσμωτική επεξεργασία.

6.3.5. Αναλογία δείγματος/ωσμωτικού διαλύματος

Η αναλογία στις ποσότητες του δείγματος και του ωσμωτικού διαλύματος είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την κινητική των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά τη διεργασία. Πειραματικές μελέτες αναφέρουν πως η αύξηση του λόγου μάζας του ωσμωτικού διαλύματος προς το δείγμα επιφέρει την αύξηση τόσο της απώλειας νερού όσο και της πρόσληψης στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση [85]. Το ωσμωτικό διάλυμα αραιώνεται κατά τη διαδικασία, καθώς νερό και διαλυμένες ουσίες από το τρόφιμο διαχέονται σε αυτό, και έτσι η ωσμωτική κινητήρια δύναμη για περαιτέρω απελευθέρωση νερού μειώνεται, επιβραδύνοντας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Έτσι, έχουν δοκιμαστεί πειραματικά μεγάλες αναλογίες διαλύματος προς δείγμα (10:1 έως 60:1) ώστε να αποφευχθεί η σημαντική αραίωση του μέσου. Ωστόσο, η χρήση τόσο μεγάλων ποσοτήτων ωσμωτικού διαλύματος μπορεί να αποβεί μη πρακτική και οικονομικά μη συμφέρουσα, για αυτό και προτείνονται μικρότερες αναλογίες. Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει χαμηλότερες αναλογίες διαλύματος προς δείγμα (1:1 έως 5:1) με σκοπό να παρακολουθήσουν τις μεταβολές στη συγκέντρωση του διαλύματος και την επιρροή τους στη μεταφορά της μάζας [71].

6.3.6. Ανάδευση

Η ανάδευση κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής διαδικασίας αυξάνει το ρυθμό απώλειας νερού καθώς μειώνει την αντίσταση μεταφοράς μάζας από την πλευρά του διαλύματος. Τα ωσμωτικά διαλύματα είναι συνήθως ιδιαίτερα συμπυκνωμένα, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα, όπως η επίπλευση του δείγματος ή ο σχηματισμός αραιού φιλμ διαλύματος γύρω από το δείγμα, που παρεμποδίζουν την επαφή μεταξύ του διαλύματος και του τροφίμου και μειώνουν τους ρυθμούς μεταφοράς μάζας. Η τύρβη η οποία προκαλείται από την ανάδευση και την κυκλοφορία του διαλύματος γύρω από το δείγμα, οδηγεί σε υψηλότερο ρυθμό διάχυσης [71]. Γενικά, έχει αποδειχθεί πειραματικά πως η ανάδευση ευνοεί την απώλεια νερού, ιδίως σε χαμηλές θερμοκρασίες όπου το ιξώδες είναι υψηλό και κατά τα πρώτα στάδια της ώσμωσης [85]. Ωστόσο, έχει αναφερθεί ότι η ανάδευση, ενώ δεν επηρεάζει το ρυθμό πρόσληψης στερεών για σύντομες περιόδους διεργασίας, προκαλεί τη μείωσή του για μεγαλύτερες περιόδους ώσμωσης. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην υψηλότερη απώλεια νερού, λόγω της ανάδευσης, η οποία μεταβάλλει τη βαθμίδα συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών εντός του σωματιδίου του τροφίμου [71].

6.4. Εναλλακτικά μέσα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η ζήτηση για τρόφιμα ελάχιστα επεξεργασμένα και με χαμηλές θερμίδες, και στο πλαίσιο αυτό γίνεται μια προσπάθεια από τους ερευνητές για την εύρεση ωσμωτικών παραγόντων εναλλακτικών της σακχαρόζης. Το ζητούμενο από τους εναλλακτικούς ωσμωτικούς παράγοντες είναι να εμπλουτίζουν το τρόφιμο με φυσικά σάκχαρα και βιοδραστικές ενώσεις και να αναβαθμίζουν τη διατροφική αξία του, ενώ παράλληλα να είναι αποτελεσματικοί ως προς τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική διεργασία.

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές πειραματικές μελέτες ως προς τις κινητικές της ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση εναλλακτικών ωσμωτικών διαλυμάτων. Μία συνήθης κατηγορία καινοτόμων ωσμωτικών παραγόντων είναι οι συμπυκνωμένοι χυμοί φρούτων (μήλου, πορτοκαλιού κ.α.) οδηγώντας σε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, για την ωσμωτική αφυδάτωση φραουλών έχουν χρησιμοποιηθεί συμπυκνώματα χυμών φράουλας, φραγκοστάφυλου και κερασιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση καθώς και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες, ανθοκυανίνες και βιταμίνη C, σε σύγκριση με φράουλες που αφυδατώθηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα σακχαρόζης. Επίσης, οι συμπυκνωμένοι χυμοί φρούτων επηρέασαν θετικά το προφίλ των σακχάρων των αφυδατωμένων φραουλών καθιστώντας το νέο προϊόν πιο πολύτιμο διατροφικά, ενώ ταυτόχρονα οδήγησαν σε υψηλά επίπεδα απομάκρυνσης νερού και μείωσης της ενεργότητας χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά το χρώμα και η υφή των προϊόντων [90].

Ο πιο δημοφιλής ίσως, εναλλακτικός ωσμωτικός παράγοντας είναι η γλυκερόλη. Πρόκειται για μια χημική οργανική ένωση η οποία συναντάται συνήθως στη μορφή παχύρρευστου, άχρωμου και άοσμου υγρού με γλυκιά γεύση. Έχει διεξαχθεί πληθώρα πειραμάτων ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση διαλυμάτων γλυκερόλης και οι αναφορές υποδεικνύουν πως πρόκειται για έναν ωσμωτικό παράγοντα με πολύ υψηλές δυνατότητες και μεγάλη αποτελεσματικότητα όσον αφορά την απομάκρυνση νερού και τη μείωση της ενεργότητας. Παράλληλα, η γλυκερόλη διαθέτει μικροβιολογικά προστατευτικές ιδιότητες ως προς το τρόφιμο ενώ έχει επίσης αναφερθεί πως βελτιώνει την υφή των ωσμωτικά αφυδατωμένων προϊόντων [91]. Άλλες εναλλακτικές ουσίες που έχουν δοκιμαστεί για την παρασκευή ωσμωτικών διαλυμάτων και έχουν φέρει επιτυχή

αποτελέσματα είναι η γλυκόζη, η φρουκτόζη και η τρεχαλόζη. Έχουν ερευνηθεί επίσης η σορβιτόλη, το σιρόπι καλαμποκιού, η φρουκτόζη, η ολιγοφρουκτόζη, η τρεχαλόζη, η σορβιτόλη, η μαλτόζη, η ολιγοφρουκτόζη, η μαλτοδεξτρίνη, η μαλτιτόλη, η ξυλιτόλη και η ερυθριτόλη [87].

Το μεγάλο πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων από τη βιομηχανία των τροφίμων ωθεί τους επιστήμονες να αναζητούν τρόπους αξιοποίησής τους σε άλλες βιομηχανικές διεργασίες. Ένα παράδειγμα είναι ο στραγγισμένος ορός γιαουρτιού ο οποίος αποτελεί υποπροϊόν με σημαντική διατροφική αξία αλλά η αξιοποίησή του στη βιομηχανία παρουσιάζει δυσκολίες λόγω των ιδιαίτερων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του. Μία πολλά υποσχόμενη κατεύθυνση για τη χρήση του υποπροϊόντος αυτού είναι η ωσμωτική αφυδάτωση φρούτων και λαχανικών, καθώς μελέτες έχουν δείξει πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικός ωσμωτικός παράγοντας χωρίς να επηρεάζει αρνητικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, εμπλουτίζοντάς το διατροφικά. Ως ωσμωτικός παράγοντας, ο στραγγισμένος ορός γιαουρτιού μπορεί να αποδώσει υψηλής ποιότητας ημι- αποξηραμένα ή αποξηραμένα προϊόντα, όπως σνακ κολοκύθας ή σκευάσματα τροφίμων όπως μούσλι και γαλακτοκομικά προϊόντα [68].

7. Πειραματικός σχεδιασμός

7.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Μελετήθηκε η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα φρέσκων μανιταριών ποικιλίας *Lentinula*, λεμονιών και πορτοκαλιών με τη χρήση πιλοτικού μηχανήματος ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ως ωσμωτικό μέσο χρησιμοποιήθηκε η γλυκερόλη σε διάφορες συγκεντρώσεις και τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν υπό ανάδευση σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες. Τα δείγματα εμβαπτίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα για έξι διαφορετικούς χρόνους και προσδιορίστηκαν η απώλεια νερού, η πρόσληψη στερεών και η ενεργότητα νερού για κάθε συνδυασμό πειραματικών συνθηκών.

7.2. Υλικά – Χημικά αντιδραστήρια

7.2.1. Υλικά

Τα φρέσκα μανιτάρια *Lentinula* παραλαμβάνονταν κατά την περίοδο των πειραμάτων από την εταιρεία ΔΙΡΦΥΣ μέσα σε καφάσια του ενός και των δύο κιλών και αποθηκεύονταν στο ψυγείο στους 3°C μέσα σε κλειστές πλαστικές σακούλες τροφίμων. Τα φρέσκα λεμόνια και πορτοκάλια αγοράζονταν από την τοπική αγορά τις ημέρες των πειραμάτων και χρησιμοποιούνταν αυθημερόν. Για την παρασκευή των διαλυμάτων γλυκερόλης χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό.

7.2.2. Χημικά αντιδραστήρια

Για την παρασκευή των ωσμωτικών διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκε γλυκερόλη την οποία προμηθευτήκαμε από την τοπική αγορά. Για την προεπεξεργασία των δειγμάτων πριν την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιήθηκε χλωριούχο ασβέστιο (Calcium Chloride, 96%, for Analysis, Granules) από την εταιρία Acros Organics, ασκορβικό οξύ σε σκόνη (Ascorbic Acid) από την εταιρία PENTA και ένζυμο πεκτινάσης σε υγρή μορφή, το οποίο προμηθευτήκαμε από εταιρία που συνεργάζεται με το Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών.

7.3. Προεπεξεργασία δειγμάτων

Αφού τεμαχίστηκαν τα δείγματα μανιταριού, λεμονιού και πορτοκαλιού σε φέτες με πάχος 0.5cm, εμβαπτίστηκαν για 20 λεπτά σε υδατικό διάλυμα το οποίο περιείχε 1 g χλωριούχου ασβέστιου (CaCl_2), 0.5 g ασκορβικού οξέος και 0.2 g πεκτινάσης ανά 100 g δείγματος. Η συγκεκριμένη προεπεξεργασία πριν εφαρμοστεί η ωσμωτική αφυδάτωση έχει ως στόχο τη διατήρηση της υφής και του χρώματος των δειγμάτων, καθώς έρευνες αναφέρουν πως το χλωριούχο ασβέστιο ελαχιστοποιεί τη βλάβη των ιστών και βελτιώνει τις ιδιότητες υφής του ωσμωτικά αφυδατωμένου προϊόντος [92], ενώ το ασκορβικό οξύ δρα ως αντιοξειδωτικό αναστέλλοντας ή παρεμποδίζοντας το ενζυμικό μαύρισμα, καθώς και τις επιζήμιες αντιδράσεις οι οποίες επηρεάζουν το άρωμα, το χρώμα και την υφή του [93]. Η πεκτινάση χρησιμοποιείται ως ενισχυτής υφής για τα δείγματα ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή των ιστών τους και το μαλάκωμα τους κατά την εφαρμογή της διεργασίας.

Για κάθε πειραματική συνθήκη προετοιμάστηκαν και υποβλήθηκαν σε προεπεξεργασία δύο ξεχωριστές παρτίδες δειγμάτων. Και οι δύο παρτίδες υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση, και έπειτα η μία χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των κινητικών της απώλειας νερού και της πρόσληψης στερεών, και η άλλη για τη μελέτη της κινητικής της ενεργότητας νερού.

7.4. Πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν κατά την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ήταν η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος και ο χρόνος εμβάπτισης. Προζυγισμένα δείγματα μανιταριού *Lentinula*, λεμονιού και πορτοκαλιού εμβαπτίστηκαν σε τρία υδατικά διαλύματα γλυκερόλης -με συγκεντρώσεις 30% (w/w), 40% (w/w) και 50% (w/w)- και αλατιού -με συγκέντρωση 5% (w/w)-. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε τρεις θερμοκρασίες, 25°C, 35°C και 45°C, και οι χρόνοι εμβάπτισης για κάθε συνδυασμό συγκέντρωσης και θερμοκρασίας κυμάνθηκαν από 10 min έως 300 min. Πιο συγκεκριμένα,

οι χρόνοι εμφάπτισης που μελετήθηκαν ήταν 10 min , 30 min , 60 min , 120 min , 240 min και 300 min. Τα πειράματα έγιναν υπό ανάδευση 90 rpm και η αναλογία δείγματος προς διάλυμα ήταν 1:5.

Για την υλοποίηση της διεργασίας χρησιμοποιήθηκε μηχανήμα ωσμωτικής αφυδάτωσης πιλοτικής κλίμακας. Πρόκειται για ένα μεγάλο υδατόλουτρο μέσα στο οποίο τοποθετούνται μεγάλα ποτήρια ζέσεως που περιέχουν ωσμωτικό διάλυμα. Σε κάθε ποτήρι ζέσεως αντιστοιχεί και ένας αναδευτήρας, στα πτερύγια του οποίου εφαρμόζονται τέσσερις μεταλλικές κυλινδρικές διάτρητες θήκες. Τα δείγματα τοποθετούνται μέσα στις θήκες των αναδευτήρων και οι αναδευτήρες βυθίζονται στα ποτήρια ζέσεως. Έτσι πραγματοποιείται η εμφάπτιση των δειγμάτων μέσα στο ωσμωτικό διάλυμα και καθώς τίθεται σε λειτουργία ο αναδευτήρας, τα δείγματα αναδύονται μέσα στο διάλυμα. Το όργανο διαθέτει ρυθμιστή θερμοκρασίας και ταχύτητας ανάδευσης ώστε να ρυθμίζεται η θερμοκρασία του υδατόλουτρου και η ταχύτητα των αναδευτήρων στις επιθυμητές τιμές.



Εικόνα 10: Το μηχανήμα ωσμωτικής αφυδάτωσης το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Στις φωτογραφίες διαφαίνονται οι αναδευτήρες με εφαρμοσμένες τις διάτρητες θήκες στα πτερύγια τους, τα ποτήρια ζέσεως γεμισμένα με ωσμωτικό διάλυμα, το υδατόλουτρο και ο πίνακας ρύθμισης της θερμοκρασίας και της ταχύτητας ανάδευσης.



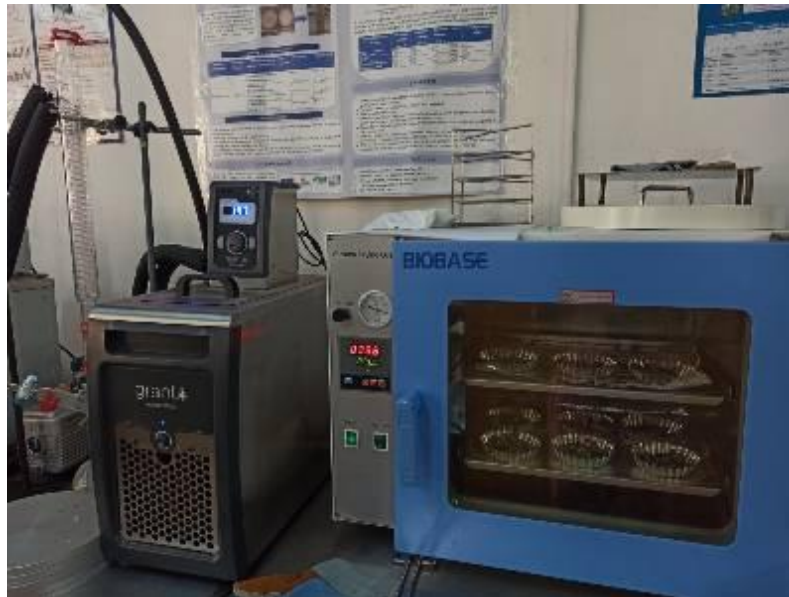
Εικόνα 11: Δείγματαμανιταριού *Lentinula* εμφάπτισμένα σε ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης.

7.5. Προσδιορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών

Για κάθε πείραμα, και κατά συνέπεια για κάθε παρτίδα δειγμάτων προετοιμάστηκαν δύο μάρτυρες, δηλαδή δύο δείγματα τα οποία δεν υπέστησαν ούτε προεπεξεργασία ούτε ωσμωτική αφυδάτωση, αλλά χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας και της ενεργότητας νερού των φρέσκων φρούτων/ λαχανικών.

7.5.1. Μέτρηση απώλειας βάρους

Μετά το πέρας της ωσμωτικής διαδικασίας τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε διηθητικό χαρτί για ορισμένο χρόνο και έπειτα σκουπίστηκαν απαλά ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια ωσμωτικού διαλύματος. Αφού ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε μικρά ταψάκια τα οποία μπήκαν σε φούρνο κενού (Vacuum Drying Oven, Biobase) σε θερμοκρασία $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ και παρέμειναν για 24h, μέχρι σταθερού τελικού βάρους. Αφού βγήκαν από το φούρνο ζυγίστηκαν, ώστε να σημειωθεί το ξηρό βάρος του κάθε δείγματος. Για κάθε πείραμα, μαζί με τα δείγματα που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση, τοποθετήθηκε στο φούρνο και ένας μάρτυρας ώστε να βρεθεί το ξηρό βάρος του και να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας της κάθε παρτίδας δειγμάτων.



Εικόνα 12: Δείγματαμανιταριού Lentinula στο φούρνο κενού.



Εικόνα 13: Δείγματα πορτοκαλιού μετά από την παραμονή τους για 24 ώρες στο φούρνο κενού.

7.5.2. Μέτρηση ενεργότητας νερού

Για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε όργανο μέτρησης ενεργότητας νερού (Aqua LAB 4TEV, METER Group). Για κάθε πειραματική συνθήκη, μετά το πέρας της ωσμωτικής διαδικασίας, τα δείγματα και ο μάρτυρας τεμαχίστηκαν σε πολύ μικρά κομμάτια και μεταφέρθηκαν σε ειδικά τρυβλία τα οποία τοποθετήθηκαν στην ειδική θέση μέτρησης του οργάνου. Το όργανο διαθέτει αισθητήρα ο οποίος μπορεί να καθορίσει με ακρίβεια το σημείο δρόσου του δείγματος, που στη συνέχεια μεταφράζεται σε ενεργότητα νερού.



Εικόνα 14: Τρυβλίο που περιέχει δείγμα πορτοκαλιού τεμαχισμένο σε πολύ μικρά κομμάτια.



Εικόνα 15: Όργανο μέτρησης ενεργότητας νερού.

7.6. Στατιστική ανάλυση

Στα πειραματικά αποτελέσματα εφαρμόστηκε μονόδρομη ανάλυση διακύμανσης (One-way ANOVA) με σκοπό να γίνει ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας των τριών παραμέτρων που μελετήθηκαν, δηλαδή της συγκέντρωσης της γλυκερόλης, της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος και του χρόνου εμφάνισης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

7.7. Μαθηματικό μοντέλο

Στα πειραματικά δεδομένα εφαρμόστηκε το μαθηματικό μοντέλο Azuaga για την πρόβλεψη των τιμών ισορροπίας των μεγεθών WL και SG, καθώς βιβλιογραφικά το μοντέλο αυτό προτείνεται από πολλούς ερευνητές [80].

Οι εξισώσεις (6.8) και (6.9) μετασχηματίστηκαν στις εξής γραμμικές εξισώσεις:

$$\frac{t}{WL} = \frac{1}{S_1 WL_\infty} + \frac{1}{WL_\infty} t \quad (7.1)$$

$$\frac{t}{SG} = \frac{1}{S_2 SG_\infty} + \frac{1}{SG_\infty} t \quad (7.2)$$

Οι εξισώσεις αυτές απλουστευμένα σχηματίζουν ευθείες του τύπου $y = ax + \beta$, όπου ο όρος a αντιπροσωπεύει την κλίση της ευθείας και ο όρος β είναι σταθερός όρος.

Αφού υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του Excel οι λόγοι $\frac{t}{WL}$ και $\frac{t}{SG}$, σχεδιάστηκαν οι ευθείες τους σε συνάρτηση με το χρόνο. Με την εντολή Slope βρέθηκε η κλίση των δύο ευθειών και άρα τα μεγέθη WL_∞ , SG_∞ και έπειτα με την εντολή Intercept ήταν πολύ απλό να βρεθούν και οι σταθεροί όροι S_1 , S_2 .

