



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

Συνδυασμός ωσμωτικής προκατεργασίας και ξήρανσης με αέρα για την παραγωγή καινοτόμων αφυδατωμένων λαχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Καλλιρρόη Παντελεάκη-Τουρκοδημήτρη

Επιβλέπων Καθηγητής: Πέτρος Ταούκης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το πειραματικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή κύριο Πέτρο Ταούκη, τόσο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της εν λόγω εργασίας όσο και για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε.

Θέλω να ευχαριστήσω όλους τους διδάκτορες του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για την υπομονή, τη συμπαράσταση, τις συμβουλές, την προθυμία τους να βοηθήσουν και ιδιαιτέρως τον Δρ. Γιώργο Κατσαρό, για τη συνεχή καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Δερμεσονλούογλου Έφη και τους υποψήφιους διδάκτορες Ανδρέου Βάνα και Δημόπουλο Γιώργο οι οποίοι μου προσέφεραν απλόχερα στήριξη και καθοδήγηση καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου και έδειξαν πραγματικό ενδιαφέρον, τους Καθηγητές, τους Υποψήφιους Διδάκτορες, τους Διδάκτορες και τους συμφοιτητές μου στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του Ε.Μ.Π για τη συνεργασία μας και την προθυμία τους να με βοηθήσουν καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες αξίζουν στην συμφοιτήτριά μου Καλιούπη Κέλλυ, που με την πολύτιμη βοήθεια της κατάφερα να φέρω εις πέρας αυτή την έρευνα.

Τέλος, μεγάλη ευγνωμοσύνη οφείλω στους γονείς μου οι οποίοι αποτέλεσαν στήριγμα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και στις ευρύτερες επιλογές στη ζωή μου.

Παντελεάκη – Τουρκοδημήτρη Καλλιρρόη
Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα λαχανικά αποτελούν μία ομάδα τροφίμων εξαιρετικά ευαλλοίωτη, συγκριτικά με άλλες ομάδες τροφίμων. Προκειμένου να αυξηθεί η ποιότητα και η διατηρησιμότητα των λαχανικών, είναι απαραίτητος ο έλεγχος του ρυθμού μεταβολής των ποιοτικών τους δεικτών. Η σύγχρονη τάση για ηπιότερες και ενεργειακά αποτελεσματικές μεθόδους επεξεργασίας τροφίμων, ιδιαίτερα φρούτων και λαχανικών, για την παραγωγή τελικών προϊόντων υψηλής ποιότητας οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων αφυδάτωσης.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων όπως είναι η ωσμωτική αφυδάτωση και ο συνδυασμός της με συμβατική ξήρανση με αέρα, σε δείγματα φρέσκιας τομάτας και αγγουριού, με στόχο τη μείωση του χρόνου ξήρανσης, με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητάς τους, κατά το δυνατόν πλησιέστερα των φρέσκων. Η ωσμωτική αφυδάτωση των τροφίμων έχει ως στόχο την βελτίωση των θρεπτικών, των οργανοληπτικών και των λειτουργικών ιδιοτήτων τους. Επιπλέον, επιτυγχάνεται ελάττωση της ενεργότητας νερού που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών, και όλων των ρυθμών δράσεων υποβάθμισης γενικότερα. Η επεξεργασία με τη μέθοδο της ξήρανσης έχει ως στόχο τη διατήρηση των λαχανικών, με μείωση της ενεργότητας νερού, σε επίπεδα κάτω του 0,6 που αναστέλουν τις μικροβιακές και ενζυμικές δράσεις και την συσχετιζόμενη υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος. Η συνδυαστική εφαρμογή τους για την παραγωγή “νέων” προϊόντων λαχανικών σε αφυδατωμένη μορφή με βελτίωση της τελικής τους ποιότητας αποτέλεσε αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η μελέτη έγινε σε τομάτα και αγγούρι, φυτικά προϊόντα ιδιαίτερα ευαίσθητα στις επεξεργασίες και με δυνητικό ενδιαφέρον ως πρώτες ύλες σε καινοτόμα προϊόντα τύπου σνακ με βάση τα λαχανικά.

Αρχικά, έγινε μελέτη για την επίδραση που έχει η ωσμωτική προκατεργασία σε φρέσκα δείγματα τομάτας και αγγουριού στην τιμή της ενεργότητας νερού και στα φαινόμενα μεταφοράς νερού και στερεών, με στόχο την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών προκατεργασίας (συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου, θερμοκρασία, χρόνος

προκατεργασίας και αναλογία ωσμωτικού διαλύματος-τροφίμου). Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντελεστές διάχυσης για το νερό και τα στερεά (Dew και Des) για τα δείγματα τομάτας και αγγουριού. Οι συνθήκες επεξεργασίας που θεωρήθηκαν ως βέλτιστες ήταν η ωσμωτική προκατεργασία σε ωσμωτικό διάλυμα **60% γλυκερόλης για 60 min σε θερμοκρασία 35°C με αναλογία τροφίμου-ωσμωτικού διαλύματος 1:3**. Στις συγκεκριμένες συνθήκες προεπεξεργασίας, τα δείγματα τομάτας είχαν τελικά 81% υγρασία και 0,86 ενεργότητα νερού και τα δείγματα αγγουριού 79% υγρασία και 0,85 ενεργότητα νερού. Η επίδραση των συνθηκών επεξεργασίας στις παραμέτρους της ωσμωτικής επεξεργασίας, περιγράφηκε με χρήση κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων. Συνολικά, προσαρμόστηκε ένα συνδυαστικό μαθηματικό μοντέλο με σκοπό τον υπολογισμό των τιμών των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, συναρτήσει της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος, της συγκέντρωσης σε γλυκερόλη και την αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο.

Σε δεύτερο στάδιο έγινε μελέτη της επίδρασης που έχει η ξήρανση με αέρα σε προϊόντα επεξεργασμένα στις βέλτιστες συνθήκες προκατεργασίας με ωσμωτική αφυδάτωση (60% γλυκερόλης για 60min σε 35°C με αναλογία τροφίμου-ωσμωτικού διαλύματος 1:3), με τελικό στόχο την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών ξήρανσης που να επιτυγχάνουν διατήρηση της ποιότητας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και όσο δυνατόν οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας (ηπιότερες συνθήκες επεξεργασίας). Προσδιορίστηκαν οι καμπύλες ξήρανσης των ωσμωτικά προκατεργασμένων δειγμάτων και δειγμάτων μαρτύρων (control) σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 40°C, 55°C και 70°C. Υπολογίστηκαν οι φαινόμενοι συντελεστές διάχυσης (Deff) και οι σταθερές της εξίσωσης Arrhenius που περιγράφει την εξάρτηση από τη θερμοκρασία του ρυθμού ξήρανσης για τα δείγματα τομάτας και αγγουριού. Με βάση τις σταθερές του ρυθμού ξήρανσης υπολογίστηκε ο χρόνος ξήρανσης, για 20% εναπομένουσα υγρασία σε ωσμωτικά προκατεργασμένα και ανεπεξεργαστα δείγματα τομάτας και αγγουριού.

Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη μείωση του χρόνου ξήρανσης σε σχέση με τα ακατέργαστα δείγματα. Συγκεκριμένα στα δείγματα τομάτας στους **55°C** ο χρόνος ξήρανσης μειώθηκε κατά **52%** ενώ στο αγγούρι κατά **69%**. Με αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης η διαφορά

μεταξύ του χρόνου ξήρανσης των ωσμωτικά προκατεργασμένα και ανεπεξέργαστων δειγμάτων μειώνεται.

Συμπερασματικά, η συνδυαστική εφαρμογή των τεχνολογιών ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της συμβατικής ξήρανσης μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο ξήρανσης των δειγμάτων, με αποτέλεσμα μικρότερες απαιτήσεις χρόνου και ενέργειας.

Combination of osmotic pretreatment and air drying for the production of novel dehydrated vegetables

Vegetables are considered as sensitive and perishable as food raw materials. In order to increase their quality and sustainability it is necessary to control the rate of change of the quality indicators. The modern trend towards milder and more energy efficient food processing methods, especially for fruit and vegetables, aiming to produce high-quality products has led the research to alternative dehydration methods.

The subject of the current thesis is the implementation of the process of osmotic dehydration and the combination of osmotic dehydration with conventional air drying in fresh tomato and cucumber samples in order to reduce the drying time, maintaining at the same time their quality to resemble as much as possible the fresh counter parts. On one hand, osmotic dehydration of foods aims to improve their nutritional, organoleptic and functional properties. Moreover, lower water activity is achieved which leads to the reduction of microorganism growth and the degradation rates of other quality factors, sensorial and nutritional. On the other hand, food treatment with conventional air drying targets the preservation of vegetables through the reduction of water activity, to levels below 0,6, that hinder microbial and enzymatic activities and the associated degradation of product quality. Combining both methods for the production of “new” vegetables in dehydrated form has been the main goal of this thesis.

The effect of osmotic pretreatment on fresh tomato and cucumber samples regarding the water activity value and water and solid transport phenomena was examined, in order to select the best pretreatment conditions (i.e. osmotic agent concentration, temperature, process duration and ratio osmotic solution-food). The effective diffusion coefficients for water and solids ($D_{w,e}$ and $D_{s,e}$) on the tomato and cucumber samples were calculated. The processing conditions which were considered optimum were osmotic pretreatment to osmotic solution of **60% glycerol for 60 min at 35 °C with a food-osmotic solution ratio of 1:3**. In the aforementioned pretreatment conditions, tomato samples had 81% moisture and a water activity of

0.86 while cucumber samples 79% and 0.85 respectively. The impact of processing conditions on the parameters of the osmotic treatment was described using suitable mathematical equations. Overall, a combined mathematical model was used in order to calculate the values of diffusion coefficients for water loss and solids intake in function of osmotic solution temperature, glycerol concentration and food-osmotic agent ratio.

In the second phase, the influence of conventional air drying to products being processed in optimal pretreatment conditions with osmotic dehydration (60% glycerol for 60min at 35 °C with a food-osmotic solution ratio of 1: 3) was evaluated. The main goal was to select the best drying conditions in order to achieve quality and organoleptic characteristics preservation and lower power consumption as much as possible (milder processing conditions). The drying curves of osmotically pretreated samples and control samples were determined at three different temperatures, 40°C, 55°C and 70°C. Furthermore, the diffusion coefficients (D_{eff}) and the Arrhenius constant drying rate for tomato and cucumber samples were calculated. Finally, using the drying rate constants, the drying time for 20% residual moisture on osmotically pretreated and untreated tomato and cucumber samples was specified. Osmotic dehydration as pretreatment drying resulted in highly reduced drying time compared to untreated samples. Specifically, at **55°C** the drying time in tomato samples was reduced by **52%** while in cucumber by **69%**. By increasing the drying temperature, the difference between the drying time of osmotic pretreated and untreated samples decreases.

To sum up, the combined application of osmotic dehydration as a pretreatment technology to conventional drying can significantly reduce the drying time of the samples, resulting in reduced time and energy requirements.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Ποιότητα και διατηρησιμότητα των λαχανικών	4
1.2.1 Βασικές μεταβολές στα λαχανικά	4
1.2.2 Επίδραση της ενεργότητας του νερού στη διατηρησιμότητα των λαχανικών	5
1.3 Τομάτα.....	7
1.3.1 Χαρακτηριστικά φρέσκιας τομάτας.....	7
1.3.2 Προϊόντα τομάτας.....	9
1.4 Αγγούρι.....	14
1.4.1 Χαρακτηριστικά φρέσκου αγγουριού	14
1.4.2 Προϊόντα αγγουριού.....	15
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ	17
2.1 Συντήρηση με χρήση θερμικής επεξεργασίας.....	17
2.1.1 Η επίδραση της θερμότητας στους μικροοργανισμούς.....	17
2.1.1.1 Μαγείρεμα	17
2.1.1.2 Ζεμάτισμα.....	17
2.1.1.3 Παστερίωση.....	18
2.1.1.4 Αποστείρωση.....	18
2.1.2 Κονσερβοποίηση	19
2.1.3 Θερμοκρασία και χρόνος αποστείρωσης.....	21
2.2 Συντήρηση με ψύξη	23
2.2.1 Εισαγωγοί και ορισμοί.....	23
2.2.2 Θερμοκρασία και σχετική υγρασία	24
2.3 Συντήρηση με κατάψυξη.....	25
2.3.1 Εισαγωγή-Ορισμοί.....	25
2.3.2 Θερμοκρασία και σχετική υγρασία	26
2.4 Νέες μέθοδοι επεξεργασίας λαχανικών	27
2.4.1 Ωσμωτική αφυδάτωση	27
2.4.2 Υπερυψηλή πίεση	28
2.4.3 Παλλόμενα Ηλεκτρικά Πεδία.....	28
2.4.4 Ακτινοβολήση	29

3. ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ	31
3.1 Γενικά	31
3.2 Μηχανισμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης	32
3.3 Εφαρμογή του Δεύτερου Νόμου Διάχυσης του Fick στην Ωσμωτική Αφυδάτωση	33
3.4 Παράμετροι που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση	35
3.4.1 Παράμετροι ωσμωτικού μέσου	35
3.4.2 Παράμετροι της διεργασίας	39
3.5 Διαχείριση ωσμωτικού διαλύματος.....	42
3.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	44
3.7 Ωσμωτική αφυδάτωση και τεχνολογία εμποδίων	45
4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΕΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ	47
4.1 Γενικά	47
4.2 Ξήρανση	48
4.2.1 Εισαγωγή.....	48
4.2.2 Αλλαγές στην ποιότητα των λαχανικών κατά την ξήρανση	49
4.2.2.1 Αντιδράσεις αμαύρωσης.....	49
4.2.2.2 Σκλήρυνση φλοιού ή Σχηματισμός κρούστας (Case hardening)....	50
4.2.3 Μέθοδοι ξήρανσης	51
4.2.3.1 Θερμική ξήρανση	51
4.2.4 Μαθηματική μοντελοποίηση της ξήρανσης	60
4.2.4.1 Καμπύλες ξήρανση	60
4.2.4.2 Περιγραφή της Ξήρανσης με το Δεύτερο Νόμο Διάχυσης του Fick 61	
4.2.5 Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης	62
4.3 Κατάψυξη	64
4.3.1 Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της κατάψυξης.....	65
5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	69
5.1 Εισαγωγή	69
5.2 Πειραματικός σχεδιασμός κατά την Πρώτη Θεματική Ενότητα : Ωσμωτική επεξεργασία δειγμάτων τομάτας και αγγουριού.	69
5.2.1 Ωσμωτική προκατεργασία τομάτας και αγγουριού	69
5.2.2 Μέτρηση παραμέτρων ώσμωσης κατά την ωσμωτική προκατεργασία 71	
5.2.2.1 Προσδιορισμός απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών	71
5.2.2.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού.....	72

5.2.3	Υπολογισμός παραμέτρων της ωσμωτικής προκατεργασίας	73
5.3	Πειραματικός σχεδιασμός κατά την Δεύτερη Θεματική Ενότητα : Ξήρανση ωσμωτικά προκατεργασμένων αγγουριών και ντοματών	76
5.3.1	Ωσμωτική προκατεργασία τομάτας και αγγουριού πριν τη ξήρανση ..	76
5.3.2	Μέτρηση παραμέτρων ξήρανσης κατά την ξήρανση	76
5.3.3	Υπολογισμός παραμέτρων κατά την ξήρανση	77
5.3.4	Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής h	79
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	81
6.1	Πρώτη Θεματική Ενότητα : Ωσμωτική επεξεργασία δειγμάτων τομάτας και αγγουριού.	81
6.1.1	Σκοπός.....	81
6.1.2	Τομάτα: Επίδραση θερμοκρασίας, χρόνου, συγκέντρωσης και αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος	81
6.1.2.1	Υπολογισμός απώλειας νερού- πρόσληψης στερεών	81
6.1.2.2	Ενεργότητα νερού, aw.....	91
6.1.2.3	Συντελεστές Διάχυσης.....	95
6.1.2.4	Προσαρμογή μαθηματικού μοντέλου.....	101
6.1.3	Αγγούρι: Επίδραση θερμοκρασίας, χρόνου, συγκέντρωσης και αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος	105
6.1.3.1	Υπολογισμός απώλειας νερού- πρόσληψης στερεών	105
6.1.3.2	Ενεργότητα νερού, aw.....	115
6.1.3.3	Συντελεστές Διάχυσης.....	119
6.1.3.4	Προσαρμογή μαθηματικού μοντέλου.....	123
6.1.4	Συμπέρασμα	128
6.2	Δεύτερη Θεματική Ενότητα : Ξήρανση ωσμωτικά προκατεργασμένων δειγμάτων τομάτας και αγγουριού.	131
6.2.1	Σκοπός.....	131
6.2.2	Υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής στον ξηραντήρα	131
6.2.3	Τομάτα: Προσδιορισμός καμπυλών ξήρανσης και φαινόμενων συντελεστών διάχυσης	132
6.2.4	Αγγούρι: Προσδιορισμός καμπυλών ξήρανσης και φαινόμενων συντελεστών διάχυσης	138
6.2.5	Ανάλυση κόστους διεργασίας	144
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	145
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	149

1. ΛΑΧΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

1.1 Γενικά

Τα λαχανικά είναι απαραίτητα συστατικά της ανθρώπινης διατροφής και υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις για τα οφέλη στην υγεία και στη διατροφή που συνδέονται με την κατανάλωσή τους (Abadias et al., 2008).

Ο όρος **λαχανικό** αναφέρεται στο νωπό φαγώσιμο τμήμα ενός ποώδους φυτού, που χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη περιεκτικότητα του σε νερό συγκριτικά με τα άλλα συστατικά του. Ο όρος κατ' επέκταση αναφέρεται σε ολόκληρο το φυτό από το οποίο προέρχεται το φαγώσιμο τμήμα.

Όλα τα λαχανικά περιέχουν υδατάνθρακες, βιταμίνες και σε μικρό ποσοστό πρωτεΐνες.

Στα φρέσκα λαχανικά η περιεκτικότητα σε νερό είναι συνήθως πάνω από 70% του συνολικού βάρους, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι συνήθως 3,5% ή λιγότερο και η περιεκτικότητα σε λιπαρά 0,5% ή λιγότερο.

Τα κυτταρικά τοιχώματα προσδιορίζουν την κατασκευή του κυττάρου, την υφή του φυτικού ιστού και άλλα διακρινόμενα χαρακτηριστικά, και αποτελούνται στο μεγαλύτερο μέρος από πηκτίνες, ημικυτταρίνες και κυτταρίνες.

Το χρώμα των λαχανικών προέρχεται κυρίως από χρωστικές, όπως είναι η χλωροφύλλη που δίνει το πράσινο χρώμα, τα καροτενοειδή που δίνουν το κίτρινο ή κόκκινο χρώμα, τα φλαβονοειδή, περιλαμβανομένων των φλαβονών, που είναι ελαφρώς κίτρινα ή σχεδόν άχρωμα και οι ανθοκυανίνες που δίνουν τον σκούρο ή πορφυρό χρωματισμό.

Διατροφική αξία

Τα λαχανικά προσφέρουν μερικά θρεπτικά στοιχεία ως προς τα οποία άλλες τροφές παρουσιάζουν έλλειψη και βοηθούν στην εξουδετέρωση της όξινης αντίδρασης που δημιουργείται κατά την πέψη τροφών, όπως είναι το κρέας, το τυρί κ.ά. Η κυτταρίνη των κυτταρικών τοιχωμάτων αποτελεί δύσπεπτη ύλη που απορροφά το νερό και δημιουργεί όγκο απαραίτητο για την κανονική λειτουργία του πεπτικού συστήματος. Τα λαχανικά προσφέρουν επίσης πολλά ανόργανα στοιχεία που

χρειάζεται ο ανθρώπινος οργανισμός. Ιδιαίτερα είναι πλούσια σε ασβέστιο και σίδηρο και είναι καλές πηγές σε νάτριο, χλώριο, κοβάλτιο, χαλκό, μαγνήσιο, μαγγάνιο, φώσφορο και κάλιο.

Η ποιότητα των θρεπτικών συστατικών που παρέχονται από τα λαχανικά είναι δυνατό να επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η σύσταση του εδάφους και οι κλιματικές συνθήκες. Τα λαχανικά, μαζί με τα φρούτα, που βρίσκονται στην ίδια διατροφική κατηγορία, βρίσκονται στην δεύτερη βάση της διατροφικής πυραμίδας της Μεσογειακής διατροφής, η οποία δείχνει ότι ο άνθρωπος θα πρέπει να καταναλώνει κάθε μέρα 5-6 μερίδες λαχανικών την ημέρα.

- Βιταμίνες

Διάφορα λαχανικά είναι από τις πιο σπουδαίες πηγές βιταμινών. Περιέχουν μεγάλες ποσότητες βιταμινών Α και C καθώς και B₁ και B₂ και σε μικρότερη ποσότητα PP και φολικό οξύ.

Η καροτίνη που μετατρέπεται στο σώμα με το φως σε βιταμίνη Α, βρίσκεται σε αφθονία στα πορτοκαλόχρωμα λαχανικά όπως το καρότο και στα σκούρα πράσινα φυλλώδη λαχανικά. Το ασκορβικό οξύ ή βιταμίνη C αφθονεί στην πιπεριά, τη ρέβα στα κραμβοειδή και σε φυλλώδη λαχανικά. Οι βιταμίνες B₁ και B₂ περιέχονται στα χλωρά φασολάκια, τα σπαράγγια και το σπανάκι. Η PP στα κραμβοειδή, χλωρά φασολάκια, καρότα, σπανάκι κ.α.

- Πρωτεΐνες και υδατάνθρακες

Λίγα λαχανικά είναι αξιόλογες πηγές πρωτεϊνών ή υδατανθράκων. Τέτοια είναι τα φασολάκια και ο αρακάς, που είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, και οι πατάτες και γλυκοπατάτες, που είναι σπουδαία πηγή υδατανθράκων.

Ταξινόμηση των λαχανικών

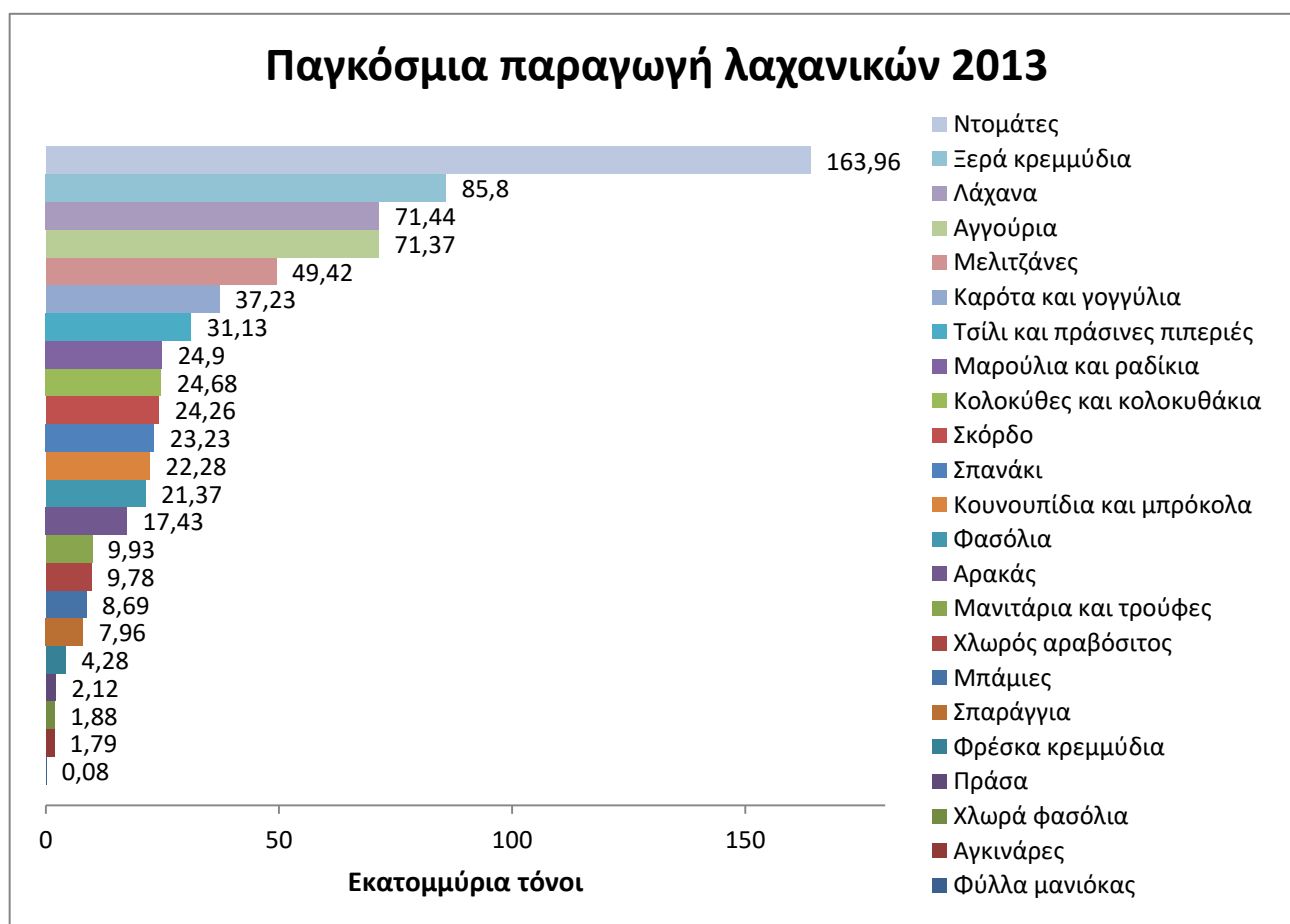
Τα διάφορα λαχανικά ταξινομούνται με βάση τη βοτανική τους σχέση, καθώς ο τύπος αύξησης και ευασθησίας σε προσβολές από έντομα και ασθένειες μοιάζουν περισσότερο σε φυτά με βοτανική συγγένεια παρά σε φυτά χωρίς βοτανική συγγένεια.

Μια πιο πρακτική ταξινόμηση των λαχανικών βασίζεται στο μέρος του φυτού που χρησιμοποιείται για τροφή, όπως τη ρίζα το στέλεχος, τα φύλλα κ.λπ. Μια άλλη ταξινόμηση βασίζεται στις κλιματικές απαιτήσεις των φυτών που βοηθάει πολύ

στον προσδιορισμό της εποχής σποράς στις διάφορες περιοχές. (Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρους Larousse Britannica, 2007)

Όπως παρατηρείται στο σχήμα (1.1) οι τομάτες είναι στην κορυφή της παγκόσμιας παραγωγής λαχανικών. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι αποτελεί κύρια πηγή βιταμινών και αντιοξειδωτικών μας οδήγησε στην περαιτέρω μελέτη της στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Επιπλέον αντικείμενο μελέτης αποτέλεσε και το αγγούρι λόγω της υψηλής του θέσης στην παγκόσμια παραγωγή λαχανικών (4^η), του καθοριστικού ρόλου που έχει μαζί με την τομάτα στην Μεσογειακή διατροφή και της μη περαιτέρω βιομηχανικής του επεξεργασίας.