8. Αποτελέσματα

8.1. Μανιτάρια

8.1.1. Αρχική υγρασία

Το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας επί υγρής βάσης υπολογίστηκε από την παρακάτω εξίσωση:

$$X_o = \frac{m_{αρχ} - m_{τελ}}{m_{αρχ}} \times 100\% \quad (8.1)$$

Όπου,

$m_{αρχ}$: η μάζα του φρέσκου δείγματος

$m_{τελ}$: η ξηρή μάζα του δείγματος μετά από 24 ώρες στο φούρνο ξήρανσης στους 105°C

Το εύρος των τιμών της περιεχόμενης υγρασίας που βρέθηκε στα φρέσκα δείγματα μανιταριού *Lentinula* ήταν 88.2% - 92.6%. Οι τιμές αυτές έρχονται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία, όπου αναφέρεται ότι η περιεχόμενη υγρασία ενός φρέσκου μανιταριού *Lentinula* είναι περίπου 90%. [94]

8.1.2. Ωσμωτική αφυδάτωση

8.1.2.1. Απώλεια νερού

Για να ποσοτικοποιηθεί η απώλεια νερού για κάθε συγκέντρωση, θερμοκρασία και χρόνο εμβάπτισης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (6.2), δηλαδή υπολογίστηκε το μέγεθος WL σε υγρή βάση για όλες τις πειραματικές συνθήκες. Η αρχική ξηρή μάζα (m_o) του κάθε δείγματος, η οποία είναι αναγκαία για τον υπολογισμό του WL υπολογίστηκε ως εξής:

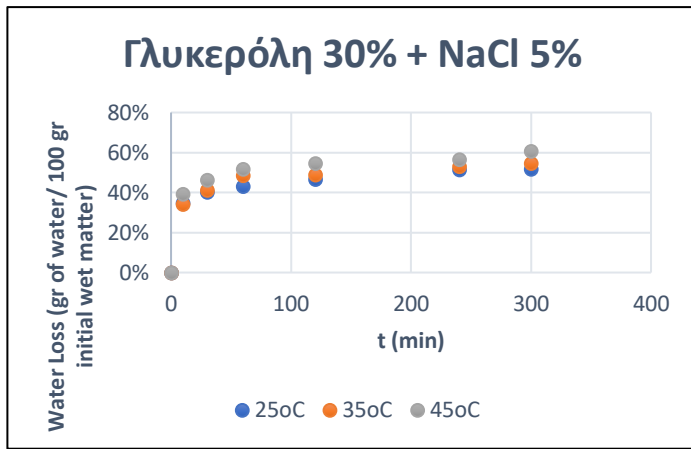
$$m_o = M_o \times (100 - X_o) \quad (8.2)$$

Όπου

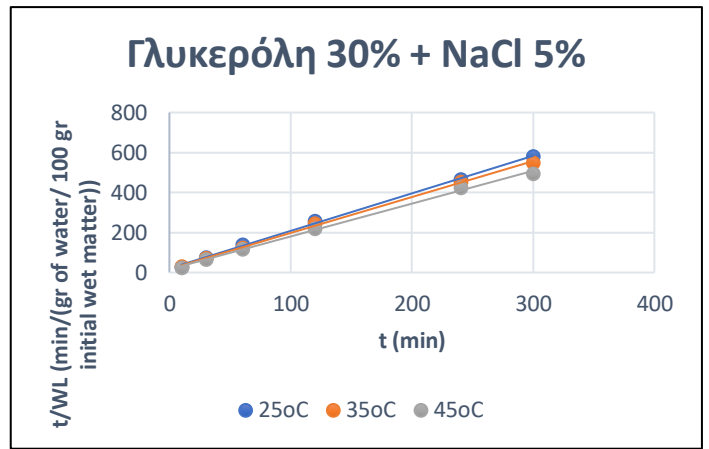
m_o : η αρχική μάζα του φρέσκου τροφίμου πριν από την ωσμωτική επεξεργασία (gr)

X_o : η αρχική υγρασία του φρέσκου τροφίμου $\left(\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg νωπού τροφίμου}} \right)$

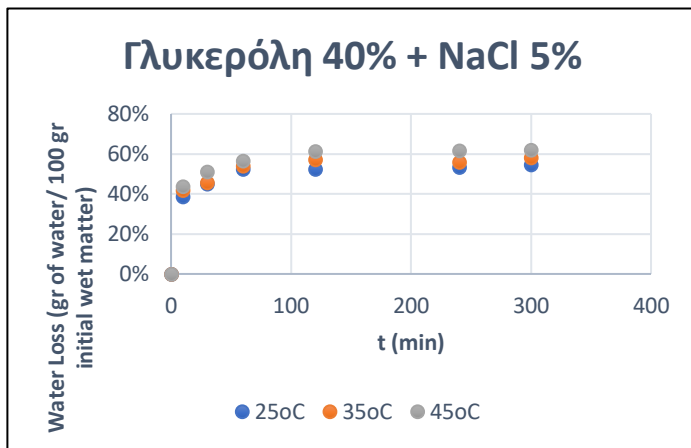
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές WL σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις συγκεντρώσεις και τις τρεις θερμοκρασίες, αλλά και οι ευθείες που προκύπτουν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου Azuaga στα πειραματικά δεδομένα.



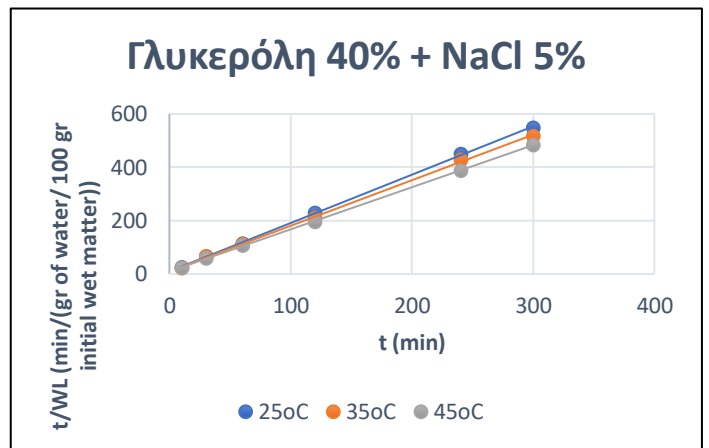
Διάγραμμα 1: Απώλεια νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



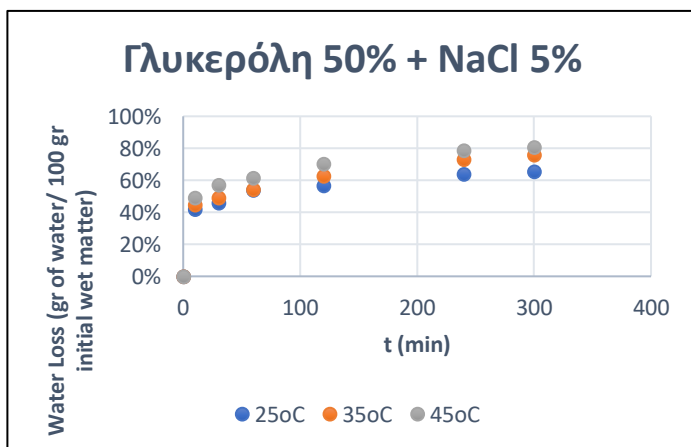
Διάγραμμα 2: Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



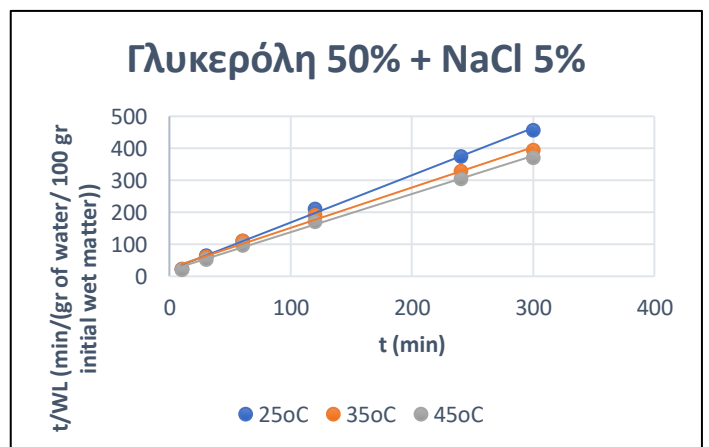
Διάγραμμα 3: Απώλεια νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 4: Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 5: Απώλεια νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 6: Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.

Στα διαγράμματα 1, 3 και 5 και για όλες τις θερμοκρασίες παρατηρούμε πως το WL αυξήθηκε με την αύξηση του χρόνου εμβάπτισης για όλες τις συγκεντρώσεις και όλες τις θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε πως το WL αυξήθηκε αρκετά μέχρι τα πρώτα 120 λεπτά της ωσμωτικής αφυδάτωσης ενώ για μεγαλύτερο διάστημα το σύστημα δείχνει να εξισορροπείται. Ακόμη, παρατηρούμε ταχεία απομάκρυνση νερού από τα πρώτα κιόλας 10 λεπτά, φαινόμενο που έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές για την ωσμωτική αφυδάτωση σε μανιτάρια [95].

Από τα πειραματικά σημεία στα διαγράμματα απώλειας νερού – χρόνου μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί την ωσμωτική αφυδάτωση. Για τις τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης και για όλους τους χρόνους εμβάπτισης βλέπουμε πως επιτεύχθηκε μεγαλύτερη απώλεια νερού στους 45°C, έπειτα στους 35°C και ακολούθως στους 25°C, όπως παρατηρείται στον Πίνακα 3. Αυτό ίσως έχει να κάνει με τη διόγκωση και την πλαστικοποίηση των μεμβρανών κατά την έκθεση τους σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και με τη μείωση στην αντίσταση μεταφοράς της μάζας.

Πίνακας 3: Μέγιστες τιμές απώλειας νερού στα μανιτάρια Lentinula για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	51.7%	54.7%	65.6%
35	54.5%	58.1%	75.9%
45	60.6%	62.1%	80.7%

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε πως εκτός από τη θερμοκρασία, σημαντικό ρόλο έπαιξε και η συγκέντρωση της γλυκερόλης στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Μάλιστα, παρατηρείται εκτόξευση των μέγιστων τιμών WL όταν η συγκέντρωση της γλυκερόλης φτάνει στο 50%.

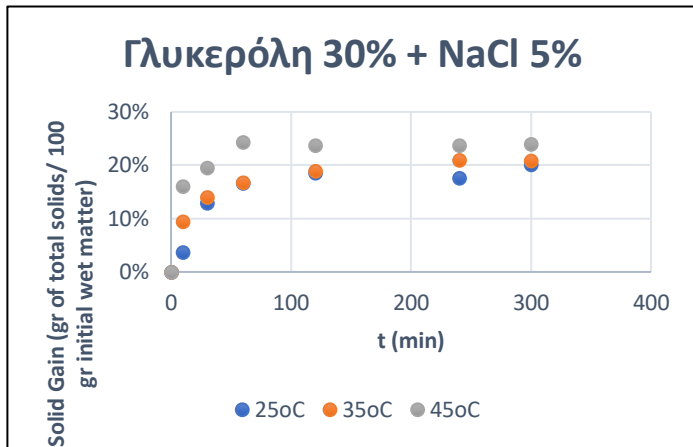
Στον Πίνακα 4 παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το μοντέλο Azuaga και οι τιμές ισορροπίας που προβλέπει το μοντέλο.

Πίνακας 4: Οι τιμές των μεταβλητών Azuaga και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την απώλεια νερού στα μανιτάρια Lentinula.

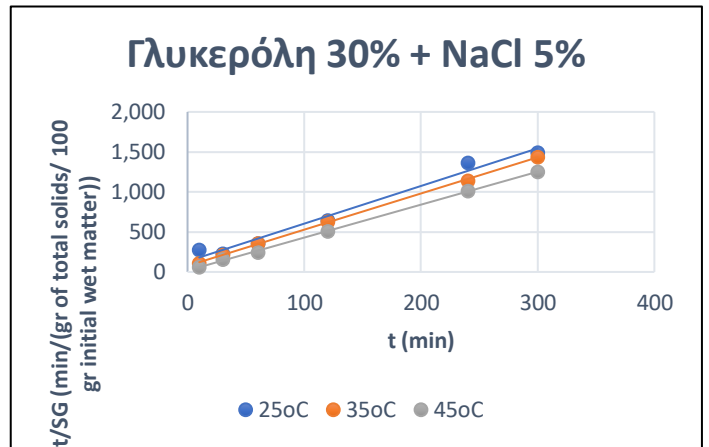
Συγκέντρωση γλυκερόλης % (w/w)	Θερμοκρασία	WL _∞	S ₁	R ²
30%	25°C	53.3%	0.092	0.999
30%	35°C	55.7%	0.099	0.999
30%	45°C	60.9%	0.101	0.998
40%	25°C	55.2%	0.190	1.000
40%	35°C	58.5%	0.178	0.999
40%	45°C	63.3%	0.171	1.000
50%	25°C	67.7%	0.072	0.998
50%	35°C	79.4%	0.049	0.994
50%	45°C	83.8%	0.064	0.997

8.1.2.2. Πρόσληψη στερεών

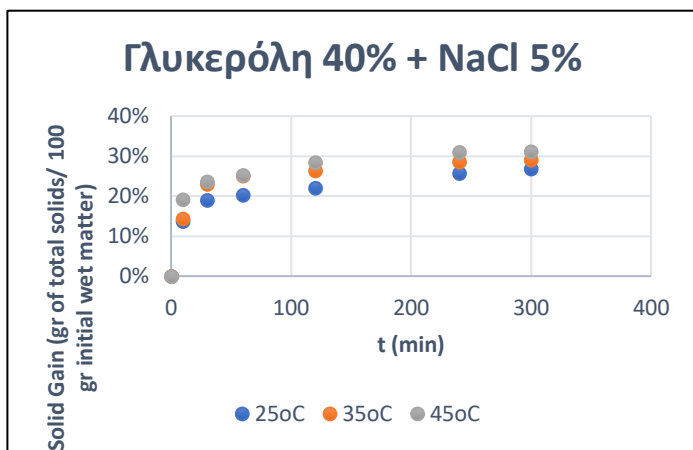
Για να ποσοτικοποιηθεί η πρόσληψη στερεών για κάθε συγκέντρωση, θερμοκρασία και χρόνο εμβάπτισης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (6.4), δηλαδή υπολογίστηκε το μέγεθος SG σε υγρή βάση. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές SG σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις συγκεντρώσεις και τις τρεις θερμοκρασίες, αλλά και οι ευθείες που προκύπτουν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου Azuaga στα πειραματικά δεδομένα.



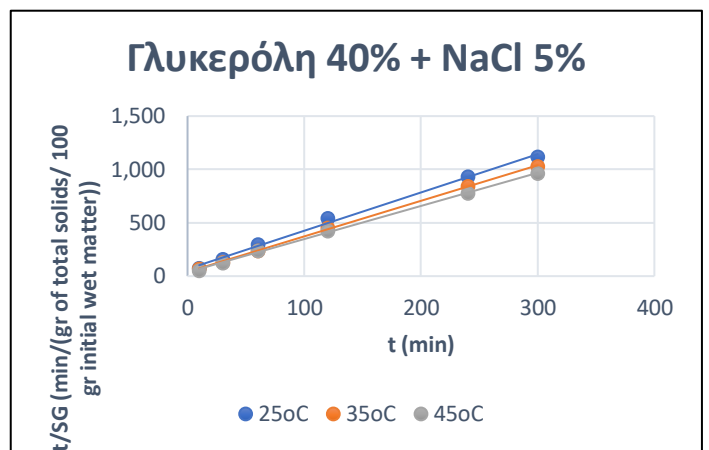
Διάγραμμα 7: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



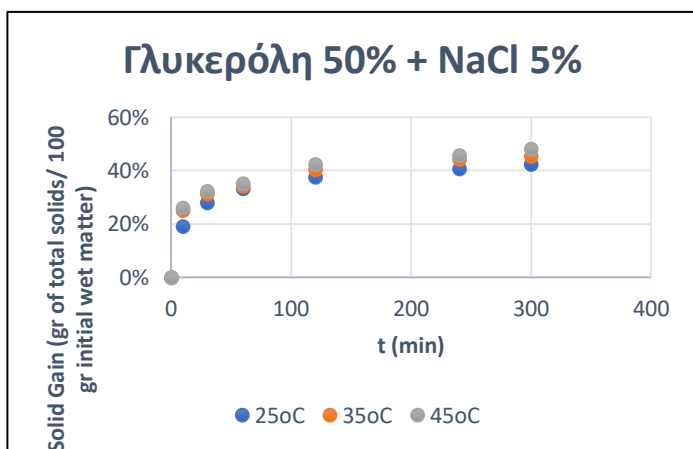
Διάγραμμα 8: Ευθείες Αζωαγα για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



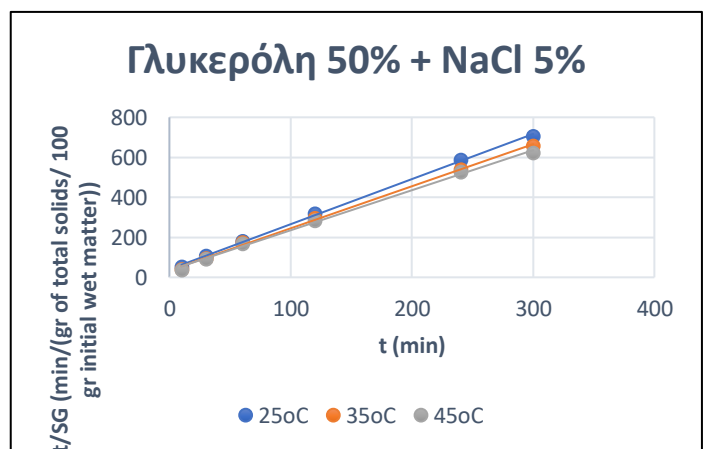
Διάγραμμα 9: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 10: Ευθείες Αζωαγα για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 11: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 12: Ευθείες Αζωαγα για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.

Στα διαγράμματα 7, 9 και 11 και για όλες τις θερμοκρασίες συναντάμε το ίδιο φαινόμενο που παρατηρήθηκε και για την απώλεια νερού. Το SG αυξάνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια των πρώτων 120 λεπτών της ωσμωτικής αφυδάτωσης, και στη συνέχεια τείνει να σταθεροποιηθεί. Παρατηρείται επίσης η γενική σταδιακή αύξηση του SG με την αύξηση του χρόνου εμβάπτισης.

Από τα πειραματικά σημεία στα διαγράμματα πρόσληψης στερεών – χρόνου συμπεραίνουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί το φαινόμενο μεταφοράς της διαλυμένης ουσίας στο μανιτάρι. Ωστόσο, η σύγκριση των μέγιστων τιμών SG για τις τρεις θερμοκρασίες και τις τρεις συγκεντρώσεις δείχνει μεγαλύτερη επιρροή της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στην πρόσληψη στερεών από αυτή της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, οι διαφορές στη μέγιστη τιμή SG ανάμεσα στις τρεις θερμοκρασίες είναι της τάξης του 3-4% για όλες τις συγκεντρώσεις, ενώ οι διαφορές στη μέγιστη τιμή SG ανάμεσα στις τρεις συγκεντρώσεις γλυκερόλης φτάνει μέχρι και το 17%. Όπως συνέβη και με το WL παρατηρούμε εκτόξευση του SG όταν η συγκέντρωση της γλυκερόλης ανέρχεται στο 50%.

Πίνακας 5: Μέγιστες τιμές πρόσληψης στερεών στα μανιτάρια *Lentinula* για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	20.1%	26.8%	42.4%
35	20.8%	29.1%	45.5%
45	24.0%	31.1%	48.2%

Στον Πίνακα 6 παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το μοντέλο Azuaga και οι τιμές ισορροπίας που προβλέπει το μοντέλο.

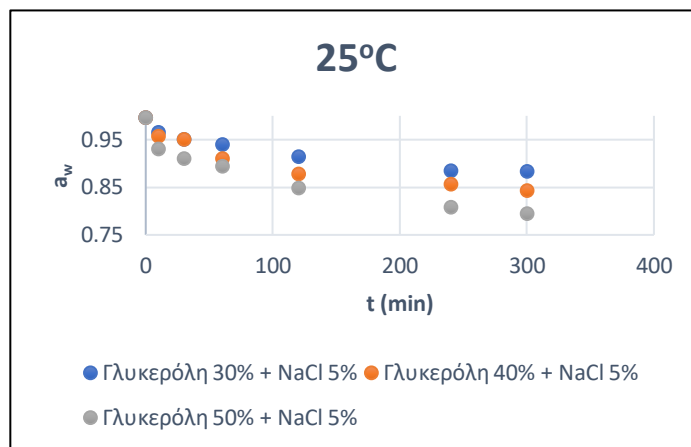
Πίνακας 6: Οι τιμές των μεταβλητών Azuaga και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την πρόσληψη στερεών στα μανιτάρια *Lentinula*.

Συγκέντρωση γλυκερόλης % (w/w)	Θερμοκρασία	SG_{∞}	S_2	R^2
30%	25°C	21.3%	0.035	0.982
30%	35°C	22.1%	0.059	0.999
30%	45°C	24.3%	0.233	1.000
40%	25°C	27.9%	0.054	0.995
40%	35°C	30.0%	0.085	0.999
40%	45°C	32.2%	0.084	0.999
50%	25°C	44.3%	0.056	0.999
50%	35°C	47.5%	0.061	0.998
50%	45°C	49.9%	0.057	0.997

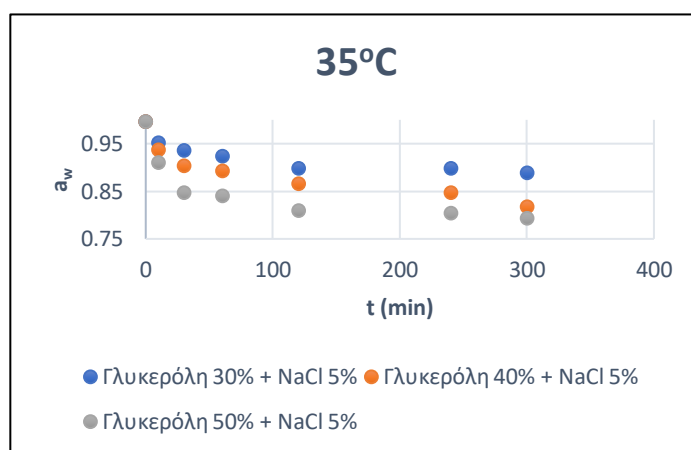
8.1.3. Ενεργότητα νερού

Η αρχική ενεργότητα νερού για τα φρέσκα δείγματα μανιταριού *Lentinula* που έπειτα υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση μετρήθηκε και το εύρος των τιμών για τα διάφορα δείγματα ήταν 0.9932 – 0.9918.

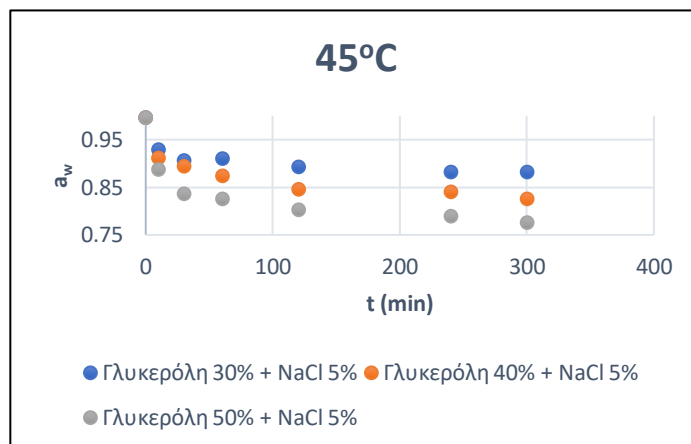
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές σχετικής υγρασίας (a_w) σε συνάρτηση με το χρόνο για όλες τις πειραματικές συνθήκες. Επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα παρακάτω διαγράμματα, όπου η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, ενώ η συγκέντρωση του διαλύματος μεταβάλλεται, διότι από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται πως η συγκέντρωση της γλυκερόλης είχε σημαντικότερη επίδραση από ότι η θερμοκρασία στο φαινόμενο της ωσμωτικής αφυδάτωσης.



Διάγραμμα 13: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 25 °C.



Διάγραμμα 14: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 35 °C.



Διάγραμμα 15: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 45 °C.

Η ενεργότητα νερού δείχνει εμφανή μείωση παράλληλα με την αύξηση του χρόνου εμφάνισης των μανιταριών στα ωσμωτικά διαλύματα όλων των συγκεντρώσεων και όλων των θερμοκρασιών, όπως ήταν αναμενόμενο, με τις τιμές a_w να τείνουν προς σταθεροποίηση μετά τα πρώτα 120 λεπτά ωσμωτικής αφυδάτωσης. Όπως συνέβη και με τις τιμές WL, παρατηρείται ταχεία μείωση της ενεργότητας νερού από τα πρώτα κιόλας 10 λεπτά εμφάνισης.

Αντίστοιχα, παρατηρείται μείωση της ενεργότητας νερού ταυτόχρονα με την αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης. Η επίδραση της γλυκερόλης φαίνεται να είναι σαφώς πιο σημαντική από την επίδραση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τον Πίνακα 7. Αυτό δε μας κάνει εντύπωση καθώς έρχεται σε σύμπτωση με τα αποτελέσματα σχετικά με την απώλεια νερού από το μανιτάρι.

Πίνακας 7:Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας στα μανιτάρια *Lentinula* για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	0.8841	0.8428	0.7952
35	0.8838	0.8372	0.7940
45	0.8826	0.8261	0.7761

Οι τελικές τιμές της a_w κυμαίνονται από 0.8826 μέχρι 0.7761, τιμές που συμφωνούν με τη βιβλιογραφία σχετικά με την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριών. Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση δεν οδήγησε σε μικροβιολογικά σταθερά προϊόντα [75], αφού σε ενεργότητα νερού εύρους 0.75-0.85 αποτρέπεται η βακτηριακή ανάπτυξη, αλλά όχι και η μυκητιακή [96].

8.2. Λεμόνια

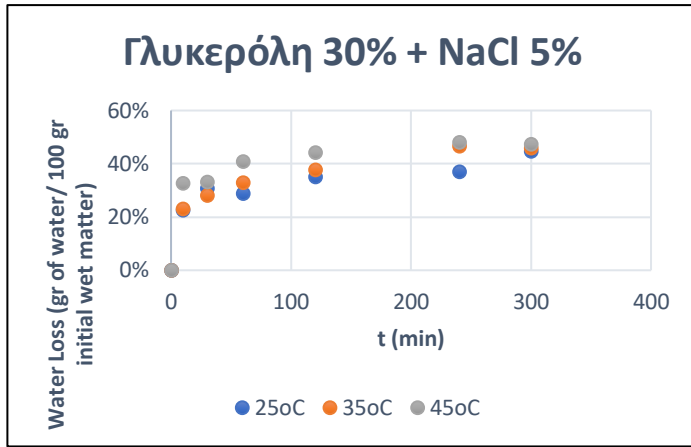
8.2.1. Αρχική υγρασία

Το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας επί υγρής βάσης υπολογίστηκε από την εξίσωση (8.1) και για τα λεμόνια το εύρος των τιμών ήταν 87.9% - 90.2%, τιμές οι οποίες συμφωνούν με τη βιβλιογραφία [97].

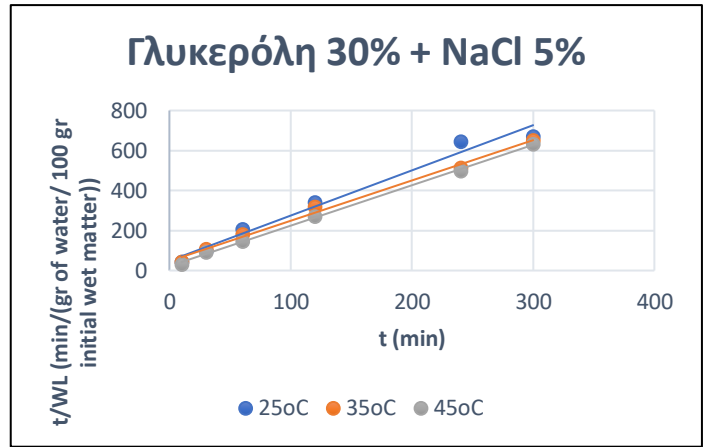
8.2.2. Ωσμωτική αφυδάτωση

8.2.2.1. Απώλεια νερού

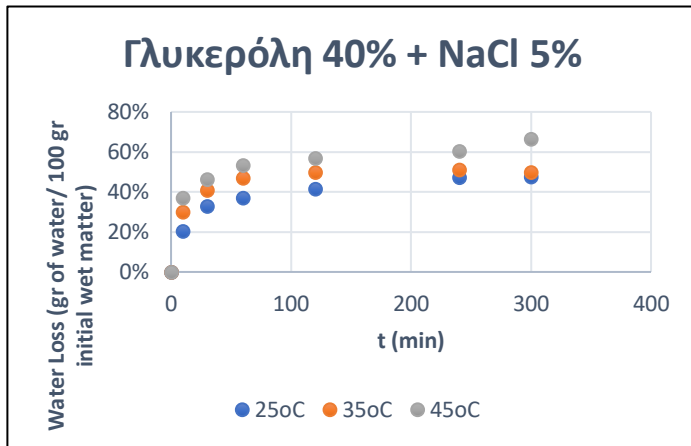
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές WL σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις συγκεντρώσεις και τις τρεις θερμοκρασίες, αλλά και οι ευθείες που προκύπτουν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου Azuaga στα πειραματικά δεδομένα.



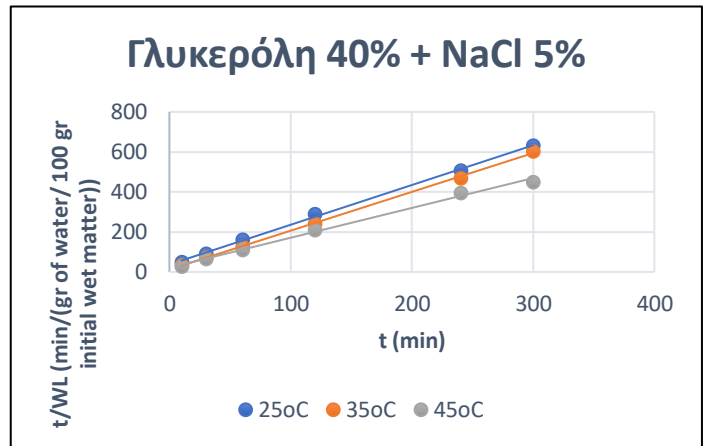
Διάγραμμα 16:Απώλεια νερού συναρτήσεϊ του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



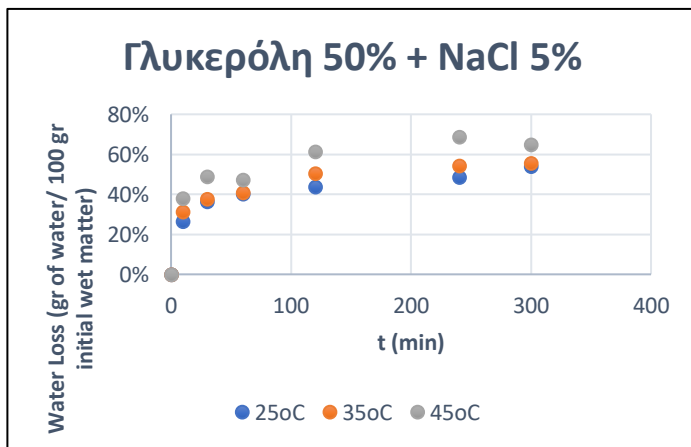
Διάγραμμα 17:Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



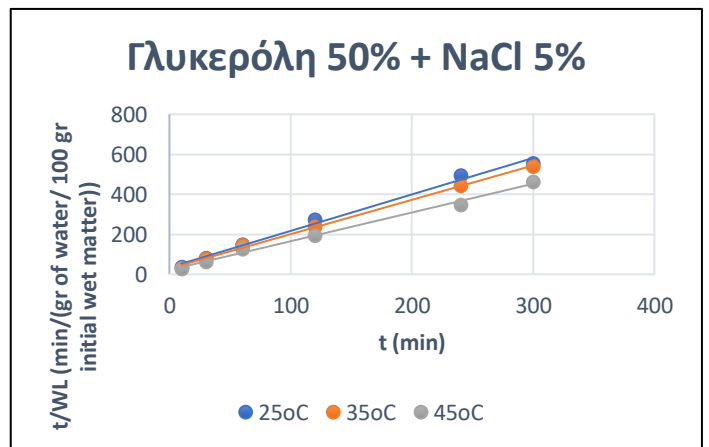
Διάγραμμα 18:Απώλεια νερού συναρτήσεϊ του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 19:Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 20:Απώλεια νερού συναρτήσεϊ του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 21:Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.

Μελετώντας τα διαγράμματα 16, 18 και 20 συμπεραίνουμε πως η αύξηση του χρόνου εμφύπτισης ευνοεί την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού. Σε όλες τις πειραματικές συνθήκες οι τιμές του WL αυξάνονται με το χρόνο, με εξαίρεση λιγοστά σημεία, τα οποία εκφράζουν υψηλότερο WL σε σχέση με τον αμέσως μετά μεγαλύτερο χρόνο, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται σε σφάλμα κατά τη ζύγιση ή το στέγνωμα του δείγματος μετά την ωσμωτική αφυδάτωση.

Όπως συνέβη και με ταμανιτάρια παρατηρείται μεγάλη αύξηση του WL στο αρχικό στάδιο της διεργασίας, ενώ μετά από αυτό το σύστημα τείνει να ισορροπήσει. Για τις περισσότερες πειραματικές συνθήκες η τάση προς ισορροπία παρατηρείται μετά από τα πρώτα 120 λεπτά ενώ για τη συγκέντρωση γλυκερόλης 40% στους 35°C οι τιμές τείνουν να εξισορροπηθούν από τα πρώτα 60 λεπτά.

Πίνακας 8: Μέγιστες τιμές απώλειας νερού στα λεμόνια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	44.7%	47.5%	54.0%
35	46.0%	49.8%	55.6%
45	47.5%	66.5%	64.8%

Με βάση τον πίνακα 8 και σε συνδυασμό με τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε πως η θερμοκρασία είχε αισθητή επίδραση μόνο όταν έφτασε στους 45 °C και μόνο για τις 2 υψηλότερες συγκεντρώσεις γλυκερόλης (40% και 50%). Επίσης, η επίδραση της συγκέντρωσης στο ρυθμό αύξησης του WL είναι μεγαλύτερη από αυτή της θερμοκρασίας και η διαφορά στις μέγιστες τιμές WL κατά την αύξηση της συγκέντρωσης από 30% σε 50% και για τις τρεις θερμοκρασίες, κυμαίνεται στο 10 – 17% .

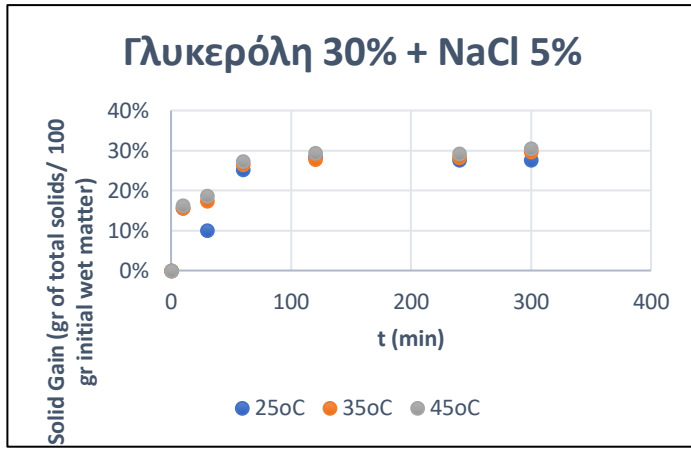
Στον Πίνακα 9 παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το μοντέλο Azuaga και οι τιμές ισορροπίας που προβλέπει το μοντέλο.

Πίνακας 9: Οι τιμές των μεταβλητών Azuaga και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την απώλεια νερού στα λεμόνια.

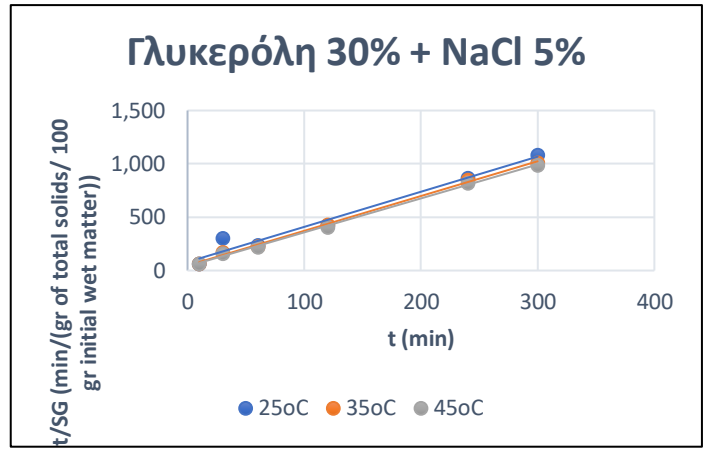
Συγκέντρωση γλυκερόλης % (w/w)	Θερμοκρασία	WL _∞	S ₁	R ²
30%	25°C	44.3%	0.046	0.978
30%	35°C	49.6%	0.043	0.993
30%	45°C	49.5%	0.091	0.999
40%	25°C	50.3%	0.054	0.999
40%	35°C	51.5%	0.161	0.999
40%	45°C	67.1%	0.069	0.995
50%	25°C	54.9%	0.052	0.992
50%	35°C	58.2%	0.059	0.998
50%	45°C	69.6%	0.066	0.994

8.2.2.2. Πρόσληψη στερεών

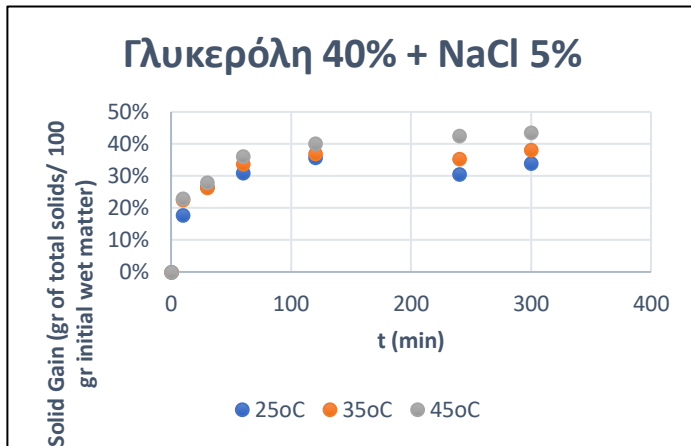
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές SG σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις συγκεντρώσεις και τις τρεις θερμοκρασίες, αλλά και οι ευθείες που προκύπτουν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου Azuaga στα πειραματικά δεδομένα.



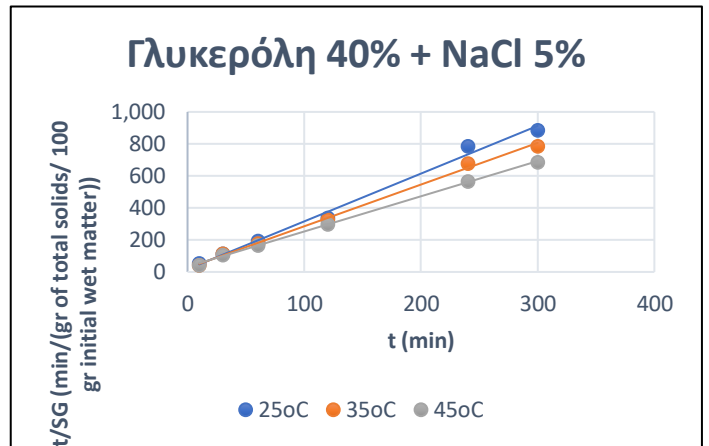
Διάγραμμα 22: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



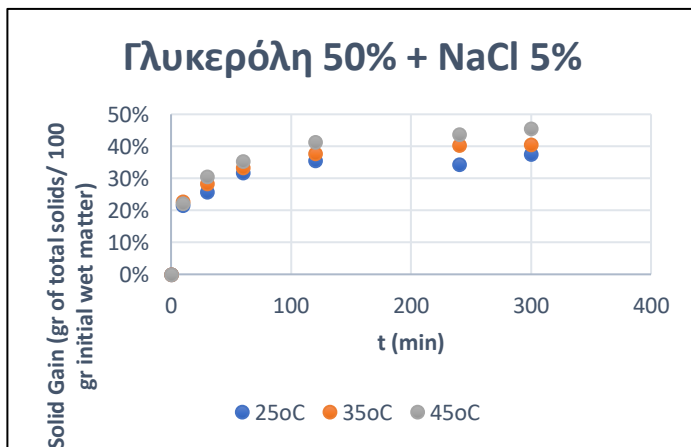
Διάγραμμα 23: Ευθείες Azuara για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



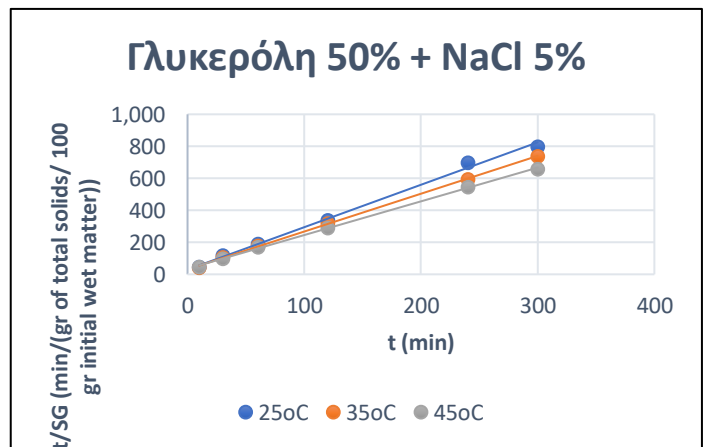
Διάγραμμα 24: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 25: Ευθείες Azuara για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 26: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 27: Ευθείες Azuara για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.