Σχήμα 1.1. Ετήσια παραγωγή λαχανικών για το έτος 2013 παγκοσμίως (Statista)

1.2 Ποιότητα και διατηρησιμότητα των λαχανικών

1.2.1 Βασικές μεταβολές στα λαχανικά

Ποιότητα στα νωπά λαχανικά είναι ο συνδυασμός φυσικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων που αναφέρονται στη βρωσιμότητα, στην εμφάνιση και γενικώς στη χρησιμότητα ενός προϊόντος, στο οποίο δίνουν θρεπτική αξία, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τον καταναλωτή. Οι παράγοντες που επηρεάζουν κάποια από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στο πίνακα (1.1), ενώ τα κριτήρια που καθορίζουν την ποιότητα στον πίνακα (1.2).

Πίνακας 1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των νωπών λαχανικών (Kader 1992)

Παράγοντας	Χαρακτηριστικό ποιότητας
<u>Παράγοντες περιβάλλοντος :</u> Θερμοκρασία, φως	Θρεπτική αξία
<u>Καλλιεργητικές τεχνικές :</u> Τύπος εδάφους, άρδευση, κλάδεμα, λίπανση	Θρεπτική αξία Ανόργανα μέταλλα
<u>Στάδιο ωριμότητας κατά την συγκομιδή</u>	Πρώιμη συγκομιδή : γεύση, χρώμα, άρωμα, φυσιολογικές ασθένειες – επιφανειακή αμαύρωση Ώριμη συγκομιδή: αδυναμία μακροχρόνιας συντήρησης
<u>Μέθοδος συγκομιδής (τραυματισμοί)</u>	Θρεπτική αξία
<u>Μετασυλλεκτικοί χειρισμοί :</u> έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες, καθυστέρηση ψύξης	Φυσιολογικές ασθένειες, θρεπτική αξία, άρωμα, γεύση

Πίνακας 1.2 Κριτήρια ποιότητας νωπών λαχανικών (Kader 1992)

Κριτήριο	Χαρακτηριστικά
Εμφάνιση	Μέγεθος: διαστάσεις, βάρος, όγκος Σχήμα και μορφή: σχέση διαμέτρου/μήκους Χρώμα: ομοιομορφία, ένταση Ελαττώματα: εξωτερικά, εσωτερικά
Δομή/Υφή	Σκληρότητα, τραγανότητα, αντοχή στη συμπίεση Περιεκτικότητα σε χυμό – Συγκέντρωση σε άμυλο
Γεύση	Γλυκύτητα – Οξύτητα – Στυφότητα – Πικρότητα
Οσμή	Ευχάριστη / δυσάρεστη
Θρεπτική αξία	Υδατάνθρακες Πρωτεΐνες- Λιπίδια – Βιταμίνες – Ανόργανα μέταλλα

Ασφάλεια	Τοξικές ουσίες που σχηματίζονται φυσιολογικά Ρύποι (χημικά υπολείμματα, βαρέα μέταλλα) Μυκοτοξίνες Βακτηριακή μόλυνση
----------	--

1.2.2 Επίδραση της ενεργότητας του νερού στη διατηρησιμότητα των λαχανικών

Η ενεργότητα του νερού είναι το μέγεθος που περιγράφει τη θερμοδυναμική διαθεσιμότητα του νερού σε ένα σύστημα (Nelson, 1993). Χωρίς νερό δεν μπορεί να επιβιώσει καμία γνωστή μορφή ζωής. Η ποσότητα του νερού ενός τροφίμου παίζει σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη των μικροβίων. Τα λαχανικά αποτελούνται περίπου κατά 74%-95% από νερό, προσφέροντας έτσι ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης στα μικρόβια.

Το νερό στα λαχανικά διακρίνεται σε δύο μορφές:

- στο χημικώς “ενωμένο” ή “δεσμευμένο νερό” και
- στο κατά τη φυσικοχημική έννοια “ελεύθερο νερό” το οποίο είναι παγιδευμένο στους τριχοειδείς πόρους.

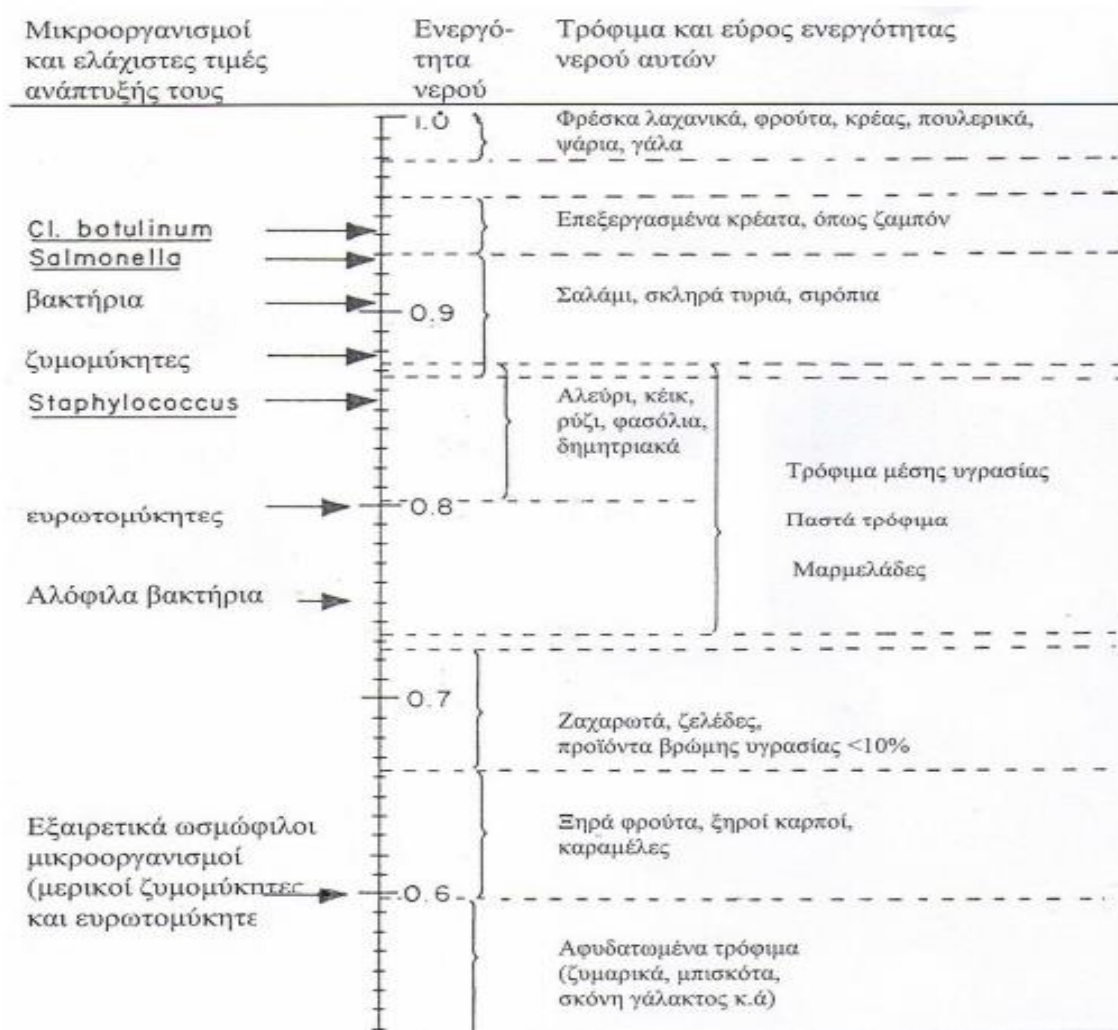
Ο όρος “δεσμευμένο νερό” περιγράφει το νερό που βρίσκεται πλησίον άλλων, μη υδατικών συστατικών του τροφίμου, και έχει ιδιότητες διαφορετικές από το νερό που αποτελεί τη κύρια μάζα του τροφίμου, με περιορισμένη δυνατότητα κινητικότητας (Fennema, 1996). Το “δεσμευμένο νερό” δεν έχει καμία σπουδαιότητα για την ανάπτυξη των μικροβίων, αφού δεν είναι διαθέσιμο για χημικές ή ενζυμικές δράσεις. Αντίθετα, το “ελεύθερο νερό” έχει πολύ μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη των μικροβίων, γιατί διατηρεί τις φυσικοχημικές ιδιότητες του καθαρού νερού.

Η ενεργότητα του νερού ορίζεται ως το πηλίκο της τάσης ατμών του νερού που βρίσκεται σε ισορροπία με το τρόφιμο p προς την τάση ατμών του καθαρού νερού p_0 στην ίδια θερμοκρασία (Εξίσωση 1.1).

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (\text{Εξίσωση 1.1})$$

Η μείωση της ενεργότητας του νερού στα λαχανικά, του διαθέσιμου δηλαδή νερού για την πραγματοποίηση των χημικών δράσεων οδηγεί σε ελάττωση των ρυθμών των δράσεων υποβάθμισης, όπως η ανάπτυξη διαφόρων μικροβιακών ειδών, η υφή και η ποιότητα, βελτιώνοντας σημαντικά τη διατηρησιμότητα του λαχανικού.

Η ενεργότητα του νερού και όχι η υγρασία του τροφίμου καθορίζει το ελάχιστο όριο του διαθέσιμου νερού για μικροβιακή ανάπτυξη και δράση. Τα περισσότερα βακτήρια δεν αναπτύσσονται σε τιμές ενεργότητας χαμηλότερες από 0,91, οι περισσότεροι ζυμομύκητες σε τιμές χαμηλότερες από 0,88 και οι περισσότεροι ευρωτομύκητες σε τιμές χαμηλότερες από 0,80. Εξαιρετικά ωσμώφιλοι μύκητες έχει αναφερθεί ότι αναπτύσσονται και σε τιμές 0,60 – 0,65 αλλά γενικά το κατώτερο όριο ανάπτυξης των συχνότερα εβρισκόμενων μικροοργανισμών στα τρόφιμα είναι 0,7 – 0,75. Ενδεικτικές ελάχιστες τιμές ενεργότητας νερού για την ανάπτυξη μικροοργανισμών και το εύρος της ενεργότητας νερού ορισμένων κατηγοριών τροφίμων δίνονται στο σχήμα (1.2). Οι ελάχιστες τιμές βέβαια επηρεάζονται και από τους άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών (pH, θερμοκρασία, θρεπτικά συστατικά, οξυγόνο) και είναι τόσο μεγαλύτερες όσο δυσμενέστεροι είναι αυτοί οι παράγοντες. Η ανάπτυξη τοξινών είναι δυνατή σε πολλές περιπτώσεις σε τιμές ενεργότητας μεγαλύτερες από εκείνες της ανάπτυξη των αντίστοιχων μικροοργανισμών, γεγονός που παρέχει σε αυτές τις περιπτώσεις ένα πρόσθετο παράγοντα ασφάλειας. Τα ξηρά ή αφυδατωμένα τρόφιμα έχουν τιμές ενεργότητας νερού κατώτερες από 0,6 – 0,65, ώστε να εξασφαλίζεται η αδυναμία ανάπτυξης και παραγωγής τοξίνης των μικροοργανισμών (Ταούκης Π. & Ωραιπούλου Β., 2009). ρ₀



Σχήμα 1.2. Ελάχιστες τιμές ενεργότητας νερού για την ανάπτυξη ορισμένων μικροοργανισμών και τυπικό εύρος ενεργότητας νερού μερικών τροφίμων (Karel 1975)

1.3 Τομάτα

1.3.1 Χαρακτηριστικά φρέσκιας τομάτας

Η τοματιά είναι ένα φυτό που ανήκει στο γένος *Lycopersicon* της οικογένειας *Solanaceae* και θεωρείται από τις σπουδαιότερες καλλιέργειες στον κόσμο από άποψη οικονομικής σημασίας, έκτασης καλλιέργειας και διατροφικής αξίας (Belitz et al., 2004). Περιλαμβάνει επτά είδη από τα οποία το σημαντικότερο είναι το *Lycopersicon esculentum* και στην Ελλάδα καλλιεργείται σαν ετήσιο φυτό.

Ο καρπός είναι ράγα, πολύχρωρη, σαρκώδης και χυμώδης με ποικίλο σχήμα. Συνήθως είναι σφαιρικό ή ελλειψοειδές. Κάθε χώρος περιέχει πολλά μικρά

σπέρματα, που περιβάλλονται από ζελατινώδη πολτό και το χρώμα της κυμαίνεται από χρυσοκίτρινο έως βαθύ κόκκινο.

Η χημική σύσταση του καρπού της τομάτας εξαρτάται από παράγοντες όπως η καλλιέργεια, ο βαθμός ωρίμανσης και οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την καλλιέργεια και την ωρίμανση (Abushita et al., 2000, Davies & Hobson, 1981). Το νερό στην τομάτα κυμαίνεται από 93 έως 95% (Gould, 1992). Η περιεκτικότητα στα κυριότερα συστατικά της τομάτας και τα διατροφικά στοιχεία της φαίνεται στον Πίνακα (1.3) και (1.4) αντίστοιχα. Η αντιοξειδωτική δράση της τομάτας οφείλεται στις βιταμίνες (είναι πλούσια σε βιταμίνη C), στα καροτονοειδή και στα φλαβονοειδή.