Στα λεμόνια παρατηρείται επίσης αύξηση των τιμών SG παράλληλα με την αύξηση του χρόνου, με κάποιες λιγοστές εξαιρέσεις οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε σφάλμα. Το πλατό στις τιμές SG αρχίζει να σχηματίζεται από τα 120 λεπτά και μετά, όπως συνέβη και με τις τιμές WL, οδηγώντας μας στο συμπέρασμα πως το αρχικό στάδιο της ωσμωτικής αφυδάτωσης διήρκησε περίπου δύο ώρες.

Πίνακας 10: Μέγιστες τιμές πρόσληψης στερεών στα λεμόνια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	27.6%	33.9%	37.5%
35	29.6%	38.1%	40.6%
45	30.4%	43.6%	45.6%

Από τα διαγράμματα 22, 24 και 26 και από τον πίνακα 12 στον οποίο είναι συγκεντρωμένες οι μέγιστες τιμές SG που επιτεύχθηκαν στις 5 ώρες εμβάπτισης στο ωσμωτικό διάλυμα, παρατηρούνται τα εξής: η θερμοκρασία έπαιξε μικρό αλλά αισθητό ρόλο στην αύξηση της πρόσληψης στερεών, και κυρίως στα διαλύματα με συγκέντρωση γλυκερόλης 40% και 50% όπου οι τιμές του SG αυξήθηκαν κατά 8 - 10% κατά την αύξηση της θερμοκρασίας από 25 °C σε 45 °C. Αντίθετα, η επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης ήταν μεγαλύτερη, και εντοπίζεται κυρίως στην αύξηση της συγκέντρωσης από 30% σε 40% σε αντίθεση με τα μανιτάρια όπου η διαφορά στις μέγιστες τιμές εντοπίστηκε κυρίως στην αύξηση της συγκέντρωσης από 40% σε 50%.

Στον Πίνακα 11 παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το μοντέλο Azuaga και οι τιμές ισορροπίας που προβλέπει το μοντέλο.

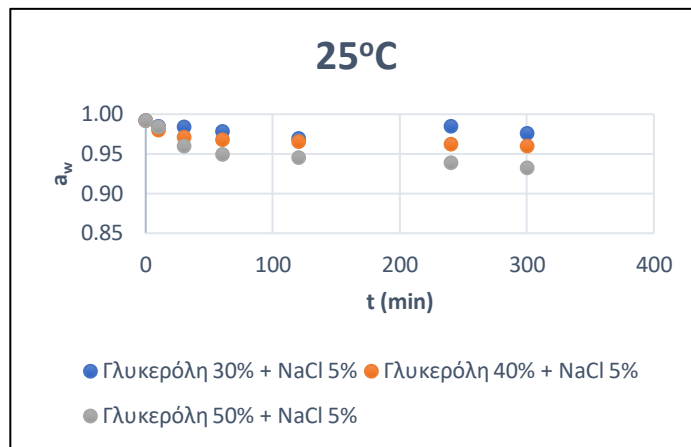
Πίνακας 11: Οι τιμές των μεταβλητών Azuaga και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την πρόσληψη στερεών στα λεμόνια.

Συγκέντρωση γλυκερόλης % (w/w)	Θερμοκρασία	SG_{∞}	S_2	R^2
30%	25°C	30.4%	0.041	0.972
30%	35°C	30.7%	0.071	0.998
30%	45°C	31.4%	0.080	0.998
40%	25°C	33.5%	0.171	0.992
40%	35°C	38.4%	0.107	0.997
40%	45°C	45.5%	0.067	0.999
50%	25°C	37.7%	0.090	0.996
50%	35°C	42.3%	0.076	1.000
50%	45°C	47.5%	0.061	0.999

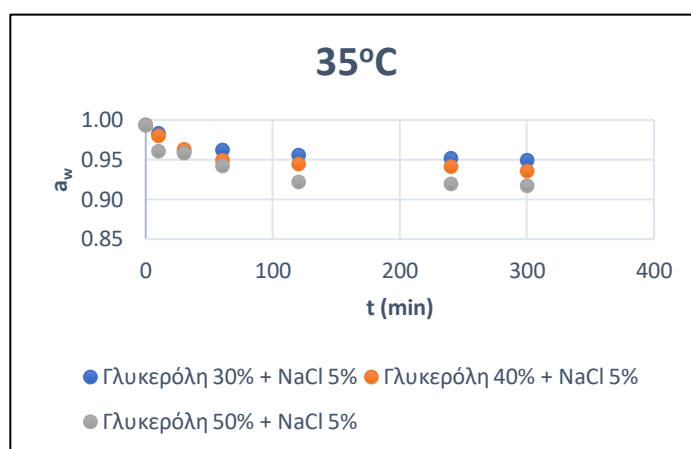
8.2.3. Ενεργότητα νερού

Η αρχική ενεργότητα νερού για τα φρέσκα δείγματα λεμονιού που έπειτα υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση μετρήθηκε και το εύρος των τιμών για τα διάφορα δείγματα ήταν 0.9920 – 0.9943.

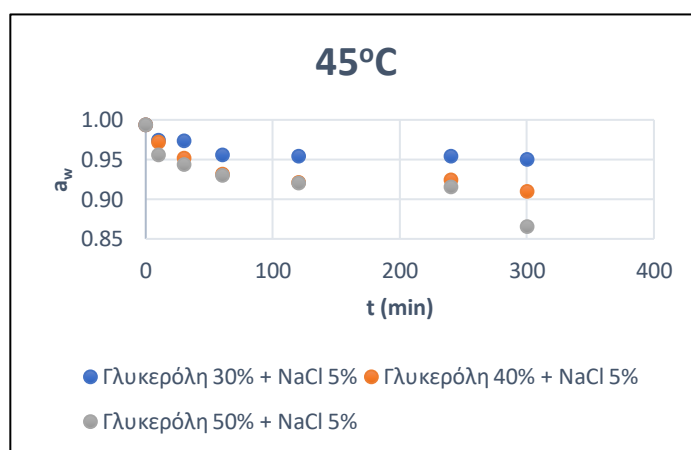
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές σχετικής υγρασίας (a_w) σε συνάρτηση με το χρόνο για όλες τις πειραματικές συνθήκες. Και σε αυτή την περίπτωση επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα διαγράμματα σταθερής θερμοκρασίας και μεταβλητής συγκέντρωσης αφού οι διαφορές στις τιμές a_w ήταν πιο εμφανείς από τα αντίστοιχα διαγράμματα σταθερής συγκέντρωσης και μεταβλητής θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 28: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 25 °C.



Διάγραμμα 29: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 35 °C.



Διάγραμμα 30: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 45 °C.

Παρατηρείται μείωση στις τιμές ενεργότητας νερού παράλληλα με την αύξηση του χρόνου εμφάνισης των λεμονιών στα ωσμωτικά διαλύματα όλων των συγκεντρώσεων και όλων των θερμοκρασιών, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με τις αναφορές και άλλων ερευνητών στη βιβλιογραφία. Η μεγαλύτερη πτώση των τιμών επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια των πρώτων 120 λεπτών της διαδικασίας ενώ μετά οι τιμές τείνουν να σταθεροποιηθούν για τους 25 °C και τους 35 °C, ενώ στους 45 °C υπάρχει εμφανής μείωση στα 300 λεπτά για τις συγκεντρώσεις 40% και 50%.

Από τα παραπάνω διαγράμματα αλλά και από τον πίνακα 12 φαίνεται η μείωση της ενεργότητας νερού παράλληλα με τη μείωση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης, και μάλιστα σε παρόμοια επίπεδα.

Πίνακας 12:Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας στα λεμόνια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	0.9763	0.9599	0.9323
35	0.9506	0.9359	0.9175
45	0.9497	0.9102	0.8655

Οι τελικές τιμές της a_w κυμαίνονται από 0.9497 μέχρι 0.8655, γεγονός που δείχνει ότι η ωσμωτική αφυδάτωση δεν οδήγησε σε μικροβιολογικά σταθερά προϊόντα.

8.3. Πορτοκάλια

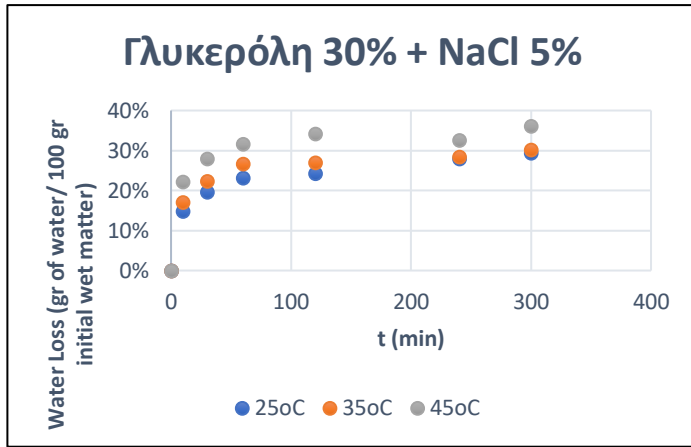
8.3.1. Αρχική υγρασία

Το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας επί υγρής βάσης υπολογίστηκε από την εξίσωση (8.1) και για τα πορτοκάλια το εύρος των τιμών ήταν 84.3%- 89.1%, τιμές που συμφωνούν με την αντίστοιχη βιβλιογραφία [98].

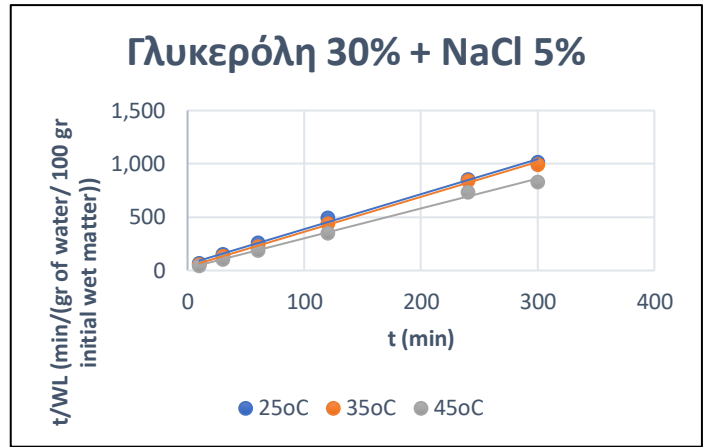
8.3.2. Ωσμωτική αφυδάτωση

8.3.2.1. Απώλεια νερού

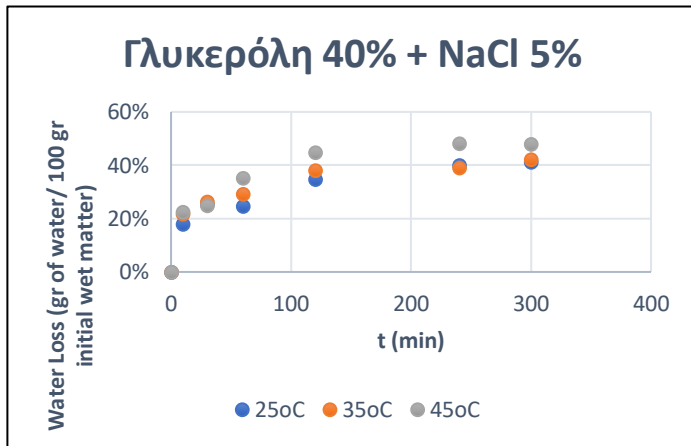
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές WL σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις συγκεντρώσεις και τις τρεις θερμοκρασίες, αλλά και οι ευθείες που προκύπτουν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου Azuaga στα πειραματικά δεδομένα.



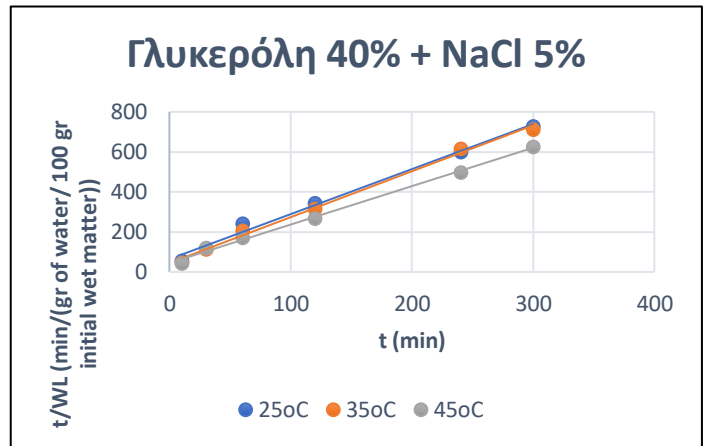
Διάγραμμα 31:Απώλεια νερού συναρτήσεϊ του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



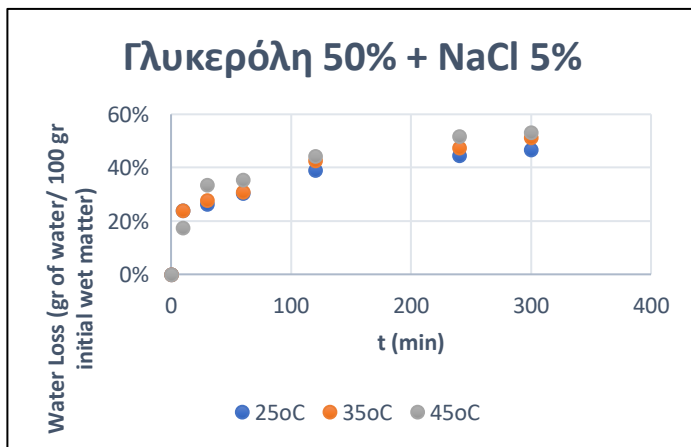
Διάγραμμα 32:Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



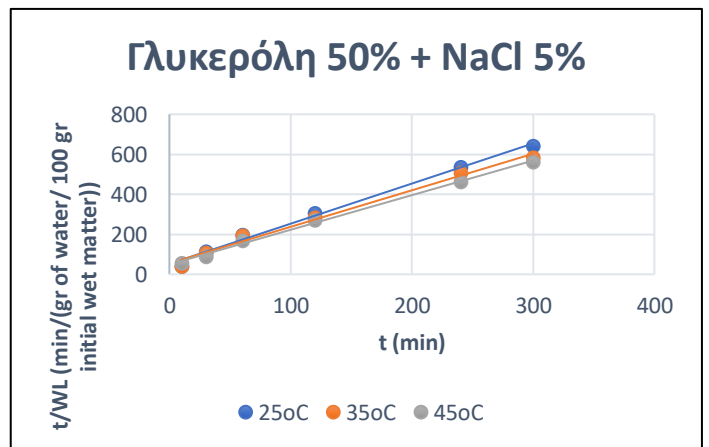
Διάγραμμα 33:Απώλεια νερού συναρτήσεϊ του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 34:Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 35:Απώλεια νερού συναρτήσεϊ του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.



Διάγραμμα 36:Ευθείες Αζωαγα για την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25°C, 35°C και 45°C.

Τα παραπάνω διαγράμματα υποδεικνύουν πως η αύξηση του χρόνου εμφάνισης ευνοεί την απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού, γεγονός που υποστηρίζεται από τη βιβλιογραφία. Σε όλες τις πειραματικές συνθήκες οι τιμές του WL αυξάνονται με το χρόνο, με εξαίρεση λιγοστά σημεία, τα οποία εκφράζουν υψηλότερο WL σε σχέση με τον αμέσως μετά μεγαλύτερο χρόνο, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται σε σφάλμα κατά τη ζύγιση ή το στέγνωμα του δείγματος μετά την ωσμωτική αφυδάτωση.

Όπως συνέβη και με τα μανιτάρια και τα λεμόνια, η μεγάλη αύξηση στις τιμές WL παρατηρείται από τα 10 μέχρι τα 120 λεπτά εμφάνισης, ενώ αργότερα και μέχρι τα 300 λεπτά, το σύστημα τείνει να εξισορροπηθεί και τα διαγράμματα παρουσιάζουν πλατό.

Πίνακας 13: Μέγιστες τιμές απώλειας νερού στα πορτοκάλια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	29.4%	41.1%	46.8%
35	30.1%	42.0%	51.4%
45	36.1%	47.9%	53.3%

Με βάση τον πίνακα 13 όπου συγκεντρώνονται οι μέγιστες τιμές WL που αντιστοιχούν στις 5 ώρες εμφάνισης, και σε συνδυασμό με τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε πως η αυξημένη θερμοκρασία ευνοεί την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιών, με τη μεγαλύτερη αύξηση στις τιμές να αφορά τους 45 °C. Ωστόσο, η επίδραση που έχει η συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να είναι μεγαλύτερη, αφού η διαφορά στις μέγιστες τιμές WL των τριών διαλυμάτων είναι αρκετά μεγάλη και στις τρεις θερμοκρασίες και φτάνει μέχρι το 21.3%.

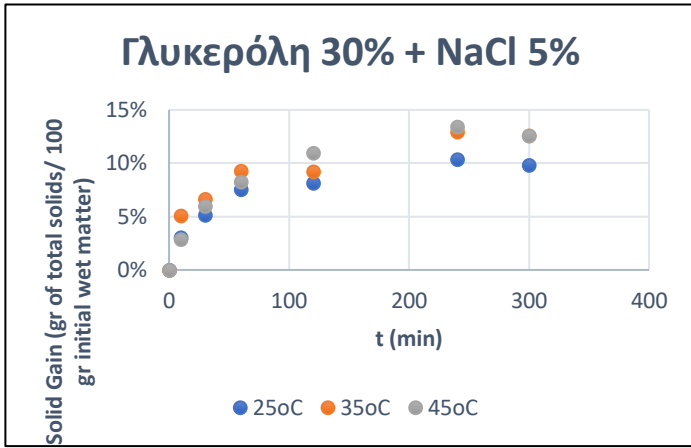
Στον Πίνακα 14 παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το μοντέλο Azuaga και οι τιμές ισορροπίας που προβλέπει το μοντέλο.

Πίνακας 14: Οι τιμές των μεταβλητών Azuaga και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την απώλεια νερού στα πορτοκάλια.

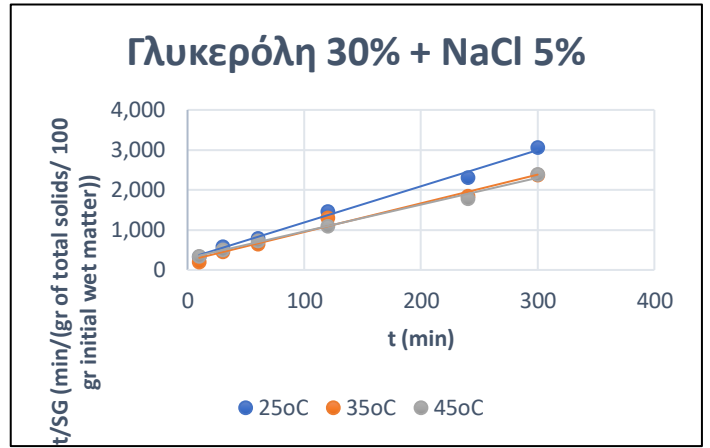
Συγκέντρωση γλυκερόλης % (w/w)	Θερμοκρασία	WL _∞	S ₁	R ²
30%	25°C	30.5%	0.055	0.996
30%	35°C	30.5%	0.093	0.998
30%	45°C	35.7%	0.126	0.995
40%	25°C	44.5%	0.035	0.991
40%	35°C	43.6%	0.052	0.995
40%	45°C	52.1%	0.043	0.996
50%	25°C	49.8%	0.038	0.993
50%	35°C	54.8%	0.033	0.989
50%	45°C	57.8%	0.035	0.997

8.3.2.2. Πρόσληψη στερεών

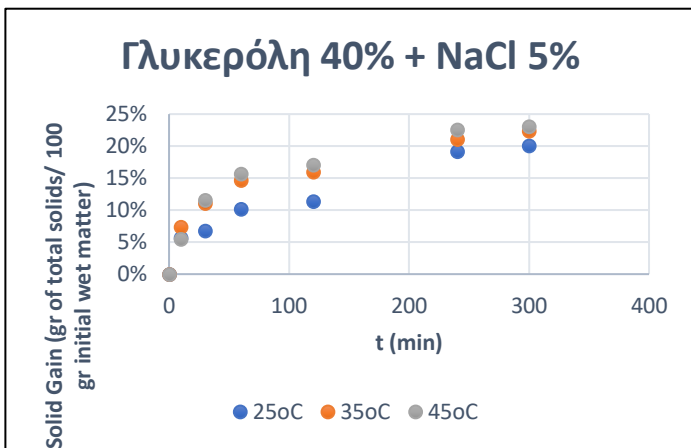
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές SG σε συνάρτηση με το χρόνο για τις τρεις συγκεντρώσεις και τις τρεις θερμοκρασίες, αλλά και οι ευθείες που προκύπτουν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου Azuaga στα πειραματικά δεδομένα.



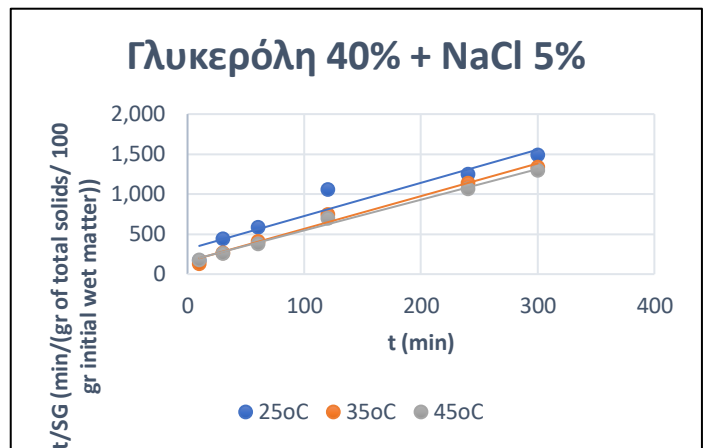
Διάγραμμα 37: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25oC, 35oC και 45oC.



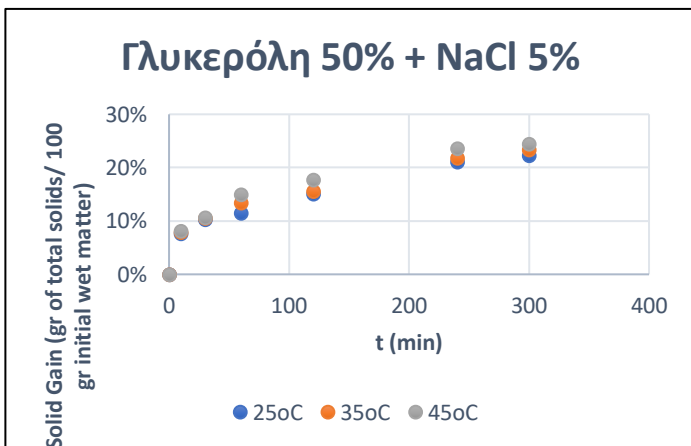
Διάγραμμα 38: Ευθείες Αζωαγα για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25oC, 35oC και 45oC.



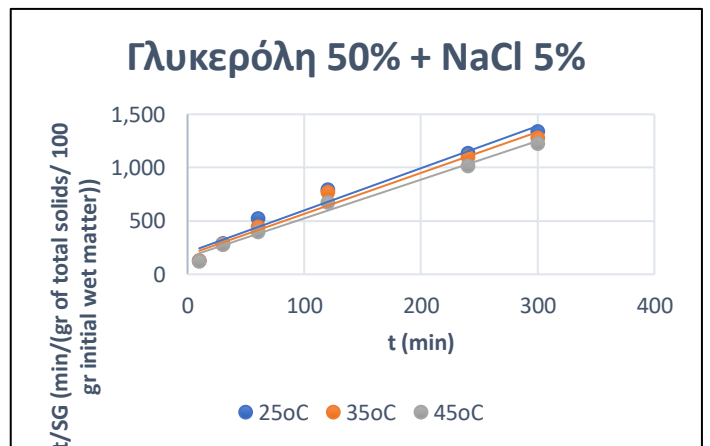
Διάγραμμα 39: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25oC, 35oC και 45oC.



Διάγραμμα 40: Ευθείες Αζωαγα για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (40%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25oC, 35oC και 45oC.



Διάγραμμα 41: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25oC, 35oC και 45oC.



Διάγραμμα 42: Ευθείες Αζωαγα για την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασίες 25oC, 35oC και 45oC.

Παρατηρείται εμφανής σχέση ανάμεσα στην πρόσληψη στερεών και το χρόνο εμφάνισης για τα πορτοκάλια, καθώς οι τιμές SG αυξάνονται σταδιακά με το χρόνο. Συγκεκριμένα, η κύρια αύξηση των τιμών εντοπίζεται στα πρώτα 120 λεπτά, ενώ από τα 240 λεπτά και μετά οι τιμές τείνουν να σταθεροποιηθούν.

Πίνακας 15:Μέγιστες τιμές πρόσληψης στερεών νερού στα πορτοκάλια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	9.8%	20%	22.3%
35	12.6%	22.4%	23.4%
45	12.6%	23.1%	24.5%

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα και τον Πίνακα 15, η επίδραση της θερμοκρασίας δε φαίνεται να είναι σημαντική. Κάτι τέτοιο έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές οι οποίοι υποστήριξαν πως η διαλυμένη ουσία δε διαχέεται τόσο εύκολα όσο το νερό σε αυξημένες θερμοκρασίες. Αντίθετα, η συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα έπαιξε σημαντικότερο ρόλο στο φαινόμενο της πρόσληψης στερεών, αφού οι μέγιστες τιμές SG διπλασιάστηκαν όταν η συγκέντρωση αυξήθηκε από 30% σε 50%.

Στον Πίνακα 16 παρατίθενται στοιχεία σχετικά με το μοντέλο Azuaga και οι τιμές ισορροπίας που προβλέπει το μοντέλο.

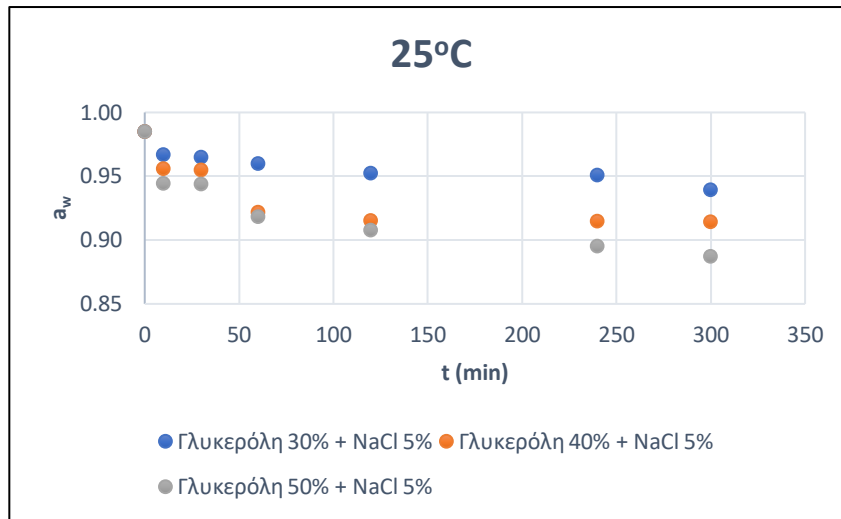
Πίνακας 16:Οι τιμές των μεταβλητών Azuaga και ο συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου για την πρόσληψη στερεών στα πορτοκάλια.

Συγκέντρωση γλυκερόλης % (w/w)	Θερμοκρασία	SG_{∞}	S_2	R^2
30%	25°C	11.1%	0.032	0.994
30%	35°C	13.9%	0.031	0.982
30%	45°C	14.9%	0.023	0.993
40%	25°C	24.1%	0.013	0.923
40%	35°C	24.5%	0.026	0.986
40%	45°C	26.1%	0.023	0.992
50%	25°C	25.3%	0.019	0.967
50%	35°C	26.0%	0.021	0.973
50%	45°C	27.6%	0.022	0.986

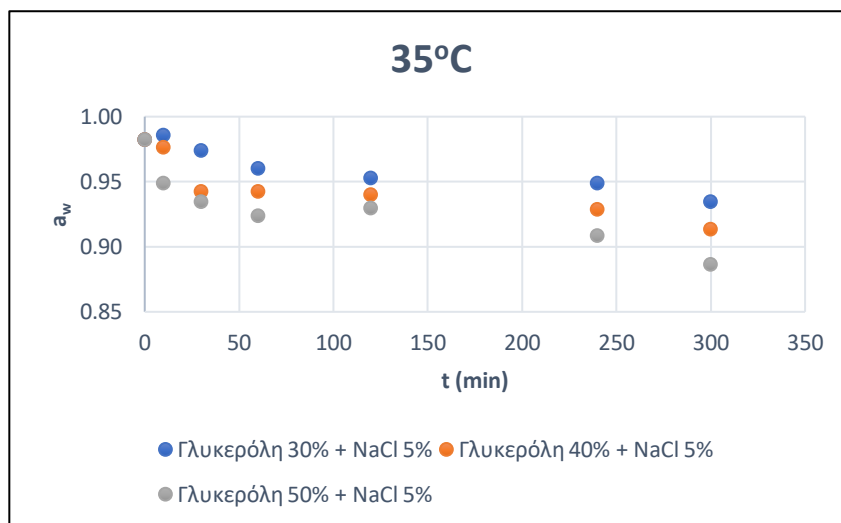
8.3.3. Ενεργότητα νερού

Η αρχική ενεργότητα νερού για τα φρέσκα δείγματα πορτοκαλιού που έπειτα υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση μετρήθηκε και το εύρος των τιμών για τα διάφορα δείγματα ήταν 0.9910 – 0.9853.

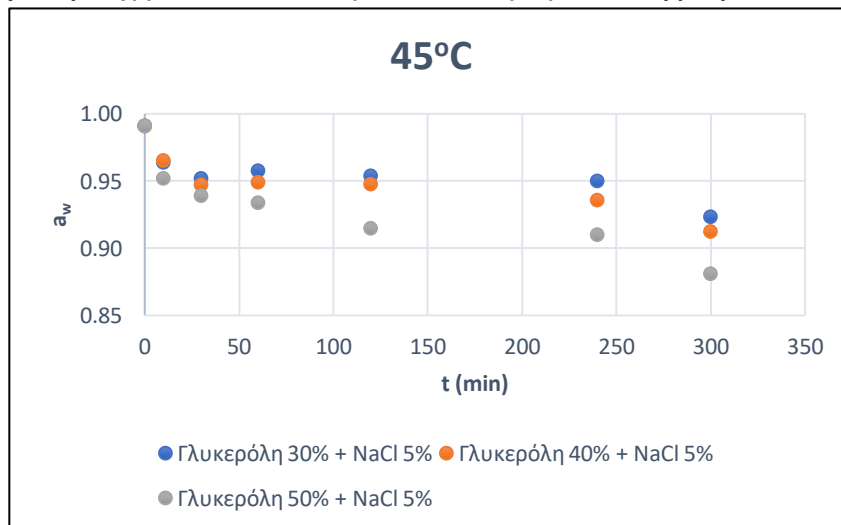
Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές σχετικής υγρασίας (α_w) σε συνάρτηση με το χρόνο για όλες τις πειραματικές συνθήκες. Και στην περίπτωση των πορτοκαλιών θεωρήθηκε ορθότερο να παρουσιαστούν τα διαγράμματα σταθερής θερμοκρασίας και μεταβλητής συγκέντρωσης καθώς οι παραπάνω κινητικές δείχνουν πως η συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα είχε σημαντικότερη επίδραση στην απώλεια νερού από ότι η θερμοκρασία του διαλύματος.



Διάγραμμα 43: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 25 °C.



Διάγραμμα 44: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 35 °C.



Διάγραμμα 45: Ενεργότητα νερού συναρτήσει του χρόνου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού σε διάλυμα γλυκερόλης (30%, 40% και 50%) και αλατιού (5%) και σε θερμοκρασία 45 °C.

Παρατηρείται μείωση στις τιμές της ενεργότητας νερού παράλληλα με την αύξηση του χρόνου εμφάνισης των πορτοκαλιών στα ωσμωτικά διαλύματα όλων των συγκεντρώσεων και όλων των θερμοκρασιών, γεγονός που ήταν αναμενόμενο καθώς νερό απομακρύνεται σταθερά από το τρόφιμο για όσο χρόνο διαρκεί η ωσμωτική αφυδάτωση. Οι τιμές ενεργότητας νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πορτοκαλιών δείχνουν να μειώνονται αισθητά ακόμη και στα 300 λεπτά.

Τα παραπάνω διαγράμματα αλλά και ο Πίνακας 17 υποδεικνύουν πως η αύξηση της θερμοκρασίας είχε αμελητέο ρόλο στη μείωση της ενεργότητας νερού στο φρούτο, πράγμα που έρχεται σε αντίθεση με τη βιβλιογραφία όπου αναφέρεται μείωση της ενεργότητας με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αντίθετα, παρατηρείται σημαντική μείωση των τιμών με την αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στα ωσμωτικά διαλύματα και αυτό φαίνεται και από τις ελάχιστες τιμές a_w που επιτεύχθηκαν για διάρκεια εμφάνισης 300 λεπτών.

Πίνακας 17:Ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας στα πορτοκάλια για τις τρεις συγκεντρώσεις και στις τρεις θερμοκρασίες για συνολικό χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 5 ωρών.

Θερμοκρασία (°C)	Διάλυμα		
	30% Γλυκερόλη+5% NaCl	40% Γλυκερόλη+5% NaCl	50% Γλυκερόλη+5% NaCl
25	0.9396	0.9145	0.8871
35	0.9344	0.9133	0.8863
45	0.9234	0.9122	0.8808

Οι τελικές τιμές της a_w κυμαίνονται από 0.9234 μέχρι 0.8808, τιμές που δείχνουν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση δεν οδήγησε σε μικροβιολογικά σταθερά προϊόντα.

8.4. Στατιστική ανάλυση

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες που προέκυψαν από την εφαρμογή ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) στα πειραματικά αποτελέσματα, αλλά και κάποιοι ενδεικτικοί πίνακες που προέκυψαν έπειτα από την εφαρμογή Post Hoc ελέγχου με τη μέθοδο ειλκρινούς σημαντικής διαφοράς του Tukey (HSD).

8.4.1. Χρόνος εμβάπτισης

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Water_Loss_Mushrooms	Between Groups	2276.03	2	1138.02	19.69	.000
	Within Groups	1386.81	24	57.78		
	Total	3662.85	26			
Solid_Gain_Mushrooms	Between Groups	1233.37	2	616.69	7.35	.003
	Within Groups	2013.57	24	83.90		
	Total	3246.94	26			
a_w_Mushrooms	Between Groups	.05	2	.03	19.61	.000
	Within Groups	.03	24	.00		
	Total	.09	26			
Water_Loss_Lemons	Between Groups	2768.35	2	1384.18	23.07	.000
	Within Groups	1439.98	24	60.00		
	Total	4208.33	26			
Solid_Gain_Lemons	Between Groups	1527.44	2	763.72	29.86	.000
	Within Groups	613.93	24	25.58		
	Total	2141.37	26			
a_w_Lemons	Between Groups	.01	2	.00	8.34	.002
	Within Groups	.01	24	.00		
	Total	.02	26			
Water_Loss_Oranges	Between Groups	2372.20	2	1186.10	24.10	.000
	Within Groups	1181.28	24	49.22		
	Total	3553.48	26			
Solid_Gain_Oranges	Between Groups	773.08	2	386.54	23.83	.000
	Within Groups	389.25	24	16.22		
	Total	1162.33	26			
a_w_Oranges	Between Groups	.01	2	.01	18.73	.000
	Within Groups	.01	24	.00		
	Total	.02	26			

Εικόνα 16: Πίνακας ANOVA για το χρόνο εμβάπτισης των δειγμάτων στο ωσμωτικό διάλυμα.

Για να κριθεί το αν ο χρόνος αποτελεί στατιστικά σημαντικό παράγοντα ως προς τα αποτελέσματα της διεργασίας, πρέπει να αξιολογηθούν οι p - τιμές, δηλαδή οι τιμές της τελευταίας στήλης του παραπάνω πίνακα. Το γεγονός πως για κάθε χαρακτηριστικό μέγεθος και για κάθε είδος η p - τιμή είναι μικρότερη από την τιμή 0.05 σημαίνει πως για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, ο χρόνος εμβάπτισης παίζει στατιστικά σημαντικό ρόλο για τα αποτελέσματα της διεργασίας. Μάλιστα, το γεγονός πως όλες οι τιμές είναι μικρότερες από την τιμή 0.01 σημαίνει πως ο χρόνος παραμένει στατιστικά σημαντική παράμετρος και για διάστημα εμπιστοσύνης 99%.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αλλά και σύμφωνα με την ερμηνεία των παραπάνω διαγραμμάτων, η αύξηση του χρόνου εμβάπτισης έχει σημαντική επίδραση κυρίως για τα πρώτα 120 λεπτά του πειράματος, καθώς μετά το πέρας τους το σύστημα τείνει να ισορροπήσει. Εφαρμόζοντας έναν Post Hoc έλεγχο στα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης, με τη μέθοδο ειλκρινούς σημαντικής διαφοράς του Tukey (HSD) οδηγούμαστε στο ίδιο συμπέρασμα.

Η μέθοδος HSD επιτρέπει τη σύγκριση των μέσων όρων των διάφορων ομάδων με σκοπό να εντοπιστεί ανάμεσα σε ποιες ακριβώς ομάδες υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Ενδεικτικά παρατίθενται οι πίνακες HSD για την απώλεια νερού για τα δείγματα μανιταριού *Lentinula*, λεμονιού και πορτοκαλιού.

Multiple Comparisons (Water_Loss_Mushrooms)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	10 min	120 min	-15.84	3.58	.001	-24.79	-6.90
		300 min	-21.74	3.58	.000	-30.69	-12.80
	120 min	10 min	15.84	3.58	.001	6.90	24.79
		300 min	-5.90	3.58	.246	-14.85	3.05
	300 min	10 min	21.74	3.58	.000	12.80	30.69
		120 min	5.90	3.58	.246	-3.05	14.85

Εικόνα 17: Πίνακας HSD για την επίδραση του χρόνου εμβάπτισης στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων μανιταριού *Lentinula*.

Multiple Comparisons (Water_Loss_Lemons)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	10 min	120 min	-17.72	3.65	.000	-26.84	-8.60
		300 min	-23.89	3.65	.000	-33.01	-14.77
	120 min	10 min	17.72	3.65	.000	8.60	26.84
		300 min	-6.17	3.65	.230	-15.29	2.95
	300 min	10 min	23.89	3.65	.000	14.77	33.01
		120 min	6.17	3.65	.230	-2.95	15.29

Εικόνα 18: Πίνακας HSD για την επίδραση του χρόνου εμβάπτισης στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων λεμονιού.

Multiple Comparisons (Water_Loss_Oranges)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	10 min	120 min	-17.04	3.31	.000	-25.30	-8.79
		300 min	-21.84	3.31	.000	-30.10	-13.59
	120 min	10 min	17.04	3.31	.000	8.79	25.30
		300 min	-4.80	3.31	.332	-13.06	3.46
	300 min	10 min	21.84	3.31	.000	13.59	30.10
		120 min	4.80	3.31	.332	-3.46	13.06

Εικόνα 19: Πίνακας HSD για την επίδραση του χρόνου εμβάπτισης στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων πορτοκαλιού.

Ερμηνεύοντας τις p – τιμές, οι οποίες περιλαμβάνονται στη στήλη Sig. των πινάκων, συμπεραίνουμε πως η στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) στις τιμές απώλειας νερού εντοπίζεται μεταξύ των 10 λεπτών και των 120 λεπτών και μεταξύ των 10 λεπτών και των 300 λεπτών. Αντίθετα, μεταξύ των 120 λεπτών και των 300 λεπτών δεν εντοπίζεται σημαντική διαφορά στις τιμές απώλειας νερού ($p > 0.05$). Το ίδιο παρατηρείται και για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά μεγέθη, δηλαδή για την πρόσληψη στερεών αλλά και για την ενεργότητα νερού.