Πίνακας 1.3 Περιεκτικότητα των κυριότερων συστατικών σύνθεσης της τομάτας (Gould, 1992)

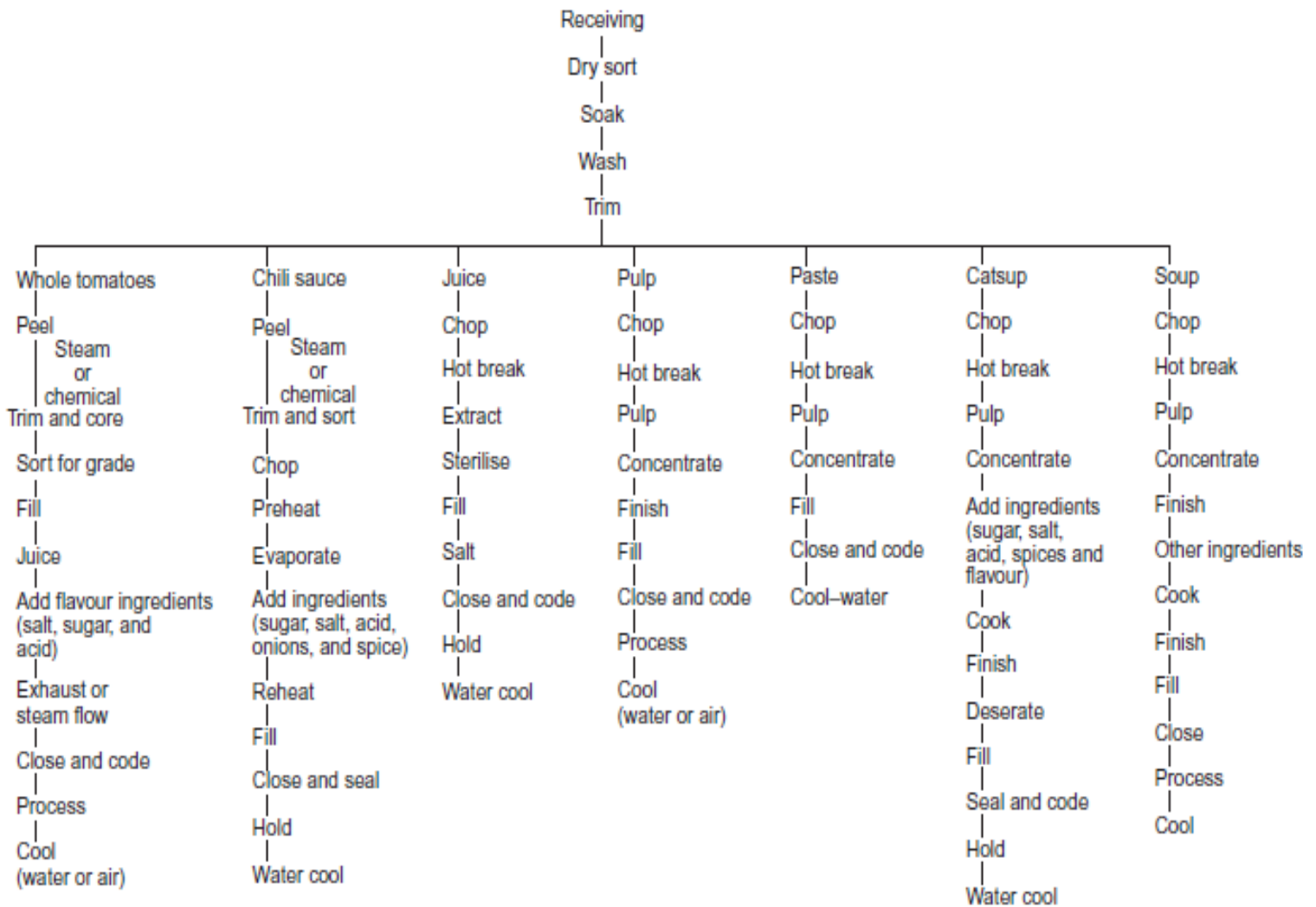
Συστατικό	Περιεχόμενο (%)
Ολικά στερεά	7,0 – 8,5
Αδιάλυτα στερεά	1,0
Διαλυτά στερεά	4,0 – 6,0
Σάκχαρα	2,0 – 3,0
Οξέα	0,3 – 0,5
Πρωτεΐνες και αμινοξέα	0,8 – 1,2
Ανόργανα άλατα	0,3 – 0,6
Άλατα (χλωριούχο νάτριο)	0,05 – 0,1

Πίνακας 1.4 Διατροφικά στοιχεία τομάτας (USDA Nutrient database)

Ντομάτα	Ποσότητα ανά 100 g
Θερμίδες (kcal)	17
Λιπίδια (g)	0,2
Χοληστερόλη (mg)	0
Νάτριο (mg)	5
Κάλιο (mg)	237
Υδατάνθρακες (g)	3,9
Πρωτεΐνες (g)	0,9

1.3.2 Προϊόντα τομάτας

Οι συνήθειες επεξεργασίες τομάτας είναι θερμικές, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν η κονσερβοποίηση και η αφυδάτωση. Οι ντομάτες που υπόκεινται σε βιομηχανική επεξεργασία παρέχουν ένα μεγάλο αριθμό προϊόντων, όπως κονσερβοποιημένες ντομάτες (ολόκληρες αποφλοιωμένες ντομάτες, ντοματοχυμός, ντοματοπολτός, πουρές τομάτας, πάστα τομάτας), αφυδατωμένες ντομάτες (σκόνη και νιφάδες τομάτας) και σύνθετα τρόφιμα με κύριο συστατικό την τομάτα (σάλτσες τομάτας και κέτσαπ) (Madhavi & Salunkhe, 1998). Στο σχήμα (1.3) παρουσιάζεται η επεξεργασία διαφόρων προϊόντων τομάτας.



Σχήμα 1.3. Επεξεργασία διαφόρων προϊόντων τομάτας (Gould, 1992)

Κονσερβοποιημένη τομάτα

Οι ντομάτες κονσερβοποιούνται ολόκληρες ή σε κύβους και αποτελούν σημαντικά συστατικά σε σούπες, στη κέτσαπ, στο χυμό τομάτας και σε σάλτσες. Χρησιμοποιούνται συχνά ως εναλλακτική σε περιοχές και περιπτώσεις όπου οι ώριμες ντομάτες δεν είναι διαθέσιμες.

Για την κονσερβοποίηση χρησιμοποιούνται συνήθως ντομάτες ζουμερές, συμπαγείς, μεσαίου μεγέθους με μικρούς σπόρους. Επίσης πρέπει να έχουν έντονο κόκκινο χρώμα και χαρακτηριστική γεύση. Οι ντομάτες που έχουν ελαφρύ κίτρινο ή κιτρινοπράσινο χρώμα δεν είναι ελκυστικές στο μάτι, ασχέτως της γεύσης τους (Gould, 1992).

1. Πουρές τομάτας

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι πουρέ τομάτας, στον πρώτο ο πουρές παράγεται από ολόκληρες ντομάτες ενώ στο δεύτερο από παραπροϊόντα τομάτας, όπως το δέρμα και ο πυρήνας από κονσερβοποιημένες ντομάτες. Η συγκέντρωση του πουρέ σε στερεά πρέπει να είναι μεταξύ 8 – 24% (USDA Nutrient database).

Κατά την παρασκευή του πουρέ, οι ολόκληρες ντομάτες πλένονται και ταξινομούνται για την αφαίρεση όλων των ορατών ελατωμάτων. Στη συνέχεια γίνεται 'θραύση' της τομάτας είτε κατευθείαν σε ένα κυκλώνα για 'ψυχρή θραύση' (cold break), είτε γίνεται προθέρμανση της τομάτας και μετά οδηγείται στον κυκλώνα για 'θερμή θραύση' (hot break). Το hot break αδρανοποιεί τα ένζυμα και αποτρέπει την καταστροφή της πηκτίνης, με αποτέλεσμα ένα πυκνότερο πουρέ.

Στο hot break οι θερμοκρασίες είναι πάνω από τους 77°C, ενώ στο cold break είναι κάτω από 66°C (Featherstone S., 2016). Τα διατροφικά συστατικά του πουρέ τομάτας παρατίθενται στον πίνακα (1.5).

Πίνακας 1.5 Διατροφικά στοιχεία πουρέ τομάτας χωρίς προσθήκη αλατιού (USDA Nutrient database)

Ντομάτα	Ποσότητα ανά 100 g
Θερμίδες (kcal)	38
Λιπίδια (g)	0,21
Χοληστερόλη (mg)	0
Νάτριο (mg)	202
Κάλιο (mg)	439
Υδατάνθρακες (g)	8,98
Πρωτεΐνες (g)	1,65



2. Χυμός τομάτας

Χρησιμοποιείται συνήθως ως ρόφημα, είτε σκέτο ή σε κοκτέιλ. Τα διατροφικά συστατικά του παρατίθενται στον πίνακα (1.6). Ο χυμός τομάτας μπορεί να παραχθεί είτε με hot break είτε με cold break. Είναι γενικά αποδεκτό ότι το hot break παράγει χυμό καλύτερης ποιότητας σε σχέση με την γεύση, το χρώμα και την υφή. Αυτό συμβαίνει λόγω της θερμικής καταστροφής των πηκτικών ενζύμων. Κατά το cold break οι ντομάτες συνήθως ζεματίζονται πριν, έτσι ώστε να είναι εύκολη η αφαίρεση της φλούδας τους (Featherstone S., 2016).

Πίνακας 1.6 Διατροφικά στοιχεία χυμού τομάτας χωρίς προσθήκη αλατιού (USDA Nutrient database)

Ντομάτα	Ποσότητα ανά 100 g
Θερμίδες (kcal)	17
Λιπίδια (g)	0,29
Χοληστερόλη (mg)	0
Νάτριο (mg)	253
Κάλιο (mg)	217
Υδατάνθρακες (g)	3,53
Πρωτεΐνες (g)	0,85



Κέτσαπ

Η κέτσαπ χρησιμοποιείται ως καρύκευμα και ως βάση για άλλες σάλτσες. Μπορεί να παραχθεί είτε από φρέσκο χυμό τομάτας είτε από συμπυκνωμένο πολτό. Η καλύτερη ποιότητα επιτυγχάνεται όταν η ανάμιξη του χυμού ή του πολτού τομάτας με τα υπόλοιπα συστατικά (αλάτι, ζάχαρη, ξύδι και μπαχαρικά) γίνει σε ένα στάδιο, με το μικρότερο δυνατό χρόνο θέρμανσης. Επιπλέον όταν η κέτσαπ παρασκευάζεται από κονσερβοποιημένο πολτό υπάρχει καλύτερος έλεγχος χρώματος και γεύσης, καθώς και μειωμένες απαιτήσεις θερμότητας, εργασίας και υλικών (Featherstone S., 2016). Τα διατροφικά συστατικά της παρατίθενται στον πίνακα (1.7).

Πίνακας 1.7 Διατροφικά στοιχεία κέτσαπ (USDA Nutrient database,2009)

Ντομάτα	Ποσότητα ανά 100 g
Θερμίδες (kcal)	111
Λιπίδια (g)	0,2
Χοληστερόλη (mg)	0
Νάτριο (mg)	907
Κάλιο (mg)	315
Υδατάνθρακες (g)	26
Πρωτεΐνες (g)	1,3

**Λιαστή τομάτα**

Η λιαστή τομάτα παράγεται με την ξήρανση ώριμων ή άνωδρων ντοματών κάτω από τον ήλιο, με σκοπό την εξάτμιση του νερού που περιέχουν μέσα τους. Οι ντομάτες χάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό του βάρους τους μετά την ξήρανση. Για να παραχθεί ένα κιλό λιαστής τομάτας χρειάζονται γύρω στα 8 - 10 κιλά φρέσκιας τομάτας. Επιπλέον οι λιαστές ντομάτες έχουν την ίδια διατροφική αξία με τις φρέσκοιες, δηλαδή είναι πλούσιες σε λυκοπένιο, αντιοξειδωτικά και βιταμίνη C. Τα διατροφικά της στοιχεία παρουσιάζονται στο πίνακα (1.8).

Πίνακας 1.8 Διατροφικά στοιχεία λιαστής τομάτας (USDA Nutrient database,2009)

Ντομάτα	Ποσότητα ανά 100 g
Θερμίδες (kcal)	212
Λιπίδια (g)	14
Χοληστερόλη (mg)	0
Νάτριο (mg)	266
Κάλιο (mg)	1565
Υδατάνθρακες (g)	23
Πρωτεΐνες (g)	5



Διάφορες μελέτες έχουν γίνει για την επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στην ποιότητα της τομάτας. Σύμφωνα με του Van het Hof et al., (2000) η βιομηχανική καθώς και η οικιακή επεξεργασία της τομάτας περιλαμβάνει θέρμανση ή/και ομογενοποίηση που προκαλούν τη ρήξη του κυτταρικού υλικού της τομάτας. Επιπλέον παρατήρησαν ότι η θερμική επεξεργασία της τομάτας μπορεί να είναι καταστροφική για το θρεπτικό περιεχόμενο ορισμένων προϊόντων, όπως το βιταμινών. Τέλος η αφαίρεση της επιδερμίδας και των σπορίων κατά την επεξεργασία οδηγεί σε απώλεια σημαντικών θρεπτικών συστατικών (Toor & Savage, 2005). Όπως αντιλαμβανόμαστε η βιομηχανική ή μη επεξεργασία της τομάτας οδηγεί σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως η κατεστραμμένη δομή και η υποβάθμιση της γεύσης της.