8.4.2. Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Water_Loss_Mushrooms	Between Groups	347.91	2	173.95	1.26	.302
	Within Groups	3314.94	24	138.12		
	Total	3662.85	26			
Solid_Gain_Mushrooms	Between Groups	170.01	2	85.00	.66	.524
	Within Groups	3076.93	24	128.21		
	Total	3246.94	26			
a_w_Mushrooms	Between Groups	.00	2	.00	.33	.720
	Within Groups	.08	24	.00		
	Total	.09	26			
Water_Loss_Lemons	Between Groups	739.76	2	369.88	2.56	.098
	Within Groups	3468.57	24	144.52		
	Total	4208.33	26			
Solid_Gain_Lemons	Between Groups	81.98	2	40.99	.48	.626
	Within Groups	2059.39	24	85.81		
	Total	2141.37	26			
a_w_Lemons	Between Groups	.00	2	.00	2.96	.071
	Within Groups	.02	24	.00		
	Total	.02	26			
Water_Loss_Oranges	Between Groups	117.54	2	58.77	.41	.668
	Within Groups	3435.93	24	143.16		
	Total	3553.48	26			
Solid_Gain_Oranges	Between Groups	24.77	2	12.38	.26	.772
	Within Groups	1137.56	24	47.40		
	Total	1162.33	26			
a_w_Oranges	Between Groups	.00	2	.00	.25	.784
	Within Groups	.02	24	.00		
	Total	.02	26			

Εικόνα 20: Πίνακας ANOVA για τη θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος.

Για όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη και όλα τα είδη που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση, οι p -τιμές είναι μεγαλύτερες από 0.05, υποδεικνύοντας πως δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων της ωσμωτικής αφυδάτωσης όταν αυτή πραγματοποιείται στους 25 °C, 35 °C και στους 45 °C. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε σύμφωνια με τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων, καθώς και εκεί φάνηκε πως οι διαφορές στις τιμές των διαφόρων μεγεθών ήταν αισθητές αλλά όχι σημαντικά μεγάλες.

Καθώς σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αλλά και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας είναι μόνο θετική, είναι λογικό να εντοπίζεται σημαντικότερη διαφορά μεταξύ των τιμών στους 25 °C και στους 45 °C. Ενδεικτικά, παρατίθενται οι πίνακες HSD για την απώλεια νερού για τα δείγματα μανιταριού *Lentinula*, λεμονιού και πορτοκαλιού.

Multiple Comparisons (Water_Loss_Mushrooms)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	25 oC	35 oC	-3.94	5.54	.759	-17.78	9.89
		45 oC	-8.78	5.54	.272	-22.61	5.06
	35 oC	25 oC	3.94	5.54	.759	-9.89	17.78
		45 oC	-4.83	5.54	.662	-18.67	9.00
	45 oC	25 oC	8.78	5.54	.272	-5.06	22.61
		35 oC	4.83	5.54	.662	-9.00	18.67

Εικόνα 21: Πίνακας HSD για την επίδραση της θερμοκρασίας στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων μανιταριού *Lentinula*.

Multiple Comparisons (Water_Loss_Lemons)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	25 oC	35 oC	-4.19	5.67	.743	-18.34	9.96
		45 oC	-12.59	5.67	.088	-26.74	1.56
	35 oC	25 oC	4.19	5.67	.743	-9.96	18.34
		45 oC	-8.40	5.67	.317	-22.55	5.75
	45 oC	25 oC	12.59	5.67	.088	-1.56	26.74
		35 oC	8.40	5.67	.317	-5.75	22.55

Εικόνα 22: Πίνακας HSD για την επίδραση της θερμοκρασίας στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων λεμονιού.

Multiple Comparisons (Water_Loss_Oranges)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	25 oC	35 oC	-1.81	5.64	.945	-15.90	12.27
		45 oC	-5.04	5.64	.649	-19.13	9.04
	35 oC	25 oC	1.81	5.64	.945	-12.27	15.90
		45 oC	-3.23	5.64	.836	-17.32	10.85
	45 oC	25 oC	5.04	5.64	.649	-9.04	19.13
		35 oC	3.23	5.64	.836	-10.85	17.32

Εικόνα 23: Πίνακας HSD για την επίδραση της θερμοκρασίας στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων πορτοκαλιού.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι p – τιμές που προκύπτουν από τη σύγκριση των μέσων όρων των τιμών στους 25°C και στους 45°C είναι μικρότερες από εκείνες που προκύπτουν από τη σύγκριση ανάμεσα στις υπόλοιπες ομάδες. Αυτό υποδεικνύει πως ανάμεσα στους 25°C και τους 45°C εντοπίζεται μεγαλύτερη διαφορά, η οποία όμως δεν μπορεί να κριθεί στατιστικά σημαντική καθώς οι p – τιμές ξεπερνούν την τιμή 0.05.

8.4.3. Συγκέντρωση γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Water_Loss_Mushrooms	Between Groups	844.59	2	422.30	3.60	.043
	Within Groups	2818.25	24	117.43		
	Total	3662.85	26			
Solid_Gain_Mushrooms	Between Groups	1711.11	2	855.56	13.37	.000
	Within Groups	1535.83	24	63.99		
	Total	3246.94	26			
a_w_Mushrooms	Between Groups	.02	2	.01	4.79	.018
	Within Groups	.06	24	.00		
	Total	.09	26			
Water_Loss_Lemons	Between Groups	494.33	2	247.16	1.60	.223
	Within Groups	3714.01	24	154.75		
	Total	4208.33	26			
Solid_Gain_Lemons	Between Groups	453.44	2	226.72	3.22	.058
	Within Groups	1687.93	24	70.33		
	Total	2141.37	26			
a_w_Lemons	Between Groups	.00	2	.00	3.68	.040
	Within Groups	.02	24	.00		
	Total	.02	26			
Water_Loss_Oranges	Between Groups	739.78	2	369.89	3.16	.061
	Within Groups	2813.70	24	117.24		
	Total	3553.48	26			
Solid_Gain_Oranges	Between Groups	285.01	2	142.50	3.90	.034
	Within Groups	877.32	24	36.56		
	Total	1162.33	26			
a_w_Oranges	Between Groups	.01	2	.00	4.91	.016
	Within Groups	.01	24	.00		
	Total	.02	26			

Εικόνα 24: Πίνακας ANOVA για τη θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος.

Όσον αφορά τη συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα, παρατηρούμε πως σε κάποιες περιπτώσεις έπαιξε στατιστικά σημαντικό ρόλο ενώ σε κάποιες άλλες όχι. Πιο συγκεκριμένα, η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών στα δείγματα λεμονιού καθώς και η απώλεια νερού στα δείγματα πορτοκαλιού δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης ($p > 0.05$). Αντιθέτως, η απώλεια νερού, η πρόσληψη στερεών και η ενεργότητα νερού στα δείγματα μανιταριού *Lentinula*, η ενεργότητα νερού στα δείγματα λεμονιού και η πρόσληψη στερεών καθώς και η ενεργότητα νερού στα δείγματα πορτοκαλιού υπέστησαν στατιστικά σημαντική επίδραση από την αύξηση της συγκέντρωσης.

Όπως είναι λογικό, καθώς η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης έχει σταθερά θετική επίδραση σε όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη, η μεγαλύτερη διαφορά στις τιμές εντοπίζεται μεταξύ των ομάδων συγκέντρωσης 30% w/w και συγκέντρωσης 50% w/w. Ενδεικτικά παρατίθενται οι πίνακες HSD για την ενεργότητα νερού για τα δείγματα μανιταριού *Lentinula*, λεμονιού και πορτοκαλιού, καθώς πρόκειται για το μόνο μέγεθος το οποίο επηρεάστηκε σημαντικά από την αύξηση της συγκέντρωσης και για τα τρία είδη δειγμάτων.

Multiple Comparisons (a_w_Mushrooms)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	30% w/w	40% w/w	.04	.02	.278	-.02	.10
		50% w/w	.07	.02	.013	.01	.13
	40% w/w	30% w/w	-.04	.02	.278	-.10	.02
		50% w/w	.04	.02	.297	-.02	.10
	50% w/w	30% w/w	-.07	.02	.013	-.13	-.01
		40% w/w	-.04	.02	.297	-.10	.02

Εικόνα 25: Πίνακας HSD για την επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στην ενεργότητα νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων μανιταριού *Lentinula*.

Multiple Comparisons (a_w_Lemons)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	30% w/w	40% w/w	.01	.01	.473	-.02	.04
		50% w/w	.03	.01	.032	.00	.06
	40% w/w	30% w/w	-.01	.01	.473	-.04	.02
		50% w/w	.02	.01	.299	-.01	.05
	50% w/w	30% w/w	-.03	.01	.032	-.06	.00
		40% w/w	-.02	.01	.299	-.05	.01

Εικόνα 26: Πίνακας HSD για την επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στην ενεργότητα νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων λεμονιού.

Multiple Comparisons (a_w_Oranges)

	(J) Family	(J) Family	Mean Difference (I - J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	30% w/w	40% w/w	.01	.01	.412	-.01	.04
		50% w/w	.04	.01	.013	.01	.06
	40% w/w	30% w/w	-.01	.01	.412	-.04	.01
		50% w/w	.02	.01	.184	-.01	.05
	50% w/w	30% w/w	-.04	.01	.013	-.06	-.01
		40% w/w	-.02	.01	.184	-.05	.01

Εικόνα 27: Πίνακας HSD για την επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στην ενεργότητα νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων πορτοκαλιού.

Από τη στήλη Sig. των παραπάνω πινάκων οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως στατιστικά σημαντική διαφορά στην ενεργότητα νερού εντοπίζεται μεταξύ των συγκεντρώσεων 30% w/w και 50% w/w.

9. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ωσμωτική αφυδάτωσημανιταριών ποικιλίας *Lentinula*, λεμονιών και πορτοκαλιών. Ως ωσμωτικό μέσο και για τα τρία είδη επιλέχθηκε η γλυκερόλη, και οι παράμετροι οι οποίες αξιολογήθηκαν κατά τη διαδικασία ήταν η συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα, η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος και η διάρκεια εμβάπτισης των δειγμάτων στο ωσμωτικό διάλυμα. Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν υπό ανάδευση καθώς ο παράγοντας αυτός μειώνει την αντίσταση μεταφοράς μάζας που προκαλείται από τα συμπυκνωμένα διαλύματα και συνεπώς οδηγεί σε υψηλότερους ρυθμούς διάχυσης νερού και στερεών. Η αναλογία δείγματος-διαλύματος που επιλέχθηκε ήταν 1:5 καθώς πρόκειται για μια αναλογία η οποία δεν επιτρέπει τη σημαντική αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος κατά τη διεργασία ενώ ταυτόχρονα η ποσότητα ωσμωτικού μέσου που απαιτείται δεν είναι απαγορευτική ως προς το κόστος ή την πρακτική διαχείριση του.

Οι παράμετροι της ωσμωτικής αφυδάτωσης αξιολογούνται ξεχωριστά για κάθε είδος (μανιτάρι *Lentinula*, λεμόνι, πορτοκάλι) καθώς το κάθε ένα από αυτά διαθέτει διαφορετική εσωτερική δομή, διαφορετικό φυτικό ιστό και κατά συνέπεια διαφορετική συμπεριφορά διάχυσης. Μάλιστα, η ύπαρξη φλούδας στα δείγματα λεμονιού και πορτοκαλιού σε αντίθεση με τα δείγματα μανιταριού, επιφέρει σημαντική διαφοροποίηση στο είδος της διάχυσης που πραγματοποιείται. Έρευνες αναφέρουν πως κατά την ωσμωτική αφυδάτωση εσπεριδοειδών συμμετέχει και η φλούδα στο φαινόμενο της απομάκρυνσης νερού και της πρόσληψης στερεών [99]. Με δεδομένο ότι η φλούδα των εσπεριδοειδών είναι πλούσια σε πολύτιμα βιοδραστικά συστατικά όπως η πηκτίνη, τα φλαβονοειδή, τα καροτενοειδή και το λιμονένιο, και με την υπόθεση πως η εμβάπτιση της σε διάλυμα σακχάρου θα μπορούσε να αυξήσει τη γλυκύτητα της και να βελτιώσει την αισθητηριακή της αποδοχή, πάρηκε η επιλογή να μην αφαιρεθεί η φλούδα από τα δείγματα λεμονιού και πορτοκαλιού.

Γενικά η μείωση περιεχόμενης υγρασίας που επιτεύχθηκε για τα τρία είδη δειγμάτων κρίνεται ικανοποιητική καθώς τα προϊόντα που προκύπτουν μετά τη διεργασία θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως προϊόντα ενδιάμεσης υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη απώλεια νερού επιτεύχθηκε για εμβάπτιση χρονικής διάρκειας 5 ωρών στους 45°C σε διάλυμα γλυκερόλης 50%w/w+5%w/w NaCl και οι μέγιστες τιμές WL για τα μανιτάρια *Lentinula*, τα λεμόνια και τα πορτοκάλια ήταν 80.7%, 64.8% και 53.3% αντίστοιχα. Το υψηλό επίπεδο απώλειας νερού από το μανιτάρι έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές και πιθανώς σχετίζεται με τη πορώδη φύση του. Οι ελάχιστες τιμές ενεργότητας νερού που επιτεύχθηκαν κατά τη διεργασία για τα μανιτάρια *Lentinula*, τα λεμόνια και τα πορτοκάλια ήταν αντίστοιχα 0.7761, 0.8655 και 0.8808, τιμές που δεν εξασφαλίζουν απόλυτη μικροβιακή σταθερότητα, αυξάνουν όμως σημαντικά τη διάρκεια ζωής των προϊόντων. Τα προϊόντα που προέκυψαν από τη διεργασία μπορούν να αξιοποιηθούν εμπορικά ως υγιεινά σνακ με αυξημένη διάρκεια ζωής ή να αποτελέσουν τροφοδοσία σε κάποιο άλλο σύστημα ξήρανσης προκειμένου να παραχθούν τα αντίστοιχα αποξηραμένα προϊόντα. Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται να διεξαχθεί οργανοληπτικός έλεγχος για να κριθεί το αν η πρόσληψη στερεών που συνέβη κατά τη διεργασία είναι απαγορευτική ως προς τη γεύση των προϊόντων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια *Lentinula* οδηγήσαμε στο συμπέρασμα πως η απώλεια νερού ευνοείται από τον αυξημένο χρόνο, καθώς όσο μεγαλύτερο ήταν το χρονικό διάστημα εμβάπτισης τόσο μεγαλύτερες ήταν και οι τιμές WL. Το συμπέρασμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς αναφέρεται από πολλούς ερευνητές στη βιβλιογραφία και οφείλεται στο γεγονός πως η μεταφορά μάζας πραγματοποιείται συνεχόμενα για όση ώρα είναι εμβαπτισμένο το τρόφιμο στο διάλυμα, μέχρι το σύστημα να φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας. Η ισορροπία για την απώλεια νερού επιτεύχθηκε μετά τα πρώτα 120 λεπτά της διεργασίας, γεγονός που συμφωνεί και με άλλους ερευνητές που μελέτησαν την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριών [100], [75]. Ακόμη, από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτει το συμπέρασμα πως η αύξηση της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος οδηγεί σε αυξημένη απώλεια νερού, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στη μείωση του ιξώδους του ωσμωτικού μέσου και στη διόγκωση της κυτταρικής μεμβράνης, αλλά και στη χαρακτηριστικά πορώδη δομή του μανιταριού, η οποία ευνοεί την απομάκρυνση του νερού σε υψηλές θερμοκρασίες. Τέλος, η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη απώλεια νερού από τα δείγματα. Συγκρίνοντας τις μέγιστες τιμές WL που επιτεύχθηκαν για όλα τα διαλύματα και όλες τις θερμοκρασίες, συμπεραίνουμε πως η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης είχε πιο σημαντική θετική επίδραση στην απώλεια νερού από ότι η αύξηση της θερμοκρασίας. Ενδιαφέρον έχει πως η επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης, παρόλο που ήταν αισθητή και κατά την αύξηση της συγκέντρωσης από 30% σε 40%, ήταν πολύ μεγαλύτερη όταν η συγκέντρωση έφτασε το 50%.

Τα αποτελέσματα που αφορούν την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριού *Lentinula* ήταν αρκετά παρόμοια με αυτά της απώλειας νερού. Η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε σταδιακά με την αύξηση του χρόνου καθώς η διαλυμένη ουσία διαχεόταν συνεχόμενα από το ωσμωτικό διάλυμα στο τρόφιμο καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Οι τιμές SG έδειξαν να σταθεροποιούνται μετά από τα πρώτα 120 λεπτά της διεργασίας όπως και οι τιμές WL. Όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας, φαίνεται πως η αύξησή της επέφερε μια μικρή, αλλά αισθητή αύξηση στις τιμές SG. Ωστόσο, σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα, η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης ευνοεί την πρόσληψη διαλυμένης ουσίας από το μανιτάρι σημαντικά, κυρίως όταν αυτή φτάνει το 50%, όπως συνέβη και με την απώλεια νερού. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς το διάλυμα συμπυκνώνεται σημαντικά, μειώνεται σημαντικά και η ενεργότητα νερού του δημιουργώντας στο σύστημα μεγάλη βαθμίδα συγκέντρωσης και οδηγώντας τους συνετελεστές διάχυσης σε σημαντική αύξηση.

Τέλος, τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν πως η ενεργότητα νερού των μανιταριών *Lentinula* μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος εμβάπτισης, με την ισορροπία να επέρχεται στο σύστημα μετά από τα πρώτα 120 λεπτά της διεργασίας. Η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται να έχει μικρή θετική επίδραση στη μείωση της ενεργότητας νερού, ενώ η επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να είναι σημαντική, καθώς η αύξηση της οδηγεί σε σημαντική μείωση των τιμών. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο καθώς έρχεται σε σύμπτωση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την απώλεια νερού από το μανιτάρι.

Γενικά, τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τη βιβλιογραφία σχετικά με την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριών, καθώς πειράματα ωσμωτικής αφυδάτωσης σε λευκά μανιτάρια [75], [101], [102] έχουν αναφέρει πως ο πιο επιδραστικός παράγοντας της ώσμωσης ήταν η συγκέντρωση γλυκερόλης, ακολουθούμενη από τη διάρκεια της ώσμωσης, ενώ η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος φάνηκε να είναι ο λιγότερο επιδραστικός παράγοντας.

Όσον αφορά την ωσμωτική αφυδάτωση σε δείγματα λεμονιού, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των πειραμάτων ήταν τα εξής: Πρώτον, η αύξηση του χρόνου εμβάπτισης ευνοεί την απομάκρυνση του νερού από το λεμόνι και οδηγεί σε αυξημένες τιμές WL, μέχρι αυτές να σταθεροποιηθούν και το σύστημα να εξισορροπηθεί. Οι τιμές WL τείνουν να σταθεροποιηθούν μετά τα πρώτα 120 λεπτά, γεγονός που φανερώνει πως το πρώτο στάδιο της ωσμωτικής αφυδάτωσης, όπου τα φαινόμενα μεταφοράς πραγματοποιούνται ταχέως, διαρκεί περίπου δύο ώρες. Δεύτερον, η θερμοκρασία επιδρά θετικά στο ρυθμό διάχυσης του νερού μόνο όταν αυτή φτάσει τους 45°C. Η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας από τους 25°C στους 35°C ήταν αμελητέα, ενώ κατά την αύξηση της θερμοκρασίας από τους 35°C στους 45°C υπήρξε εμφανής αύξηση των τιμών WL, κυρίως για τα διαλύματα των μεγαλύτερων συγκεντρώσεων (40% και 50%). Τέλος, φαίνεται πως η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος ευνοεί το φαινόμενο διάχυσης του νερού από το λεμόνι στο διάλυμα. Κάτι τέτοιο έρχεται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία και πιθανότατα οφείλεται στην μεγαλύτερη βαθμίδα ωσμωτικής πίεσης που δημιουργείται ανάμεσα στο συμπυκνωμένο διάλυμα και το τρόφιμο.