Σε ότι αφορά τη συρρίκνωση κατά την αφυδάτωση βρέθηκε ότι είναι δυνατό να περιοριστεί με αύξηση των αρχικών περιεχόμενων στερεών με προκατεργασίες, όπως η ωσμωτική αφυδάτωση (Ispir A. & Toğrul Đ.T., 2007). Η ωσμωτική αφυδάτωση επιτρέπει τη μείωση της ενεργότητας του νερού παρέχοντας προϊόντα με υψηλή υγρασία και με οργανοληπτικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των φρέσκων προϊόντων, διατηρώντας το χρώμα, την υφή και το άρωμα τους. Παράλληλα η μείωση της ενεργότητας του νερού παρεμποδίζει τις αντιδράσεις υποβάθμισης και τη μικροβιακή δραστηριότητα, επιμηκύνοντας το χρόνο ζωής του τροφίμου.

1.4 Αγγούρι

1.4.1 Χαρακτηριστικά φρέσκου αγγουριού

Η αγγουριά είναι είδος φυτού που ανήκει στο γένος *cucumis sativus*, της οικογενείας *Cucurbitaceae*. Είναι φυτό ετήσιο, ποώδες με βλαστούς έρποντες ή ημιαναρριχόμενους, γωνιώδεις τριχωτούς και με έλικες.

Ο σαρκώδης καρπός της αγγουριάς είναι ράγα, πολύσπερμη, τρίχωρη, έχει σχήμα κυλινδρικό επίμηκες με εξωκάρπειο λείο ή ανώμαλο και χρώμα βαθυπράσινο, λευκοπράσινο ή κίτρινο όταν ωριμάσει. Το αγγούρι αποτελείται απο 95% νερό. Η περιεκτικότητα στα κυριότερα συστατικά του φαίνεται στον Πίνακα (1.9).

Ο καρπός της αγγουριάς τρώγεται ωμός ή διατηρημένος σε ξύδι, τουρσί. Όσοι καρποί προορίζονται για κονσερβοποίηση συλλέγονται όταν αποκτήσουν μέγεθος δακτύλου. Γενικά ως κριτήριο συγκομιδής των αγγουριών λαμβάνεται το μεγεθός τους (15-30 cm) και όχι η ηλικία ή η ωριμότητα τους.

Πίνακας 1.9 Διατροφικά στοιχεία αγγουριού (USDA Nutrient database,2009)

Αγγούρι	Ποσότητα ανά 100 g
Θερμίδες (kcal)	15
Λιπίδια (g)	0,1
Χοληστερόλη (mg)	0
Νάτριο (mg)	2
Κάλιο (mg)	147
Υδατάνθρακες (g)	3
Πρωτεΐνες (g)	0,1

1.4.2 Προϊόντα αγγουριού

Λόγω του υψηλού ποσοστού του νερού που περιέχει το αγγούρι η περαιτέρω επεξεργασία του δεν είναι εύκολη και δεν προτείνεται για βιομηχανική επεξεργασία. Αυτό το γεγονός έχει οδηγήσει στη μη ύπαρξη προϊόντων αγγουριού. Επομένως είναι ανάγκη να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι επεξεργασίας οι οποίες θα έχουν μικρή επίδραση στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και τις οργανοληπτικές ιδιότητες του νωπού λαχανικού. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με αντικατάσταση του υγρού στο εσωτερικό του αγγουριού, έτσι ώστε να μειωθεί το υψηλό ποσοστό νερού και έτσι να είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία του. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός τεχνολογιών, όπως η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της κατάψυξης ή της ξήρανσης. Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης μελετήθηκε εκτενώς στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, και είχε ως σκοπό την παραγωγή ενός καινοτόμου αφυδατωμένου προϊόντος αγγουριού.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

2.1 Συντήρηση με χρήση θερμικής επεξεργασίας

2.1.1 Η επίδραση της θερμότητας στους μικροοργανισμούς

Η χρήση υψηλών θερμοκρασιών στην επεξεργασία τροφίμων εφαρμόζεται για να διασφαλίσει τη μέγιστη μικροβιολογική και ενζυμική σταθερότητα και μερικές φορές για να προσδώσει συγκεκριμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Ο χρόνος και η τιμή της θερμοκρασίας θέρμανσης καθορίζουν την ένταση της θερμικής επεξεργασίας στην οποία υπόκεινται ένα τρόφιμο. Βάση της έντασης της θερμικής επεξεργασίας γίνεται ο διαχωρισμός των θερμικών διεργασιών σε ήπιες και έντονες. Οι ήπιες θερμικές διεργασίες είναι το ζεμάτισμα και η παστερίωση, ενώ οι έντονες θερμικές διεργασίες είναι το μαγείρεμα και η αποστείρωση (Rahman, 2007).

2.1.1.1 Μαγείρεμα

Το μαγείρεμα σε οποιαδήποτε μορφή του (ψήσιμο, βρασμός, τηγάνισμα), στοχεύει στο να κάνει τα τρόφιμα περισσότερο εύγευστα και ευκολότερα στη μάσηση. Κατά τη διάρκειά του προκαλείται ελάττωση του μικροβιακού φορτίου και αδρανοποίηση των ενζύμων.

2.1.1.2 Ζεμάτισμα

Το ζεμάτισμα είναι μια θερμική διεργασία που εφαρμόζεται κυρίως σε φρούτα και λαχανικά πριν την κατάψυξη, την ξήρανση ή την κονσερβοποίηση. Ο σκοπός του ζεματίσματος εξαρτάται από τη διεργασία που θα ακολουθήσει. Το αποτέλεσμα του ζεματίσματος είναι η αδρανοποίηση των ενζύμων που υπάρχουν στα λαχανικά και επιφέρουν ανεπιθύμητες μεταβολές στο χρώμα, τη γεύση, το άρωμα ή και τη θρεπτική αξία του τροφίμου. Ένζυμα στόχοι κατά τη διάρκεια του ζεματίσματος είναι η υπεροξειδάση και η καταλάση. Η επίτευξη της αδρανοποίησης αυτών των ενζύμων συνεπάγεται αδρανοποίηση και των υπόλοιπων ενζύμων που προκαλούν ποιοτική υποβάθμιση στα λαχανικά.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, το ζεμάτισμα πραγματοποιείται με τη χρήση ζεστού νερού θερμοκρασίας περίπου 100°C και ο χρόνος του ζεματίσματος κυμαίνεται από 1 min έως 3-5 min. Τα τρόφιμα που υπόκεινται σε ζεμάτισμα εμβαπτίζονται στο ζεστό νερό για τον αντίστοιχο χρόνο και έπειτα είτε καταψύχονται αμέσως είτε μεταφέρονται για το επόμενο στάδιο επεξεργασίας και κρυστώνουν λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (Rahman 2007).

2.1.1.3 Παστερίωση

Μία από τις σημαντικότερες θερμικές διεργασίες που εφαρμόζονται στα τρόφιμα είναι η παστερίωση. Ο στόχος της παστερίωσης είναι η καταστροφή όλων των παθογόνων μικροοργανισμών και η μείωση του πληθυσμού άλλων μικροοργανισμών. Ως θερμική επεξεργασία, η παστερίωση δεν αρκεί ώστε το παραγόμενο προϊόν να αποθηκευτεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, για αυτό είναι απαραίτητη η χρήση επιπλέον μεθόδων επεξεργασίας και αποθήκευσης, όπως η προσθήκη συντηρητικών ουσιών ή η αποθήκευση υπό ψύξη. Για να επιτευχθεί η παστερίωση είναι απαραίτητος ο κατάλληλος συνδυασμός θερμοκρασίας – χρόνου θέρμανσης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική πρακτική για την παστερίωση. Η αριστοποίηση των συνθηκών της παστερίωσης εξαρτάται από τους ρυθμούς καταστροφής των μικροοργανισμών σε σύγκριση με τους ποιοτικούς παράγοντες. Τέλος για την παστερίωση χρησιμοποιούνται μηχανήματα που ονομάζονται παστεριωτές και αποτελούνται από τον εναλλάκτη θερμότητας, τον σωλήνα κατακράτησης και τον εναλλάκτη ψύξης (Rahman, 2007).

2.1.1.4 Αποστείρωση

Αποστειρωμένο είναι ένα τρόφιμο στο οποίο έχουν καταστραφεί όλες οι βλαστικές μορφές των μικροβιακών κυττάρων, καθώς και τα σπόριά τους. Στη τεχνολογία της κονσερβοποίησης δεν είναι απαραίτητη η καταστροφή όλων των μικροοργανισμών και των σπορίων τους, κατά απόλυτη έννοια. Στην πραγματικότητα είναι δυνατή η επιβίωση σπορίων αρκεί να είναι αδύνατο να βλαστήσουν και να αναπτυχθούν στο περιβάλλον που θα αποθηκευτεί το τρόφιμο. Βάση αυτού του χαρακτηριστικού η

Θερμική επεξεργασία που εφαρμόζεται είναι η εμπορική αποστείρωση, που στόχο έχει τη θανάτωση όλων των βλαστικών μορφών και των σπορίων των μικροβίων που μπορούν να αναπτυχθούν και να αλλοιώσουν το τρόφιμο. Οι παραγόντες που επηρεάζουν την ένταση της θερμικής επεξεργασίας του τροφίμου είναι το pH, η ύπαρξη ή μη πρόσθετων υλών, η ενεργότητα του νερού (a_w), η σύσταση του τροφίμου, ο αριθμός και το είδος των μικροοργανισμών που περιέχονται στο τρόφιμο και η φάση ανάπτυξης ανάπτυξης αυτών των μικροοργανισμών. Επίσης η εμπορική στείρωση σαν διεργασία συντήρησης είναι ικανή από μόνη της να επιτύχει μεγάλους χρόνους σταθερότητας χωρίς την συνέργεια άλλων μορφών συντήρησης, όπως για παράδειγμα τη χρήση χαμηλών θερμοκρασιών κατά την αποθήκευση. Η θέρμανση κατά τη διάρκεια της εμπορικής αποστείρωσης μπορεί να γίνει με κορεσμένο ατμό, νερό σε θερμοκρασία βρασμού ή φλόγα από καύση υδρογονανθράκων. Τέλος η θέρμανση των τροφίμων πραγματοποιείται σε κλιβάνους και έπειτα οι περιέκτες μεταφέρονται και εμβαπτίζονται σε κρύο νερό για να ψυχθούν (Rahman, 2007).

2.1.2 Κονσερβοποίηση

Η κονσερβοποίηση χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1804 από ένα Γάλλο αρχιμάγειρα τον Nicolas Appert, ο οποίος παρατήρησε ότι τα τρόφιμα που υποβάλλονται σε επαρκή θέρμανση μέσα σε ερμητικά κλεισμένα δοχεία διατηρούνται αναλλοίωτα, εφ' όσον το δοχείο παραμένει κλειστό.

Κονσερβοποίηση (canning), είναι η θερμική επεξεργασία (παστερίωση ή εμπορική αποστείρωση) των τροφίμων μέσα σε ερμητικά κλεισμένους περιέκτες και σκοπός της είναι η διατήρηση των τροφίμων σε καλή κατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτή η διαδικασία όμως μπορεί να προκαλέσει μια μικρή ποιοτική υποβάθμιση στη φυσική κατάσταση, στη θρεπτική αξία, στο άρωμα και το χρώμα των τροφίμων.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνονται ορισμένες αντιδράσεις καταστροφής ή υποβάθμισης των θρεπτικών συστατικών, όπως οξειδώσεις, αντιδράσεις δέσμευσης των βιταμινών και των αμινοξέων.. Επίσης επιτυγχάνονται

δράσεις υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών, όπως μεταβολές του χρώματος, μεταβολές των αρωματικών συστατικών των τροφίμων, μεταβολές λειτουργικών χαρακτηριστικών μέσω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών ή των φυσικοχημικών δράσεων που λαμβάνουν χώρα στο άμυλο ή στις διαιτητικές ίνες. Μια τρίτη κατηγορία δράσεων περιλαμβάνει επιθυμητές δράσεις, όπως η καταστροφή ορισμένων φυσικών ή μικροβιακών τοξινών και η καταστροφή αναστολέων ενζύμων. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν όλες αυτές τις δράσεις και εάν είναι επιθυμητός ο έλεγχος κάποιας δράσης κατά τη θερμική κατεργασία ενός τροφίμου πρέπει να μελετηθεί η κινητική που ακολουθεί στο συγκεκριμένο τρόφιμο και η εξάρτηση από τη θερμοκρασία.

Οι πρωτεΐνες μπορούν να υποστούν μεταβολές δομής, χωρίς όμως να επηρεαστεί η θρεπτική τους αξία. Οι υδατάνθρακες, όπως το άμυλο και τα σάκχαρα παρουσιάζουν μεταβολές από τη θερμική κατεργασία, σημαντικότερη από τις οποίες είναι ο σχηματισμός με καραμελλοποίηση χρωματισμένων προϊόντων.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας καθορισμού της ποιότητας της ολόκληρης κονσερβοποιημένης τομάτας είναι η σταθερότητα, *firmness*¹. Όταν είναι ώριμες, οι ντομάτες έχουν την τάση να μαλακώνουν και να σπάνε εύκολα κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Ως συνέπεια, η παραγωγή είναι υποχρεωμένη να συσκευάσει ντομάτες που είναι άριστες σε γεύση και άρωμα, αλλά που πρέπει να πουλήσει σε χαμηλότερες τιμές, λόγω μειωμένης σταθερότητας (Gould D., 1992).