Η πρόσληψη στερεών από το λεμόνι κατά την ωσμωτική διαδικασία αυξάνεται παράλληλα με την αύξηση του χρόνου εμβάπτισης, μέχρι να επέλθει ισορροπία στο σύστημα και η διάχυση της διαλυμένης ουσίας να ελαχιστοποιηθεί. Σύμφωνα με τα σχετικά διαγράμματα, το σύστημα τείνει να εξισορροπηθεί μετά τα πρώτα 120 λεπτά ώσμωσης, φαινόμενο που συναντάται συχνά στη βιβλιογραφία και συμφωνεί με τα αντίστοιχα αποτελέσματα σχετικά με την απώλεια νερού. Ακόμη, η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται να επιδρά θετικά στην πρόσληψη στερεών μόνο όταν συνδυάζεται με αύξηση της συγκέντρωσης. Συγκεκριμένα, όταν το λεμόνι εμβαπτίζεται σε διάλυμα με συγκέντρωση γλυκερόλης 30% η αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος δεν αυξάνει σημαντικά τις τιμές SG, ενώ οι τιμές αυτές αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά την εμβάπτιση σε διαλύματα συγκεντρώσεων 40% και 50%, φαινόμενο που εντοπίστηκε και στην απώλεια νερού. Τέλος, η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να ευνοεί την πρόσληψη στερεών από το λεμόνι. Συγκεκριμένα, η αύξηση της συγκέντρωσης από 30% σε 40% επέφερε σημαντική αύξηση στις τιμές SG που επιτεύχθηκαν στα 300 λεπτά αλλά και στις τιμές ισορροπίας που προέκυψαν από την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου. Ίσως η περεταίρω συμπύκνωση του διαλύματος όταν η συγκέντρωση αυξήθηκε στο 50% να αύξησε κατά πολύ το ιξώδες του διαλύματος, αυξάνοντας την αντίσταση μεταφοράς μάζας και εμποδίζοντας τη διαλυμένη ουσία να διαχυθεί στο λεμόνι. Γενικά παρατηρούμε πως η επίδραση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης ήταν πιο σημαντική από την επίδραση της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος ως προς τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διαδικασία. Κάτι τέτοιο έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές οι οποίοι μελέτησαν την ωσμωτική αφυδάτωση σε φέτες λεμονιού [78] αλλά και σε φλούδες λεμονιού [103]

και πιθανότατα οφείλεται στην ωσμωτική πίεση του διαλύματος η οποία αυξάνεται από την αύξηση της συγκέντρωσής του, και έτσι δημιουργείται μεγαλύτερη βαθμίδα ανάμεσα στο διάλυμα και το τρόφιμο.

Όσον αφορά την ενεργότητα νερού του λεμονιού κατά την ωσμωτική διαδικασία, τα αποτελέσματα δείχνουν πως αυτή μειώνεται παράλληλα με την αύξηση του χρόνου μέχρι να φτάσει σε μία τιμή ισορροπίας. Για τις περισσότερες πειραματικές συνθήκες η ισορροπία αυτή παρατηρήθηκε μετά τα πρώτα 120 λεπτά της διεργασίας ενώ για τις πιο έντονες συνθήκες, δηλαδή στην υψηλότερη θερμοκρασία (45°C) και στις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (40%, 50%) παρατηρήθηκε συνέχιση στη μείωση των τιμών ακόμη και στα 300 λεπτά διεργασίας. Γενικά, έχει αναφερθεί πως σε κάποιες περιπτώσεις ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη των συνθηκών ισορροπίας είναι υψηλότερος σε περίπτωση υψηλότερης συγκέντρωσης και αυτό σχετίζεται με το μεγαλύτερο ιξώδες του διαλύματος και την αντίσταση της μεταφοράς μάζας στην επιφάνεια του δείγματος [78]. Ταυτόχρονα, τα σχετικά διαγράμματα υποδεικνύουν πως η αυξημένη θερμοκρασία επιφέρει αυξημένη ελάττωση των τιμών ενεργότητας νερού όπως επίσης και η αύξηση της συγκέντρωσης. Η επίδραση των δύο αυτών παραγόντων φαίνεται να είναι παρόμοιου επιπέδου για την ενεργότητα νερού στο λεμόνι.

Τέλος, η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα πορτοκαλιού οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα. Η απώλεια νερού από το δείγμα αυξάνεται με έντονο ρυθμό παράλληλα με την αύξηση του χρόνου για τα πρώτα 120 λεπτά της διεργασίας, ενώ αργότερα ο ρυθμός αύξησης μειώνεται και οι τιμές τείνουν να σταθεροποιηθούν καθώς το σύστημα τείνει να εξισορροπηθεί. Η θετική επίδραση της θερμοκρασίας στην αύξηση των τιμών WL παρατηρήθηκε κυρίως όταν αυτή έφτασε στους 45 °C καθώς κατά την αύξηση της θερμοκρασίας από τους 25°C στους 35°C δεν εντοπίστηκαν μεγάλες διαφορές στις τιμές. Ταυτόχρονα, η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να ευνοεί σημαντικά την απομάκρυνση νερού από το πορτοκάλι καθώς οδηγεί σε αυξημένες τιμές απώλειας νερού στην ισορροπία, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία για πληθώρα φρούτων και λαχανικών.

Η πρόσληψη στερεών από το πορτοκάλι κατά την ωσμωτική διαδικασία παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά με την απώλεια νερού. Η αύξηση του χρόνου προκαλεί αύξηση στις τιμές της, καθώς η διάχυση στερεών από το διάλυμα πραγματοποιείται συνεχόμενα μέχρι τα 120 λεπτά, και για μεγαλύτερους χρόνους ο ρυθμός διάχυσης φαίνεται να μειώνεται καθώς τα σχετικά διαγράμματα εμφανίζουν πλατό. Συνολικά, η θερμοκρασία φαίνεται να μην επιδρά σημαντικά στο φαινόμενο πρόσληψης στερεών καθώς για όλες τις συγκεντρώσεις γλυκερόλης, οι τελικές τιμές SG που επιτεύχθηκαν δεν παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση παράλληλα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίθεση με τη γενική βιβλιογραφία για την επίδραση της θερμοκρασίας στους ρυθμούς διάχυσης, ωστόσο έρευνα πάνω στην ωσμωτική αφυδάτωση ανανά αναφέρει πως η διαλυμένη ουσία πιθανόν να μη διαχέεται τόσο εύκολα όσο το νερό μέσω της κυτταρικής μεμβράνης σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, η αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα επέφερε αύξηση στο φαινόμενο της πρόσληψης στερεών, με την επίδρασή της εντοπίζεται κυρίως κατά την αύξηση της συγκέντρωσης από 30% σε 40%. Κάτι τέτοιο παρατηρήθηκε και κατά την ωσμωτική αφυδάτωση λεμονιού και μπορεί να οφείλεται στο υψηλό ιξώδες του διαλύματος όταν η συγκέντρωση της γλυκερόλης έφτασε στο 50%.

Τέλος, η ενεργότητα νερού του πορτοκαλιού φαίνεται πως μειώνεται παράλληλα με την αύξηση του χρόνου. Όταν το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις δύο μεγαλύτερες θερμοκρασίες (35°C και 45°C) η μείωση παράλληλα με το χρόνο φαίνεται να συνεχίζει και μέχρι τα 300 λεπτά διεργασίας υποδεικνύοντας πως η ισορροπία δεν έχει ακόμη επέλθει στο σύστημα. Όσον αφορά τη θερμοκρασία, η αύξηση της παρουσιάζει πολύ μικρή μείωση των τιμών ενεργότητας, ενώ αντίθετα η αύξηση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση καθώς επιφέρει αρκετά μεγάλη πτώση των τιμών ενεργότητας.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μέσα από τα διαγράμματα και τους σχετικούς πίνακες έρχεται σε σύμπτωση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση του πειράματος η οποία έγινε στο περιβάλλον SPSS με τη χρήση της τεχνικής ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) και της μεθόδου ειλικρινούς σημαντικής διαφοράς (HSD) και η οποία είχε ως στόχο να χαρακτηρίσει την επίδραση των τριών παραμέτρων ως στατιστικά σημαντική ή μη στατιστικά σημαντική.

Γενικά, η ανταπόκριση των δειγμάτων λεμονιού και πορτοκαλιού στην εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης φαίνεται να είναι αρκετά παρόμοια. Και στις δύο περιπτώσεις η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στην απώλεια νερού έγινε σημαντική μόνο όταν έφτασε τους 45°C, ενώ η επίδραση της αύξησης της συγκέντρωσης στην πρόσληψη στερεών εντοπίστηκε κυρίως στην αύξηση της γλυκερόλης από 30% σε 40%. Ταυτόχρονα, σε υψηλές θερμοκρασίες η μείωση της ενεργότητας

φαίνεται να συνεχίζει να πραγματοποιείται και μετά το πέρας των 120 λεπτών. Αυτά τα κοινά χαρακτηριστικά πιθανότατα οφείλονται στην ομοιότητα των δύο αυτών φρούτων, και στις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει ο φυτικός τους ιστός, η εσωτερική τους δομή αλλά και η δομή της φλούδας τους.

Όσον αφορά το μαθηματικό μοντέλο Azuaga, οι τιμές R^2 που εκτίθενται στους Πίνακες 4, 6, 9, 11, 14 και 16 υποδηλώνουν πως η προσαρμογή του μαθηματικού μοντέλου στα πειραματικά δεδομένα είναι άκρως ικανοποιητική. Οι τιμές WL_{∞} και SG_{∞} που προέβλεψε το μαθηματικό μοντέλο ήταν κοντά στις τιμές WL και SG που επιτεύχθηκαν για χρόνο εμβάπτισης 5 ωρών, γεγονός που υποδεικνύει πως η επιλογή των 5 ωρών ως μέγιστο χρόνο εμβάπτισης για την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτωνμανιταριού *Lentinula*, λεμονιού και πορτοκαλιού ήταν επιτυχημένη.

Όσον αφορά το πιλοτικό μηχάνημα ωσμωτικής αφυδάτωσης, το οποίο αποτελεί καινοτομία του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Τροφίμων, η χρήση του κρίθηκε καταλυτική για τη διεξαγωγή ενός τόσο μεγάλου όγκου πειραμάτων ωσμωτικής αφυδάτωσης. Το μεγάλο μέγεθος του υδατόλουτρου και η ύπαρξη πολλών αναδευτήρων δίνει τη δυνατότητα για την ταυτόχρονη διεξαγωγή πολλών πειραμάτων, συνθήκη που εξοικονομεί χρόνο στον ερευνητή και προσφέρει μεγάλη πρακτικότητα. Ωστόσο, καθώς η στάθμη του νερού στο υδατόλουτρο πρέπει να είναι συγκεκριμένη ώστε να καλύπτεται το θερμοστοιχείο του, απαιτείται μεγάλη ποσότητα ωσμωτικού διαλύματος προκειμένου να αντισταθμίζεται η άνωση και να στέκονται τα ποτήρια ζέσεως χωρίς να επιπλέουν. Πρακτικά, αυτό αναιρεί την ευελιξία στην εφαρμογή διαφόρων αναλογιών διαλύματος – δείγματος καθώς ορίζεται ένα κατώτατο όριο στην ποσότητα του ωσμωτικού διαλύματος μέσα στα ποτήρια ζέσεως. Το ζήτημα αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί με την τοποθέτηση βαριδιών στον πάτο των ποτηριών ζέσεως ώστε το φαινόμενο της άνωσης να μην εξαρτάται από τη στάθμη του ωσμωτικού διαλύματος και τα ποτήρια να παραμένουν σταθερά. Επίσης, το κατώτατο ύψος στο οποίο μπορούν να φτάσουν κατασκευαστικά οι αναδευτήρες, θέτει κάποιες πρακτικές δυσκολίες ως προς την καθολική εμβάπτιση των δειγμάτων στο ωσμωτικό διάλυμα. Ουσιαστικά, τίθεται ένα όριο στη σχέση ανάμεσα στο ύψος του δείγματος κατά μήκος της θήκης και της στάθμης του ωσμωτικού διαλύματος ώστε να εξασφαλιστεί η εξ ολοκλήρου εμβάπτιση του δείγματος και να αποφευχθούν σφάλματα. Τέλος, η τεχνική ιδιαιτερότητα των μεταλλικών διάτρητων θηκών θέτει ένα όριο στο μέγιστο μέγεθος που μπορεί να έχει το δείγμα, καθώς αν αυτό ξεπεραστεί υπάρχει ο κίνδυνος τραυματισμού του κατά την εισαγωγή και την εξαγωγή του στις θήκες. Κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει την παραμονή τμημάτων του δείγματος στις θήκες και να οδηγήσει σε σοβαρά σφάλματα ζύγισης.

10. Μελλοντικές ενέργειες

Οι μελλοντικές ενέργειες που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν, σε ένα πλαίσιο συνέχισης της εργασίας αυτής είναι οι εξής:

- Όπως έχει ήδη αναφερθεί, θα ήταν πολύ χρήσιμη η εφαρμογή οργανοληπτικού ελέγχου στα προϊόντα που προέκυψαν από τις βέλτιστες πειραματικές συνθήκες. Η διαδικασία αυτή θα οδηγούσε σε συμπεράσματα για το κατά πόσο τα προϊόντα ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι αποδεκτά από το καταναλωτικό κοινό, ως προς τη γεύση, την εμφάνιση, την υφή, το άρωμα και τη μετάγευσή τους.
- Η ενεργότητα νερού είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό προκειμένου να κριθεί αν το τρόφιμο είναι μικροβιολογικά σταθερό. Ωστόσο ένας μικροβιολογικός έλεγχος σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους για διάφορες χρονικές περιόδους αποθήκευσης θα έδινε ακριβή στοιχεία για τη διάρκεια ζωής των προϊόντων.
- Σε επίπεδο ποιοτικών χαρακτηριστικών θα μπορούσε να γίνει ο προσδιορισμός του χρώματος, της υφής, των ολικών διαλυτών στερεών, της ολικής οξύτητας και της αντιοξειδωτικής δράσης με τη χρήση των κατάλληλων μεθόδων και οργάνων. Κάτι τέτοιο θα προσέφερε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων μετά την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

11. Βιβλιογραφία

- [1] N. A. Sagar, S. Pareek, S. Sharma, E. M. Yahia και M. G. Lobo, «Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization,» *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, τόμ. 17, αρ. 3, pp. 512-531, 25 5 2018.
- [2] I. Esparza, N. Jiménez-Moreno, F. Bimbela, C. Ancín-Azpilicueta και L. M. Gandía, «Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches,» *Journal of Environmental Management*, τόμ. 265, 7 2020.
- [3] R. Sitotaw, E. Lulekal και D. Abate, «Ethnomycological study of edible and medicinal mushrooms in Menge District, Asossa Zone, Benshangul Gumuz Region, Ethiopia,» *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, τόμ. 16, αρ. 1, 4 12 2020.
- [4] M. Bidar, H. R. Kanan, M. Mouhoub και S. Sadaoui, «Mushroom Reproduction Optimization (MRO): A Novel Nature-Inspired Evolutionary Algorithm,» *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp. 1-10, 7 2018.
- [5] M. Dimopoulou, A. Kolonas, S. Mourtakos, S. Mourtakos και O. Gortzi, «Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species,» *Applied Sciences*, τόμ. 12, αρ. 16, 12 8 2022.
- [6] P. Mattila, K. Könkö, M. Eurola, J.-M. Pihlava, J. Astola, L. Vahteristo, V. Hietaniemi, J. Kumpulainen, M. Valtonen και P. V., «Contents of Vitamins, Mineral Elements, and Some Phenolic Compounds in Cultivated Mushrooms,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, τόμ. 49, αρ. 5, p. 2348, 2001.
- [7] C. Ponnusamy, V. V. S. Uddandrao, S. P. Pudhupalayam, S. Singaravel, T. Periyasamy, P. Ponnusamy, P. Prabhu, V. Sasikumar και S. Ganapathy, «Lentinula Edodes (Edible Mushroom) as a Nutraceutical: A Review,» *Biosciences Biotechnology Research Asia*, τόμ. 19, αρ. 1, p. 11, 2022.
- [8] Z. Rao, Y. Dong, X. Zheng, K. Tang και J. Liu, «Extraction, purification, bioactivities and prospect of lentinan: A review,» *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, τόμ. 37, 2021.
- [9] P. Bisen, R. Baghel, B. Sanodiya, G. Thakur και G. Prasad, «Lentinus edodes: A Macrofungus with Pharmacological Activities,» *Current Medicinal Chemistry*, τόμ. 17, αρ. 22, 1 8 2010.
- [10] T. C. Finimundy, A. J. P. Dillon, J. A. P. Henriques και M. R. Ely, «A Review on General Nutritional Compounds and Pharmacological Properties of the Lentinula edodes Mushroom,» *Food and Nutrition Sciences*, τόμ. 5, αρ. 12, 2014.
- [11] Y. Zhang, S. Li, X. Wang, L. Zhang και P. C. Cheung, «Advances in lentinan: Isolation, structure, chain conformation and bioactivities,» *Food Hydrocolloids*, τόμ. 25, αρ. 2, p. 206, 3 2011.
- [12] C. Hobbs, «Medicinal Value of Lentinus edodes (Berk.) Sing. (Agaricomycetidae). A Literature Review,» *International Journal of Medicinal Mushrooms*, τόμ. 2, αρ. 4, 2000.
- [13] H. SUZUKI, K. IYAMA, O. YOSHIDA, S. YAMAZAKI, N. YAMAMOTO και S. TODA, «Structural characterization of the immunoactive and antiviral water-solubilized lignin in an extract of the culture medium of Lentinus edodes mycelia (LEM),» *Agricultural and Biological Chemistry*, τόμ. 54, αρ. 2, 1990.
- [14] Z. S. Amin, S. Abbas, A. Munir, M. M. A. Qadri, M. Raza, M. Danish, S. Khan, B. Hafey, M. K. Hanif και H. Kashif, «Role of Medicinal Mushroom Lentinula edodes in Nutrition, Nutraceuticals and Ethnopharmacology,» *Journal of Pharmaceutical Research International*, p. 35, 11 4 2022.
- [15] I. Ahmad, M. Arif, M. Xu, J. Zhang, Y. Ding και F. Lyu, «Therapeutic values and nutraceutical properties of shiitake mushroom (Lentinula edodes): A review,» *Trends in Food Science & Technology*, τόμ. 134, p. 135, 4 2023.

- [16] M. Mizuno και Y. Nishitani, «Immunomodulating compounds in Basidiomycetes,» *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, τόμ. 52, αρ. 3, p. 207, 2013.
- [17] G. CHIHARA, Y. MAEDA, J. HAMURO, T. SASAKI και F. FUKUOKA, «Inhibition of Mouse Sarcoma 180 by Polysaccharides from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing.,» *Nature*, τόμ. 222, αρ. 5194, 5 1969.
- [18] M. Larypoor, «Investigation of HER-3 gene expression under the influence of carbohydrate biopolymers extract of shiitake and reishi in MCF-7 cell line,» *Molecular Biology Reports*, τόμ. 49, αρ. 7, 10 7 2022.
- [19] J. Wang, M. Zhong, B. Liu, L. Sha, Y. Lun, W. Zhang, X. Li, X. Wang, J. Cao, A. Ning και M. Huang, «Expression and functional analysis of novel molecule — Latcripin-13 domain from *Lentinula edodes* C91-3 produced in prokaryotic expression system,» *Gene*, τόμ. 555, αρ. 2, 1 2015.
- [20] S. M. Elhousseiny, T. S. El-Mahdy, M. F. Awad, N. S. Elleboudy, M. M. S. Farag, M. A. Yassein και K. M. Aboshanab, «Proteome Analysis and In Vitro Antiviral, Anticancer and Antioxidant Capacities of the Aqueous Extracts of *Lentinula edodes* and *Pleurotus ostreatus* Edible Mushrooms,» *Molecules*, τόμ. 26, αρ. 15, 30 7 2021.
- [21] J. H. Wong, T. B. Ng, H. H. L. Chan, Q. Liu, G. C. W. Man, C. Z. Zhang, S. Guan, C. C. W. Ng, E. F. Fang, H. Wang, F. Liu, X. Ye, K. Rolka, R. Naude, S. Zhao, O. Sha, C. Li και L. Xia, «Mushroom extracts and compounds with suppressive action on breast cancer: evidence from studies using cultured cancer cells, tumor-bearing animals, and clinical trials,» *Applied Microbiology and Biotechnology*, τόμ. 104, αρ. 11, 9 6 2020.
- [22] B. Millar, D. Nelson, R. Moore, J. Rao και J. Moore, «Antimicrobial properties of basidiomycota macrofungi to *Mycobacterium abscessus* isolated from patients with cystic fibrosis,» *International Journal of Mycobacteriology*, τόμ. 8, αρ. 1, 2019.
- [23] J. Garcia, A. Afonso, C. Fernandes, F. M. Nunes, G. Marques και M. J. Saavedra, «Comparative antioxidant and antimicrobial properties of *Lentinula edodes* Donko and Koshin varieties against priority multidrug-resistant pathogens,» *South African Journal of Chemical Engineering*, τόμ. 35, p. 106, 1 2021.
- [24] S. Parola, L. Chiodaroli, V. Orlandi, C. Vannin και L. Panno, «*Lentinula edodes* and *Pleurotus ostreatus*: functional food with antioxidant - antimicrobial activity and an important source of Vitamin D and medicinal compounds,» *Functional Foods in Health and Disease*, τόμ. 7, αρ. 10, 31 10 2017.
- [25] J. Avinash, S. Vinay, K. Jha, D. Das, B. Goutham και G. Kumar, «The unexplored anticaries potential of shiitake mushroom,» *Pharmacognosy Reviews*, τόμ. 10, αρ. 20, 2016.
- [26] S. Sharma και S. Prakash, «To detect the minimum inhibitory concentration and time-kill curve of shiitake mushroom on periodontal pathogens: An in vitro study,» *Journal of Indian Society of Periodontology*, τόμ. 23, αρ. 3, 2019.
- [27] P. Lingström, E. Zaura, H. Hassan, M. J. Buijs, P. Hedelin, J. Pratten, D. Spratt, M. Daglia, A. Karbowiak, C. Signoretto, M. Rosema, F. van der Weijden και M. Wilson, «The Anticaries Effect of a Food Extract (Shiitake) in a Short-Term Clinical Study,» *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, p. 10, 2012.
- [28] K. N. Ζήνωνος, «Περιγραφή κατά UPOV και ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπού δύο τοπικών ποικιλιών και δύο νέων γονότυπων εσπεριδοειδών του Νομού Άρτας και σύγκριση τους με καλλιεργούμενες ποικιλίες,» 2021.
- [29] Klimek-Szczykutowicz, Szopa και Ekiert, «Citrus limon (Lemon) Phenomenon—A Review of the Chemistry, Pharmacological Properties, Applications in the Modern Pharmaceutical, Food, and Cosmetics Industries, and Biotechnological Studies,» *Plants*, τόμ. 9, αρ. 1, 17 1 2020.
- [30] L. Jing, Z. Lei, G. Zhang, A. C. Pilon, D. V. Huhman, R. Xie, W. Xi, Z. Zhou και L. W. Sumner, «Metabolite profiles of essential oils in citrus peels and their taxonomic implications,» *Metabolomics*, τόμ. 11, αρ. 4, pp. 952-963, 2015.

- [31] E. González-Molina, R. Domínguez-Perles, D. Moreno και C. García-Viguera, «Natural bioactive compounds of Citrus limon for food and health,» *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, τόμ. 51, αρ. 2, pp. 327-345, 1 2010.
- [32] L. D. Rocha, M. C. Monteiro και A. J. Teodoro, «Anticancer Properties of Hydroxycinnamic Acids -A Review,» *Cancer and Clinical Oncology*, τόμ. 1, αρ. 2, 10 2012.
- [33] Μ. Χαΐνη, «Σύνθεση και φυσικοχημικός χαρακτηρισμός τροποποιημένων φλαβονοειδών. Προοπτική αλληλεπίδρασης με τρισθενή μεταλλοϊόντα,» Θεσσαλονίκη, 2020.
- [34] A. Zuijter, «Proanthocyanidin: Chemistry and Biology: From Phenolic Compounds to Proanthocyanidins,» σε *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, 2014.
- [35] J. Zhang, «Flavonoids in Grapefruit and commercial grapefruit juices: concentration, distribution, and potential health benefits,» pp. 288-294, 2007.
- [36] J. J. Peterson, G. R. Beecher, S. A. Bhagwat, J. T. Dwyer, S. E. Gebhardt, D. B. Haytowitz και J. M. Holden, «Flavanones in grapefruit, lemons, and limes: A compilation and review of the data from the analytical literature,» *Journal of Food Composition and Analysis*, τόμ. 19, 8 2006.
- [37] E. Tripoli, M. L. Guardia, S. Giammanco, D. D. Majo και M. Giammanco, «Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review,» *Food Chemistry*, τόμ. 104, αρ. 2, pp. 466-479, 1 2007.
- [38] C. A. Ledesma-Escobar, F. Priego-Capote και M. D. Luque de Castro, «Comparative Study of the Effect of Sample Pretreatment and Extraction on the Determination of Flavonoids from Lemon (Citrus limon),» *PLOS ONE*, τόμ. 11, αρ. 1, 25 1 2016.
- [39] K. Herrmann και C. W. Nagel, «Occurrence and content of hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acid compounds in foods,» *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, τόμ. 28, αρ. 4, pp. 415-347, 1 1989.
- [40] S. Klick και K. Herrmann, «Glucosides and glucose esters of hydroxybenzoic acids in plants,» *Phytochemistry*, τόμ. 27, αρ. 7, pp. 2177-2180, 1 1988.
- [41] G. Ballistreri, S. Fabroni, F. V. Romeo, N. Timpanaro, M. Amenta και P. Rapisarda, «Anthocyanins and Other Polyphenols in Citrus Genus: Biosynthesis, Chemical Profile, and Biological Activity,» σε *Polyphenols in Plants*, Elsevier, 2019, pp. 191-215.
- [42] S. Ali, «Lemon juice antioxidant activity against oxidative stress,» *Baghdad Science Journal*, τόμ. 17, 18 3 2020.
- [43] F. E. Pehlivan, «Vitamin C: An Antioxidant Agent,» σε *Vitamin C*, InTech, 2017.
- [44] W. Xi, J. Lu, J. Qun και B. Jiao, «Characterization of phenolic profile and antioxidant capacity of different fruit part from lemon (Citrus limon Burm.) cultivars,» *Journal of Food Science and Technology*, τόμ. 54, αρ. 5, pp. 1108-1118, 25 4 2017.
- [45] Y. Kato, T. Domoto, M. Hiramitsu, T. Katagiri, K. Sato, Y. Miyake, S. Aoi, K. Ishihara, H. Ikeda και N. Umei, «Effect on Blood Pressure of Daily Lemon Ingestion and Walking,» *Journal of Nutrition and Metabolism*, pp. 1-6, 2014.
- [46] D. Harats, S. Chevion, M. Nahir, Y. Norman, O. Sagee και E. Berry, «Citrus fruit supplementation reduces lipoprotein oxidation in young men ingesting a diet high in saturated fat: presumptive evidence for an interaction between vitamins C and E in vivo,» *The American Journal of Clinical Nutrition*, τόμ. 67, αρ. 2, pp. 240-245, 2 1998.
- [47] A. Riaz, R. Khan, T. Mirza, T. Mustansir και M. Ahmed, «In vitro/in vivo effect of Citrus limon (L. Burm. f.) juice on blood parameters, coagulation and anticoagulation factors in rabbits,» *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, τόμ. 27, pp. 907-915, 2014.

- [48] E. Etebu και A. B. Nwauzoma, «A review on sweet orange (*Citrus sinensis* L Osbeck): health, diseases and management,» *American Journal of Research Communication*, τόμ. 2, αρ. 2, pp. 33-70, 2014.
- [49] P. A. Roussos, «Orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck),» σε *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, Elsevier, 2016, pp. 469-496.
- [50] J. Favela-Hernández, O. González-Santiago, M. Ramírez-Cabrera, P. Esquivel-Ferriño και M. Camacho-Corona, «Chemistry and Pharmacology of *Citrus sinensis*,» *Molecules*, τόμ. 21, αρ. 2, 2016.
- [51] «Χημική Σύσταση Καρπών Εσπεριδοειδών,» Εργαστήριο Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [52] S. Zahr, R. Zahr, R. El Hajj και M. Khalil, «Phytochemistry and biological activities of *Citrus sinensis* and *Citrus limon*: an update,» *Journal of Herbal Medicine*, τόμ. 41, 9 2023.
- [53] L. Espina, M. Somolinos, S. Lorán, P. Conchello, D. García και R. Pagán, «Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes,» *Food Control*, τόμ. 22, αρ. 6, pp. 896-902, 6 2011.
- [54] M. K. Walingo, «Role of Vitamin C (Ascorbic Acid) on Human Health- A Review,» *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, τόμ. 5, αρ. 8, pp. 1-12, 25 4 2005.
- [55] J. Constans, C. Bennetau-Pelissero, J.-F. Martin, E. Rock, A. Mazur, A. Bedel, C. Morand και A. M. Bérard, «Marked antioxidant effect of orange juice intake and its phytomicronutrients in a preliminary randomized cross-over trial on mild hypercholesterolemic men,» *Clinical Nutrition*, τόμ. 34, αρ. 6, pp. 1093-1100, 2015.
- [56] S. S. Liew, W. Y. Ho, S. K. Yeap και S. A. B. Sharifudin, «Phytochemical composition and in vitro antioxidant activities of *Citrus sinensis* peel extracts,» *PeerJ*, τόμ. 6, 2018.
- [57] E. Brasili, N. M. A. Hassimotto, F. Del Chierico, F. Marini, A. Quagliariello, F. Sciubba, A. Miccheli, L. Putignani και F. Lajolo, «Daily Consumption of Orange Juice from *Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Cara Cara and cv. Bahia Differently Affects Gut Microbiota Profiling as Unveiled by an Integrated Meta-Omics Approach,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, τόμ. 67, αρ. 5, pp. 1381-1391, 6 2 2019.
- [58] M. S. Rahman και C. O. Perera, «Drying and food preservation,» *Handbook of food preservation*.
- [59] A. K. Yadav και S. V. Singh, «Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review,» *Journal of Food Science and Technology*, τόμ. 51, αρ. 9, pp. 1654-1673, 22 9 2014.
- [60] Τ. Π. και Τ. Κ., «Χημεία, Μικροβιολογία και Αρχές Συντήρησης Τροφίμων,» pp. 170-172, 2020.
- [61] R. P. F. Guiné, «The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties,» *ETP International Journal of Food Engineering*, pp. 93-100, 2018.
- [62] Β. Π. Οικονομοπούλου, «Ανάπτυξη τροφίμων πορώδους δομής,» 2014.
- [63] M. Aversa, S. Curcio, V. Calabrò και G. Iorio, «An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process,» *Journal of Food Engineering*, τόμ. 78, αρ. 3, pp. 922-932, 2 2007.
- [64] M. Krokida και Z. Maroulis, «EFFECT OF DRYING METHOD ON SHRINKAGE AND POROSITY,» *Drying Technology*, τόμ. 15, αρ. 10, pp. 2441-2458, 1997.
- [65] M. Krokida, E. Tsami και Z. Maroulis, «KINETICS ON COLOR CHANGES DURING DRYING OF SOME FRUITS AND VEGETABLES,» *Drying Technology*, τόμ. 16, pp. 667-685, 1998.

- [66] Z. Maroulis, E. Tsami, D. Marinou-Kouris και G. Saravacos, «Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits,» *Journal of Food Engineering*, τόμ. 7, αρ. 1, pp. 63-78, 1988.
- [67] K. LIMPAIBOON, «Mathematical Modeling of Drying Kinetics of Bird's Eye Chilies in a Convective Hot-Air Dryer,» *WALAILAK JOURNAL- Engineering and Physical Sciences*, 2013.
- [68] M. Nowacka, M. Dadan και U. Tylewicz, «Drying Technologies in Food Processing,» *Applied Sciences*, τόμ. 13, αρ. 19, 22 9 2023.
- [69] L. Garcia-Amezquita, J. Welti-Chanes, F. Vergara-Balderas και D. Bermúdez-Aguirre, «Freeze-drying: The Basic Process,» σε *Encyclopedia of Food and Health*, Elsevier, 2016, pp. 104-109.
- [70] N. M. Panagiotou, V. T. Karathanos και Z. B. Maroulis, «Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits,» *International Journal of Food Science & Technology*, τόμ. 33, αρ. 3, pp. 267-284, 4 6 1998.
- [71] I. Ahmed, I. M. Qazi και S. Jamal, «Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables,» *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, τόμ. 34, pp. 29-43, 4 2016.
- [72] V. Ramya και N. K. Jain, «A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach,» *Journal of Food Process Engineering*, τόμ. 40, αρ. 3, 2017.
- [73] G. V. Barbosa-Cánovas και H. Vega-Mercado, «Osmotic Dehydration,» σε *Dehydration of Foods*, Boston, MA, Springer US, 1996, pp. 265-288.
- [74] J. Shi και M. Le Maguer, «OSMOTIC DEHYDRATION OF FOODS: MASS TRANSFER AND MODELING ASPECTS,» *Food Reviews International*, τόμ. 18, αρ. 4, pp. 305-335, 31 12 2002.
- [75] N. A. Stavropoulou, V.-A. Pavlidis και M. C. Giannakourou, «Optimization of Osmotic Dehydration of White Mushrooms by Response Surface Methodology for Shelf-Life Extension and Quality Improvement of Frozen End-Products,» *Foods*, τόμ. 11, αρ. 15, 2022.
- [76] C. Ochoa-Martínez και A. Ayala-Aponte, «Prediction of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks,» *LWT - Food Science and Technology*, τόμ. 40, αρ. 4, pp. 638-645, 5 2007.
- [77] B. Singh, A. Kumar και A. Gupta, «Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes,» *Journal of Food Engineering*, τόμ. 79, αρ. 2, pp. 471-480, 3 2007.
- [78] S. Deepika και P. P. Sutar, «Osmotic dehydration of lemon (*Citrus limon* L.) slices: Modeling mass transfer kinetics correlated with dry matter holding capacity and juice sac losses,» *Drying Technology*, τόμ. 35, αρ. 7, pp. 877-892, 19 5 2017.
- [79] O. Corzo και N. Bracho, «Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets,» *Journal of Food Engineering*, τόμ. 75, αρ. 4, pp. 535-541, 8 2006.
- [80] E. Azarpazhooh και H. S. Ramaswamy, «Evaluation of Diffusion and Azuara Models for Mass Transfer Kinetics during Microwave-Osmotic Dehydration of Apples under Continuous Flow Medium-Spray Conditions,» *Drying Technology*, τόμ. 28, αρ. 1, pp. 57-67, 31 12 2009.
- [81] E. AZUARA, R. CORTÉS, H. S. GARCIA και C. I. BERISTAIN, «Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law,» *International Journal of Food Science & Technology*, τόμ. 27, αρ. 4, pp. 409-418, 1992.
- [82] P. M. Azoubel και F. Elizabeth Xidieh Murr, «Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato,» *Journal of Food Engineering*, τόμ. 61, αρ. 3, pp. 291-295, 2 2004.

- [83] F. R. Assis, R. M. S. C. Morais και A. M. M. B. Morais, «Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Food Products: Comparison Between Mathematical Models,» *Food Engineering Reviews*, τόμ. 8, αρ. 2, pp. 116-133, 2016.
- [84] N. E. Mavroudis, V. Gekas και I. Sjöholm, «Osmotic dehydration of apples —effects of agitation and raw material characteristics,» *Journal of Food Engineering*, τόμ. 35, αρ. 2, pp. 191-209, 2 1998.
- [85] S. Chandra και D. Kumari, «Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review,» *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, τόμ. 55, αρ. 4, pp. 552-561, 2015.
- [86] C. Tortoe, «A review of osmodehydration for food industry,» *African Journal of Food Science*, τόμ. 4, αρ. 6, pp. 303-324, 6 2010.
- [87] J. Cichowska, J. Żubernik, J. Czyżewski, H. Kowalska και D. Witrowa-Rajchert, «Efficiency of Osmotic Dehydration of Apples in Polyols Solutions,» *Molecules*, τόμ. 23, αρ. 2, 2018.
- [88] C. Prinziavalli, A. Brambilla, D. Maffi, R. Lo Scalzo και D. Torreggiani, «Effect of osmosis time on structure, texture and pectic composition of strawberry tissue,» *European Food Research and Technology*, τόμ. 224, αρ. 1, pp. 119-127, 17 10 2006.
- [89] A. Rizzolo, F. Gerli, C. Prinziavalli, S. Buratti και D. Torreggiani, «Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time,» *LWT - Food Science and Technology*, τόμ. 40, αρ. 3, pp. 529-535, 4 2007.
- [90] H. Kowalska, M. Trusinska, K. Rybak, A. Wiktor, D. Witrowa-Rajchert και M. Nowacka, «Shaping the Properties of Osmo-Dehydrated Strawberries in Fruit Juice Concentrates,» *Applied Sciences*, τόμ. 13, αρ. 4, 20 2 2023.
- [91] B. Brochier, L. D. F. Marczak και C. P. Z. Noreña, «Use of Different Kinds of Solutes Alternative to Sucrose in Osmotic Dehydration of Yacon,» *Brazilian Archives of Biology and Technology*, τόμ. 58, αρ. 1, pp. 34-40, 29 8 2014.
- [92] E. K. Dermesonlouoglou, K. Pantelaiaki, V. Andreou, G. J. Katsaros και P. S. Taoukis, «Osmotic pretreatment for the production of novel dehydrated tomatoes and cucumbers,» *Journal of Food Processing and Preservation*, τόμ. 43, αρ. 7, 29 7 2019.
- [93] L. Y. Nagai, A. B. Santos, F. A. Faria, M. Boscolo και M. A. Mauro, «Osmotic Dehydration of Mango with Ascorbic Acid Impregnation: Influence of Process Variables,» *Journal of Food Processing and Preservation*, τόμ. 39, αρ. 4, pp. 384-393, 8 2015.
- [94] P. Manzi, L. Gambelli, S. Marconi, V. Vivanti και L. Pizzoferrato, «Nutrients in edible mushrooms: An inter-species comparative study,» *Food Chemistry*, τόμ. 65, pp. 477-482, 1999.
- [95] H. G. Ramya και S. Kumar, «Evaluation of Mass Transfer Kinetics for Osmotic Dehydration of Oyster Mushrooms (*Pleurotus sajor-caju*) in Salt-sugar Solution,» *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, τόμ. 85, αρ. 2, pp. 517-525, 3 6 2015.
- [96] T. Cundell, «The role of water activity in the microbial stability of non-sterile drug products,» *European Pharmaceutical Review*, τόμ. 20, 2015.
- [97] S. E. N. Radwan, M. M. Hassan και T. H. Ahmed, «Microwave-drying kinetics of lemon (*Citrus limon*) determining some quality attributes of dried product,» *AgricEngIn*, τόμ. 25, pp. 211-224, 3 2023.
- [98] M. Gloria, E. Mubofu και O. Chande, «Post harvest changes in physico-chemical properties and levels of some inorganic elements in off vine ripened orange (*Citrus sinensis*) fruits cv (Navel and Valencia) of Tanzania,» *African Journal of Biotechnology*, τόμ. 9, 22 03 2010.

- [99] M. CHÁFER, C. GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, M. ORTOLÁ, A. CHIRALT και P. FITO, «KINETICS OF OSMOTIC DEHYDRATION IN ORANGE AND MANDARIN PEELS,» *Journal of Food Process Engineering*, τόμ. 24, αρ. 4, pp. 273-289, 30 10 2001.
- [100] J. González-Pérez, E. López-Méndez, J. Luna-Guevara, H. Ruiz-Espinosa, C. Ochoa-Velasco και I. Ruiz-López, «Analysis of mass transfer and morphometric characteristics of white mushroom (*Agaricus bisporus*) pilei during osmotic dehydration,» *Journal of Food Engineering*, τόμ. 240, pp. 120-132, 1 2019.
- [101] M. B.K., K. Maya, Surabhi και J. S.K., «Osmotic Dehydration as a Pre-treatment before Hot Air Drying of Mushroom (*Agaricus bisporus*),» *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, αρ. 7, pp. 1341-1349, 2018.
- [102] Β. Ά. Παυλίδης, «Βελτιστοποίηση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης για την παραγωγή αφυδατωμένων τροφίμων φυτικής προέλευσης, με εφαρμογή της μεθοδολογίας RSM (Response Surface Methodology),» Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ", Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, 2021.
- [103] N. Ghanem Romdhane, N. Djendoubi, C. Bonazzi, N. Kechaou και N. Boudhrioua Mihoubi, «Effect of Combined Air-Drying-Osmotic Dehydration on Kinetics of Techno-functional Properties, Color and Total Phenol Contents of Lemon (*Citrus limon* . v. lunari) Peels,» *International Journal of Food Engineering*, τόμ. 12, αρ. 6, pp. 515-525, 1 8 2016.
- [104] M. Chafer, S. Perez και A. Chiralt, «Kinetics of Solute Gain and Water Loss During Osmotic Dehydration of Orange Slices,» *Food Science and Technology International*, τόμ. 9, αρ. 6, pp. 389-396, 4 12 2003.