Έχει παρατηρηθεί η ευεργετική δράση αλάτων του ασβεστίου στη σταθερότητα της κονσερβοποιημένης τομάτας (Wildur A. & Gould D., 1992). Η φρέσκια τομάτα περιέχει πηκτινικά συστατικά, που είναι αδιάλυτα και σχηματίζουν ένα σταθερό ζελέ γύρω από τους ιστούς της τομάτας. Με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται η καταστροφή της και αυξάνεται η διατηρησιμότητα της σταθερότητας του καρπού. Με την καταστροφή της κυτταρικής δομής, τα πηκτινικά συστατικά έρχονται σε επαφή με τα ένζυμα του τροφίμου και η πηκτίνη μετατρέπεται σε πηκτικό οξύ. Οι ιστοί της τομάτας χάνουν την ανθεκτικότητά τους, *firm*, και καταστρέφονται εύκολα. Η προσθήκη αλάτων ασβεστίου προκαλεί τη δημιουργία ενός πηκτινικού

¹ Σταθερή, *firm*, σημαίνει ότι η τομάτα δεν είναι τόσο υδαρής ώστε να είναι μαλακή, σπασμένη ή πρησμένη τόσο ώστε να χαθεί περισσότερο από 10% του βάρους της κατά τη διαδικασία ξεφλουδίσματος ή της πλύσης.

άλατος του ασβεστίου που υποστηρίζει τους ιστούς και προστατεύει τη τομάτα από το μαλάκωμα.

2.1.3 Θερμοκρασία και χρόνος αποστείρωσης

Από όλες τις φάσεις της κονσερβοποίησης η διεργασία της αποστείρωσης είναι η σημαντικότερη και για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται κάτω από απόλυτα καθορισμένες συνθήκες. Για να είναι επιτυχημένη η αποστείρωση, η θερμική διεργασία των τροφίμων που βρίσκονται μέσα σε ερμητικά σφραγισμένα δοχεία πρέπει να γίνει σε ορισμένη θερμοκρασία και για ορισμένο χρονικό διάστημα, ώστε να καταγραφούν οι περιεχόμενοι μικροοργανισμοί.

Η θερμοκρασία και η διάρκεια της αποστείρωσης εξαρτώνται από τη φύση του τροφίμου, το είδος και τον αριθμό των μικροοργανισμών μέσα στο δοχείο, ενώ η διάρκεια εξαρτάται ακόμα και από τον τρόπο θέρμανσης και τις διαστάσεις των δοχείων των κονσερβών.

Γενικά προτιμάται η εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας για μικρό χρονικό διάστημα γιατί έχει παρατηρηθεί ότι με αύξηση της θερμοκρασίας ελαττώνεται ο απαιτούμενος χρόνος, ενώ με μείωση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο απαιτούμενος χρόνος αποστείρωσης. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνονται ποιοτικά ανώτερα προϊόντα και αποφεύγονται οι οργανοληπτικές αλλοιώσεις που μπορεί να σημειωθούν από παρατεταμένη θέρμανση. Στην πράξη ο απαραίτητος χρόνος αποστείρωσης αυξάνεται κατά ένα μικρό περιθώριο ασφαλείας για να αντιμετωπισθεί το ενδεχόμενο ύπαρξης σπορίων μεγαλύτερης θερμική αντίστασης, καθώς και η περίπτωση μικροβιακού πληθυσμού μεγαλύτερου από αυτόν που έχει υπολογιστεί αρχικά.

Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει τη θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών είναι το pH των τροφίμων προς αποστείρωση. Η ικανότητα επιβίωσης των μικροοργανισμών αλλά και η θερμική αντίσταση αυτών εξαρτάται από το pH. Κονσερβοποιημένα τρόφιμα με pH μικρότερο από 4,5 δεν μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό κίνδυνο για τον καταναλωτή. Σε χαμηλότερες τιμές pH άλλοι αναερόβιοι ή προαιρετικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί μπορούν να

αναπτυχθούν και να αλλοιώσουν το κονσερβοποιημένο τρόφιμο αλλά όχι να το καταστήσουν επικίνδυνο.

Οι χρησιμοποιούμενες θερμοκρασίες αποστείρωσης για τα περισσότερα λαχανικά είναι 115°C.

Η αποστείρωση των κονσερβών λαμβάνει χώρα συνήθως σε μεγάλα αυτόκλειστα. Τα αυτόκλειστα είναι απαραίτητα όταν απαιτούνται θερμοκρασίες πάνω από 100°C, ενώ η αποστείρωση μπορεί να γίνει μέσα σε ζεστό ή βραστό νερό αν η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 100°C.

Τα χαρακτηριστικά των μικροοργανισμών που αποτελούν το στόχο της θερμικής κατεργασίας είναι τα εξής:

- Βρίσκονται και ζουν στο τρόφιμο που πρόκειται να αποστειρωθεί.
- Είναι επιβλαβείς για την υγεία αν περάσουν στον ανθρώπινο οργανισμό, είτε οι ίδιοι, είτε τοξίνες, είτε διάφοροι μεταβολίτες τους, ή είναι επιβλαβείς για την ποιότητα του τροφίμου αν δεν αδρανοποιηθούν.
- Αναπτύσσονται ή αντιδρούν στη συνήθη θερμοκρασία διατηρήσεως του θερμικά επεξεργασμένου τροφίμου.
- Έχουν την μεγαλύτερη θερμοανεκτικότητα μεταξύ όλων των μικροβιακών ειδών ή των μεταβολιτών που συνδυάζουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την θερμική αντίσταση των μικροοργανισμών. Αν και είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση κάθε ενός παράγοντα στη θερμική αντίσταση είναι κοινά αποδεκτό ότι τρεις κατηγορίες παραγόντων επιδρούν σε αυτήν:

1. Η ενυπάρχουσα αντίσταση του μικροοργανισμού
2. Το περιβάλλον ανάπτυξης του μικροοργανισμού
3. Το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται ο μικροοργανισμός στη διάρκεια της θερμικής κατεργασίας.

Οι κύριοι παράγοντες είναι το είδος του μικροβιακού στελέχους, η ηλικία τους, η συγκέντρωση, η χημική σύνθεση του θρεπτικού υποστρώματος, η θερμοκρασία και η διάρκεια θέρμανσης. Από τους παράγοντες αυτούς το pH του υλικού στο οποίο βρίσκονται είναι ο σημαντικότερος (Ταούκης Π. & Ωραιπούλου Β., 2009).

2.2 Συντήρηση με ψύξη

2.2.1 Εισαγωγοί και ορισμοί

Η συντήρηση ενός τροφίμου σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 15°C και ψηλότερη του σημείου έναρξης της κατάψυξης καλείται συντήρηση με ψύξη.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η ψύξη είναι μία τεχνική συντήρησης που διατηρεί τα χαρακτηριστικά ευαισθησίας και τα φυσικά χαρακτηριστικά του τροφίμου με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (Bognar & Wolf, 2002). Η συντήρηση των τροφίμων σε ελεγχόμενη χαμηλή θερμοκρασία οφείλεται στο γεγονός ότι με ελάττωση της θερμοκρασίας ελαττώνεται συγχρόνως και ο ρυθμός των χημικών και βιολογικών δράσεων των μικροοργανισμών και των ενζύμων που λαμβάνουν χώρα. Παράλληλα, επιβραδύνονται οι οξειδώσεις, η υδρόλυση, και η εξάτμιση του νερού. Η επιβράδυνση των δράσεων αυτών και της μεταβολικής δραστηριότητας των ζωντανών ιστών των τροφίμων είναι τόσο μεγαλύτερες όσο χαμηλότερη και η θερμοκρασία της αποθήκευσης. Η ψύξη των τροφίμων παρέχει μικρή διάρκεια ζωής (όσο διαρκεί και η εφαρμογή της).

Η ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών αποτρέπεται σε θερμοκρασίες κάτω από 0°C και ο σχηματισμός μυοτοξινών διακόπτεται για όλους σχεδόν τους μύκητες. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μικροοργανισμοί γενικά δεν αδρανοποιούνται όπως θα αδρανοποιόντουσαν σε μια διεργασία αποστείρωσης (Timm & Herrmann, 1996). Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν μόνο φρέσκες πρώτες ύλες με χαμηλό μικροβιακό φορτίο και τα προϊόντα να αποψυχθούν με τον κατάλληλο τρόπο. Επιστημονικά, είναι γνωστό ότι τα εψυγμένα προϊόντα είναι μικροβιολογικά ασφαλή εφόσον το ακατέργαστο προϊόν είναι καλής ποιότητας και η ψυκτική αλυσίδα είναι αποτελεσματική και πλήρης χωρίς αυξομειώσεις της θερμοκρασίας.

Τα τρόφιμα που συντηρούνται με ψύξη διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα εψυγμένα και τα κατεψυγμένα. Εψυγμένα λέγονται τα τρόφιμα τα οποία συντηρούνται σε χαμηλή θερμοκρασία, αλλά η θερμοκρασία αυτή είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία έναρξης της στερεοποίησης του περιεχόμενου νερού.

Στους ψυκτικούς θαλάμους πρέπει να επικρατούν ορισμένες και σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, που είναι διαφορετικές για κάθε είδος τροφίμου. Όταν οι ευνοϊκές συνθήκες υπάρχουν, τότε η διάρκεια συντήρησης του προϊόντος είναι χαρακτηριστική του είδους του, της ποικιλίας του και της αρχικής κατάστασής του.

2.2.2 Θερμοκρασία και σχετική υγρασία

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας αποθήκευσης είναι σημαντικός δεδομένου ότι η θερμοκρασία έχει μεγάλη επίδραση στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τα περισσότερα παθογόνα βακτήρια αναπτύσσονται με βραδύ ρυθμό στην περιοχή των 3-10°C, ενώ η ανάπτυξή τους σταματά κάτω από τους 3°C. Τα ψυχρόφιλα παθογόνα βακτήρια αναπτύσσονται βέβαια και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως και οι ψυχρόφιλοι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί, αλλά ο ρυθμός ανάπτυξής τους επιβραδύνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Η μείωση της θερμοκρασίας επιφέρει και επιβράδυνση των ανεπιθύμητων χημικών δράσεων καθώς και της αναπνοής των φρούτων και λαχανικών, επιμηκύνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής τους. Κάτω όμως από μία τιμή θερμοκρασίας ορισμένη για κάθε φρούτο ή λαχανικό τα περισσότερα από αυτά εμφανίζουν το φαινόμενο της δημιουργίας “πληγών” από το ψύχος (chilling injury). Η πρόψυξη δεν γίνεται μέσα στους κυρίως ψυκτικούς θαλάμους για την αποφυγή διακύμανσης της θερμοκρασίας των ήδη αποθηκευμένων εψυγμένων τροφίμων. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση και εξέλιξη αυτού του φαινομένου είναι η θερμοκρασία- υπάρχει μία ορισμένη κρίσιμη θερμοκρασία εμφάνισης για κάθε είδος, ο χρόνος παραμονής κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία, η μεταβολική κατάσταση, η σύσταση του αέρα και ο ρυθμός απώλειας υγρασίας. Μία άλλη ανεπιθύμητη επίδραση της χαμηλής θερμοκρασίας είναι η βράχυνση των ζωικών ιστών. Το φαινόμενο σχετίζεται κυρίως με τη γρήγορη μείωση της θερμοκρασίας στην περιοχή των 0°-5°C και όχι τόσο με την τελική τιμή της. Πρέπει να σημειωθεί ότι εξαιρετικά μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας, της τάξης του 1°-2°C προκαλούν σημαντικές μεταβολές του ρυθμού απώλειας της ποιότητας και μπορεί να μειώσουν στο μισό το χρόνο συντήρησης. Επομένως η θερμοκρασία θα πρέπει να διατηρείται σε εύρος $\pm 1^{\circ}\text{C}$ γύρω από τη βέλτιστη τιμή. Για τα φρούτα και τα λαχανικά οι βέλτιστες θερμοκρασίες ποικίλουν

ανάλογα με το είδος, από τιμές κοντά στο σημείο έναρξης κατάψυξης μέχρι τιμές ανώτερες των 7°C.

Ο έλεγχος της σχετικής υγρασίας στους χώρους αποθήκευσης υπό ψύξη είναι απαραίτητος για την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής. Σχετική υγρασία μεγαλύτερη από τη βέλτιστη τιμή προκαλεί την ανάπτυξη ευρωτομυκήτων και άλλων μικροοργανισμών αλλοίωσης σε όλα τα τρόφιμα και το σχίσιμο της σάρκας ορισμένων φρούτων. Αντίθετα σχετική υγρασία χαμηλότερη από τη βέλτιστη τιμή προκαλεί αφυδάτωση και συρρίκνωση των φρούτων, άσχημη εμφάνιση των ζωικών ιστών, ορισμένες μεταβολές υφής και γενικά απώλεια βάρους λόγω αφυδάτωσης σε όλα τα προϊόντα. Για συντήρηση φρούτων και λαχανικών οι τιμές ποικίλουν ανάλογα με το είδος, είναι όμως γενικά ανώτερες από 85%. Η σχετική υγρασία καθορίζεται κυρίως από τη διαφορά θερμοκρασίας του αέρα και της επιφάνειας των ψυκτικών στοιχείων. Μία μικρή διαφορά θερμοκρασίας της τάξης του 0-1°C είναι απαραίτητη για τη διατήρηση ικανοποιητικά υψηλής σχετικής υγρασίας.

Πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τα φρούτα και τα λαχανικά εξακολουθούν να αναπνέουν και κατά τη διάρκεια της συντήρησής τους υπό ψύξη. Έχει παρατηρηθεί ότι τα είδη που παρουσιάζουν έντονο αναπνευστικό ρυθμό είναι εκείνα που εμφανίζουν συντομότερη ποιοτική υποβάθμιση (Ταούκης Π. & Ωραιοπούλου Β., 2009).

2.3 Συντήρηση με κατάψυξη

2.3.1 Εισαγωγή-Ορισμοί

Η κατάψυξη είναι μία από τις πλέον εφαρμοζόμενες μεθόδους για τη συντήρηση των τροφίμων τόσο σε βιομηχανική όσο και σε οικιακή κλίμακα. Είναι γνωστό ότι η ελάττωση της θερμοκρασίας καθώς και ο σχηματισμός πάγου στο τρόφιμο, ο οποίος τείνει να μειώσει το περιεχόμενο νερό του τροφίμου, μειώνει τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και των ενζύμων, εμποδίζοντας έτσι την αλλοίωση του τροφίμου. Ο χρόνος ζωής των προϊόντων που καταψύχονται αυξάνεται σημαντικά, αφού, υπό αυτές τις συνθήκες, η δράση των μικροοργανισμών και των ενζύμων, καθώς και οι διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές επιβραδύνονται και ή αναστέλλονται (Welti-Chanes J. et al., 2004, Jelen, 2005). Κατά την κατάψυξη, επιβάλλονται θερμοκρασίες

αποθήκευσης χαμηλότερες από το σημείο κατάψυξης των τροφίμων, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του νερού στο θερμικό κέντρο των προϊόντων να μετατρέπεται σε πάγο, ενώ συνιστάται η τελική θερμοκρασία ισορροπίας να φτάνει σε τιμές ≤ -18 °C. Η ταχύτητα της κατάψυξης είναι μεγάλη στην επιφάνεια και μικρότερη στο εσωτερικό του καταψυχόμενου προϊόντος. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα κατάψυξης είναι οι διαστάσεις και κυρίως το πάχος του προϊόντος, το ποσό της θερμότητας που αφαιρείται, η θερμική αγωγιμότητα του προϊόντος, η αρχική και τελική του θερμοκρασία, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου και ο συντελεστής συναγωγής h . Ιδιαίτερη σημασία για την κατάψυξη των τροφίμων έχει ο ρόλος του νερού και η αλλαγή της κατάστασής του κατά τη διαδικασία της κατάψυξης. Αφού όλα τα τρόφιμα περιέχουν σχετικά μεγάλες ποσότητες υγρασίας μέσα στην οποία είναι διαλυμένες διάφορες ουσίες, το πραγματικό ή αρχικό σημείο κατάψυξης του νερού στο τρόφιμο θα μειωθεί έως κάποιο επίπεδο πιο χαμηλό από αυτό που αναμένεται για το καθαρό νερό. Το μέγεθος αυτής της μείωσης είναι συνάρτηση του μοριακού βάρους, της συγκέντρωσης και των ιδιοτήτων των κρυσταλλοπροστατευτικών υλικών που είναι διαλυμένα στο νερό του τροφίμου. Τέλος, σημαντική επίδραση στην ποιότητα του κατεψυγμένου προϊόντος ασκεί ο τρόπος με τον οποίο σχηματίζονται οι κρύσταλλοι του πάγου στο τρόφιμο κατά την κατάψυξη αυτού. Τα φαινόμενα που πραγματοποιούνται κατά την κατάψυξη διακρίνονται σε αυτά που αφορούν το σχηματισμό και την ανάπτυξη των κρυστάλλων πάγου και σε εκείνα που σχετίζονται με τη μη-παγωμένη φάση, και περιλαμβάνουν τις ενζυμικές και χημικές αντιδράσεις. Σε κάθε περίπτωση, ο χρόνος ζωής των προϊόντων εξαρτάται από τη σύσταση του τροφίμου, τη διεργασία κατάψυξης (ρυθμός κατάψυξης) και τις συνθήκες αποθήκευσης (Alain Le Bail, 2004, Jelen, 2005).

2.3.2 Θερμοκρασία και σχετική υγρασία

Η θερμοκρασία και η σταθερότητα της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κατάψυξης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων. Μεταξύ θερμοκρασίας και χρόνου συντήρησης του τροφίμου υπάρχει

αλληλεξάρτηση και γενικά ισχύει ότι όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία της κατάψυξης, τόσο παρατείνεται ο χρόνος συντήρησης.

Μεγάλη σημασία έχει η θερμοκρασιακή σταθερότητα του συντηρούμενου τροφίμου, γιατί συνήθως συνδέεται με φαινόμενα ανακρυστάλλωσης του πάγου. Τα φαινόμενα αυτά είναι ανεπιθύμητα, γιατί συνοδεύονται από σταδιακή αύξηση του μεγέθους των μικρών κρυστάλλων με βλαβερές συνέπειες για την ποιότητα του τροφίμου. Η σχετική υγρασία των ψυκτικών θαλάμων πρέπει να είναι σχετικά υψηλή, από 80% και πάνω, για να αποφεύγεται η αφυδάτωση των τροφίμων υπό συντήρηση (Ταούκης Π. & Ωραιοπούλου Β., 2009).

2.4 Νέες μέθοδοι επεξεργασίας λαχανικών

2.4.1 Ωσμωτική αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία μέθοδος μερικής απομάκρυνσης του νερού που περιέχεται σε ένα τρόφιμο μέσω της εμβάπτισης του σε ένα υπερτονικό μέσο, όπως ένα διάλυμα σακχάρου ή άλατος με υψηλή συγκέντρωση. Λόγω της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης των τροφίμων, λαμβάνουν χώρα δύο κύριες ροές αντίθετης κατεύθυνσης: νερό διαφεύγει από το εσωτερικό του τροφίμου αραιώνοντας το ωσμωτικό διάλυμα, ενώ ταυτόχρονα, στερεά ωσμωτικού διαλύματος εισρέουν στα κύτταρα του τροφίμου, εμπλουτίζοντας με αυτόν τον τρόπο επιλεκτικά τη σύστασή του. Σε σχέση επομένως με τη συμβατική μέθοδο της αφυδάτωσης, η ωσμωτική αφυδάτωση επιφέρει μια διπλή τροποποίηση στο τρόφιμο, με μείωση της περιεχόμενης υγρασίας και ταυτόχρονο εμπλουτισμό με επιλεγμένα συστατικά, που ενδέχεται να οδηγήσει σε μεταβολή της θρεπτικής αξίας και των λειτουργικών ή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του ιδιοτήτων (Giraldo et al, 2003, Le Meste et al, 2002, Tedjo et al, 2002, Torreggiani et al, 2001, Lucas et al, 2000, Panagiotou et al, 1999). Αυτή η επεξεργασία θα αναλυθεί λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 3.

2.4.2 Υπερυψηλή πίεση

Η διεργασία της υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ) παρά το γεγονός ότι αποτελεί μία νέα μέθοδο συντήρησης τροφίμων είναι από τις πιο διερευνημένες μεθόδους. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η εφαρμογή πιέσεων στην περιοχή 400-600 MPa προκαλεί αδρανοποίηση των περισσότερων αλλοιογόνων μικροοργανισμών (vegetative microorganisms) και μειώνει τη δραστηριότητα των ενζύμων, με αποτέλεσμα ένα παστεριωμένο προϊόν το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα στους 4-6°C. Η ΥΠ δρα κυρίως στους μη ομοιοπολικούς δεσμούς, όπως οι ιοντικοί δεσμοί, οι δεσμοί υδρογόνου και προωθεί τις αντιδράσεις κατά τις οποίες προκύπτει μία συνολική μείωση σε όγκο. Επίσης, μπορεί να επιφέρει εμφανή αποτελέσματα σε δομικές και λειτουργικές πρωτεΐνες, αν και το αποτέλεσμα εξαρτάται από τη δομή της πρωτεΐνης. Τέλος, η κυτταρική μεμβράνη φαίνεται να αποτελεί επιπλέον έναν σημαντικό στόχο. Οι διπλοστιβάδες λιπιδίων έχει φανεί ότι συμπιέζονται κατά την ΥΠ, πράγμα το οποίο μεταβάλλει τη διαπερατότητά τους (Adams & Moss, 2000). Η εφαρμογή της ΥΠ έχει ερευνηθεί σε συνδυασμό με ακτινοβολία και άλλες τεχνολογίες όπως θερμότητα, χαμηλό pH, αντιμικροβιακές ενώσεις, τροποποιημένη ατμόσφαιρα και διοξείδιο του άνθρακα. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι ο συνδυασμός αντιμικροβιακών με ΥΠ μπορεί να αυξήσει τη μικροβιακή αδρανοποίηση και να επεκτείνει το χρόνο ζωής των τροφίμων.

2.4.3 Παλλόμενα Ηλεκτρικά Πεδία

Μεταξύ όλων των μη θερμικών τεχνολογιών, τα παλλόμενα ηλεκτρικά πεδία (Π.Η.Π) είναι μία από τις πιο ελκυστικές τεχνολογίες, λόγω των σύντομων χρόνων επεξεργασίας και την μειωμένη ενέργεια θέρμανσης που χρειάζεται σε σχέση με άλλες τεχνολογίες.

Τα Παλλόμενα Ηλεκτρικά Πεδία είναι μια διεργασία που περιλαμβάνει την εφαρμογή παλμών τάσης συνεχούς ρεύματος για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα, στην περιοχή μεταξύ μικροδευτερολέπτων έως χιλιοστών του δευτερολέπτου, μέσα από ένα υλικό τοποθετημένο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Αυτή η τάση έχει ως

αποτέλεσμα ένα ηλεκτρικό πεδίο, η ένταση του οποίου εξαρτάται από το διάκενο μεταξύ των ηλεκτροδίων και της τάσης που εφαρμόζεται. Αν και δεν υπάρχει ένα επίσημος ορισμός, η ένταση πεδίου $E < 0,1 \text{ kV cm}^{-1}$ μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι χαμηλής έντασης ηλεκτρικό πεδίο, εκείνη στην περιοχή από $0,1$ έως 1 kVcm^{-1} να είναι μέτριο ηλεκτρικό πεδίο, και εκείνη με $E > 1 \text{ kVcm}^{-1}$ έως να είναι υψηλής έντασης ηλεκτρικό πεδίο (Asavasanti et al. 2010). Η διαπερατότητα των ευκαρυωτικών κύτταρων για τη βελτίωση της μεταφοράς μάζας μπορεί να επιτευχθεί σε χαμηλό και μέτριο ηλεκτρικό πεδίο σε χρόνους θεραπείας στην περιοχή από 100 έως 10.000 μικροδευτερόλεπτα ή σε ηλεκτρικά πεδία στην περιοχή ή 1 έως 10 kV cm^{-1} για μικρότερους χρόνους θεραπείας ($<100 \text{ }\mu\text{s}$).

Οι πιο χαρακτηριστικές παράμετροι της διαδικασίας που χαρακτηρίζουν την τεχνολογία των Π.Η.Π. είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, το σχήμα του παλμού, το πλάτος παλμού, ο αριθμός των παλμών, η συγκεκριμένη ενέργεια παλμών, και η συχνότητα (Barsoti et al.) Ο χρόνος κατεργασίας για μια εφαρμογή Π.Η.Π. ορίζεται ως συνάρτηση του πλάτους παλμού και τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται. Τέλος, η συχνότητα υποδεικνύει τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται στη μονάδα του χρόνου, και συνήθως μετριέται σε Hz (παλμοί ανά δευτερόλεπτο).

2.4.4 Ακτινοβόληση

Η χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών για τη συντήρηση τροφίμων είναι μία σχετικά νέα μέθοδος που εφαρμόζεται τις τελευταίες δεκαετίες που έχει ως στόχο να καταστήσει τα τρόφιμα στείρα από μικροοργανισμούς. Είναι μία ασφαλής, αποτελεσματική, περιβαλλοντικά καθαρή και ενεργειακά αποδοτική διαδικασία, κυρίως ως μέθοδος επεξεργασίας τελικών προϊόντων. Η ακτινοβόληση είναι συγκεκριμένης έντασης και για περιορισμένη χρονική διάρκεια. Μία δόση της τάξης των 6kGy είναι θανατηφόρος για τον άνθρωπο, ενώ για την καταστροφή μικροοργανισμών απαιτούνται δόσεις $40\text{-}60 \text{ kGy}$ ή και πολύ μεγαλύτερες.

Διατροφικές μελέτες έχουν δείξει ότι χαμηλής δόσης ακτινοβολία δεν προκαλεί αξιοσημείωτες μειώσεις στη θρεπτική αξία των τροφίμων κι ότι μακρομόρια όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπη, παραμένουν σχετικά σταθερά. Επίσης, η αλλαγή

στη θρεπτικότητα εξαρτάται και από άλλες παραμέτρους όπως το είδος του τροφίμου, οι συνθήκες επεξεργασίας και συσκευασίας όπως θερμοκρασία και έκθεση στον αέρα κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης και ο χρόνος αποθήκευσης (Crawford & Ruff, 1996). Η ιοντίζουσα ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει άμεσα τους μικροοργανισμούς αλληλεπιδρώντας με μόρια κλειδιά μέσα στο κύτταρο, ή έμμεσα μέσω ελευθέρων ριζών οι οποίες παράγονται κατά τη ραδιόλυση του νερού (Adams & Moss, 2000). Υψηλές δόσεις ακτινοβολίας αποστειρώνουν το τρόφιμο, εξοντώνοντας όλους τους μικροοργανισμούς εκτός από τους ιούς. Τέλος, η δημιουργία ελευθέρων ριζών προκαλεί ανησυχία για την ασφάλεια των ακτινοβολημένων τροφίμων, όμως επιστημονικά τεστς τα τελευταία 30 χρόνια κατά τα οποία απομονώθηκαν προϊόντα ραδιόλυσης έδειξαν ότι δεν βρέθηκε καμία ουσία τοξικολογικής σημασίας που να παρουσιάζει μοναδικότητα στα ακτινοβολημένα τρόφιμα (Crawford & Ruff, 1996)

3. ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

3.1 Γενικά

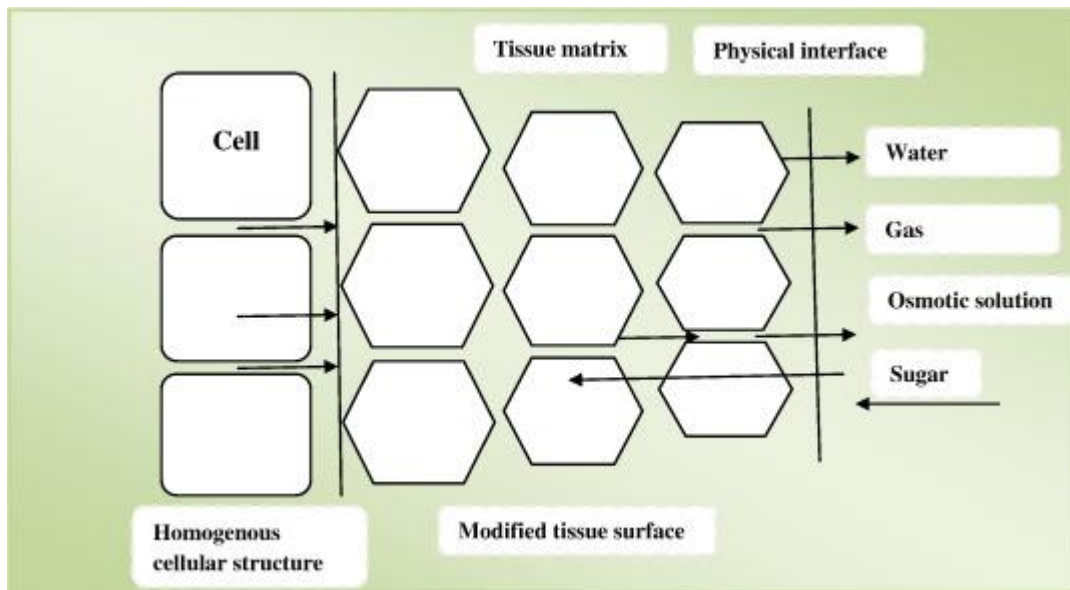
Η αφυδάτωση είναι μια διεργασία για την εξασφάλιση μεγάλης διατηρησιμότητας στα τρόφιμα (ψάρια, λαχανικά, φρούτα και κρέας) και αποτελεί την παλαιότερη μέθοδο διατήρησης, γνωστή στον άνθρωπο (Nastaj & Witkiewicz, 2004). Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη τροφίμων ενδιάμεσης υγρασίας με τη χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης εκτιμάται από τους καταναλωτές λόγω της ελάχιστης επεξεργασίας που έχουν δεχθεί (Raoult-Wack AL, 1994, Silva W.P., et al., 2014 & Sutar P.P. et al., 2012). Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια διαδικασία προεπεξεργασίας, η οποία εξαρτάται από το φαινόμενο της διάχυσης της υγρασίας από τα τρόφιμα μέσω της εμβάπτισης σε ένα υπερτονικό διάλυμα (Shi J. & Xue J.S., 2009 & Tortoe C., 2010). Διάφορα ωσμωτικά μέσα όπως η γλυκόζη, το σιρόπι καλαμποκιού, το χλωριούχο νάτριο, η φρουκτόζη και η σακχαρόζη χρησιμοποιούνται ανάλογα με το τελικό προϊόν. Η ωσμωτική αφυδάτωση συνήθως ακολουθείται από άλλες μεθόδους ξήρανσης όπως η ξήρανση με αέρα, η λυοφιλίωση κ.λπ. για να παραχθεί ένα τελικό προϊόν καλύτερης ποιότητας (Khan M.R., 2012, Phisut N., 2012 & Tortoe C., 2010).

Η ωσμωτική αφυδάτωση αφορά την μερική απομάκρυνση του νερού που περιέχεται σε ένα τρόφιμο μέσω της εμβάπτισης του σε ένα υπερτονικό μέσο (με μεγάλη ωσμωτική πίεση), όπως ένα διάλυμα σακχάρου ή άλατος υψηλής συγκέντρωσης. Λόγω της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης του τροφίμου λαμβάνουν χώρα δύο κύριες ροές αντίθετης κατεύθυνσης. Νερό απομακρύνεται από το εσωτερικό του τροφίμου, αραιώνοντας το ωσμωτικό διάλυμα, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται μεταφορά στερεών από το ωσμωτικό διάλυμα προς τα κύτταρα του τροφίμου, εμπλουτίζοντας με αυτόν τον τρόπο επιλεκτικά την σύσταση του. Παράλληλα με την μεταφορά στερεών συστατικών από το ωσμωτικό διάλυμα στο τρόφιμο, διαλυτά συστατικά του τροφίμου, όπως σάκχαρα, βιταμίνες και οξέα μπορούν να εκχυλιστούν στο ωσμωτικό μέσο. (Σχήμα 3.1)

Η μεταφορά αυτή είναι αμελητέα ποσοτικά αλλά πολύ σημαντική για τη σύνθεση του προϊόντος (Phisut N., 2012 και Tortoe C., 2010). Γενικά, είναι μια αργή διαδικασία, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης και την δομή των κυττάρων (Amami, Fersi, Khezami, Vorobiev & Kechaou, 2007). Η ημδιαπερατή φύση των φυτικών ιστών και το χαμηλό μοριακό μέγεθος των μορίων του νερού επιτρέπουν την απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο και τη μεταφορά στερεών προς το τρόφιμο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία των νωπών φρούτων και λαχανικών έως 50% κατά βάρος με το πέρασμα του χρόνου μέχρι να επιτευχθεί η κατάσταση ισορροπίας (Yetenayet & Hosahalli, 2010).

3.2 Μηχανισμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Κατά την ωσμωτική επεξεργασία σε διάλυμα σακχάρων/αλάτων η πρόσληψη διαλυμένων ουσιών έχει ως συνέπεια τη δημιουργία ενός στρώματος στερεών συστατικών κάτω από την επιφάνεια του τροφίμου. Το στρώμα αυτό μειώνει την διαφορά ωσμωτικής πίεσης κατά μήκος της διεπιφάνειας τροφίμου-διαλύματος, δημιουργώντας ένα επιπλέον εμπόδιο στην μεταφορά μάζας, ενώ το άλας φαίνεται να διεισδύει στον ιστό σε μεγαλύτερο βάθος. Η παρουσία του άλατος στο ωσμωτικό διάλυμα παρεμποδίζει το σχηματισμό αυτού του επιπρόσθετου στρώματος, οδηγώντας σε μεγαλύτερους ρυθμούς απώλειας νερού και πρόσληψη στερεών. Εξαιτίας του φαινομένου αυτού, η απώλεια νερού μπορεί να χωριστεί σε δύο φάσεις (Barbosa – Canovas G.V. & Vega-Mercado H., 1996). Η πρώτη φάση χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό απομάκρυνσης του νερού και διαρκεί περίπου 2 ώρες. Η δεύτερη φάση, που κρατάει μέχρι τέσσερις ώρες, ορυθμός απώλειας του νερού μειώνεται.



Σχήμα 3.1 Αναπαράσταση των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την αφυδάτωση τροφίμου σε ωσμωτικό διάλυμα (Shi & Xue, 2009).

Κατά συνέπεια, η ωσμωτική αφυδάτωση έχει ως αποτέλεσμα διπλή τροποποίηση στο τρόφιμο με μείωση της περιεχόμενης υγρασίας και ταυτόχρονο εμπλουτισμό με επιλεγμένα συστατικά, που ενδέχεται να οδηγήσει σε μεταβολή της θρεπτικής αξίας, των λειτουργικών και των οργανοληπτικών του ιδιοτήτων. Η άμεση τροποποίηση της σύστασης του τροφίμου καθιστά την ωσμωτική αφυδάτωση ιδιαίτερα ελκυστική μέθοδο προκατεργασίας των τροφίμων που πρόκειται να υποβληθούν στη συνέχεια σε άλλες διεργασίες συντήρησης όπως ξήρανση, παστερίωση για περαιτέρω αύξηση της διάρκειας ζωής του τροφίμου.

3.3 Εφαρμογή του Δεύτερου Νόμου Διάχυσης του Fick στην Ωσμωτική Αφυδάτωση

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παρατηρούνται τρεις διαδικασίες μεταφοράς μάζας:

1. Διάχυση νερού από το τρόφιμο στο περιβάλλον ωσμωτικό μέσο λόγω της βαθμίδας συγκέντρωσης μεταξύ αυτών,
2. Διάχυση διαλυμένης ουσίας από το ωσμωτικό διάλυμα στο τρόφιμο, και
3. Έκπλυση των φυσικών διαλυμένων ουσιών από το τρόφιμο.

Η μεταφορά μάζας που πραγματοποιήθηκε σε δείγματα αγγουριού και τομάτας, εμβαπτισμένων σε διάλυμα γλυκερόλης, ποσοτικοποιήθηκε με τον προσδιορισμό

της απώλειας νερού (water loss, WL) και της πρόσληψης άλατος (salt gain, SG) κατά την ωσμωτική επεξεργασία. Οι αριθμητικές τιμές των WL και SG είναι:

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \quad \text{Εξίσωση 3.1}$$

$$SG = \frac{(m - m_0)}{m_0} \quad \text{Εξίσωση 3.2}$$

όπου

M_0 είναι η αρχική μάζα του φρέσκου τροφίμου,

M είναι η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας,

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

m_0 είναι η ξηρή μάζα του φρέσκου προϊόντος

(Goula and Lazarides, 2012)

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για τη μαθηματική περιγραφή της ωσμωτικής επεξεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η μακροσκοπική και η μικροσκοπική θεώρηση. Σύμφωνα με τη μακροσκοπική θεώρηση, ο ιστός του τροφίμου είναι ομοιογενής και το φαινόμενο προσεγγίζεται μέσα από μακροσκοπικές-φαινομενολογικές σχέσεις που εκφράζουν μακροσκοπικά μεγέθη όπως η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών. Από την άλλη, η μικροσκοπική θεώρηση αναγνωρίζει τις ετερογενείς ιδιότητες του ιστού και βασίζεται στη μικροδομή του κυττάρου. Αύτη η προσέγγιση είναι πολύπλοκη αλλά ακριβής. (Le Maguer & Yao, 1996). Βάση της μακροσκοπικής προσέγγισης του φαινομένου η πιο διαδεδομένη μέθοδος προσέγγισης των φαινομένων μεταφοράς μάζας, βασίζεται στον 2^ο νόμο διάχυσης του Fick, που περιγράφει τη διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση.

Η σχέση αυτή στην περίπτωση της γεωμετρίας πλάκας περιγράφεται από την εξής εξίσωση:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (\text{Εξίσωση 3.3})$$

όπου C είναι η συγκέντρωση,

D_e είναι ο συντελεστής διάχυσης,

x είναι η χαρακτηριστική απόσταση της διάχυσης και

t είναι ο χρόνος.

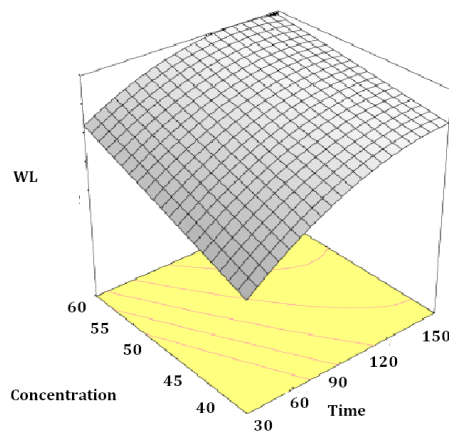
Το φαινόμενο αφορά στη μεταφορά διαλυτών υλικών από τον περιβάλλοντα χώρο, και αντιστρόφως. Συνεπώς, αν τα τρόφιμα θεωρηθούν ως πορώδη στερεά, ο νόμος του Fick μπορεί να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αρχικά υπολογίζεται η συγκέντρωση των στερεών και του νερού για κάθε χρονική στιγμή και μετά ακολουθεί ολοκλήρωση στις οριακές συνθήκες. Η λύση της παραπάνω γενικευμένης εξίσωσης εξαρτάται από τη γεωμετρία του τροφίμου και καταλήγει στον προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης του νερού και των στερεών, D_{ew} και D_{es} , αντίστοιχα. Σκοπός της περιγραφής των φαινομένων μεταφοράς νερού και στερεών μέσω των συντελεστών διάχυσης D_{ew} και D_{es} , είναι να συσχετίσει τα φαινόμενα αυτά με εύκολα μετρήσιμα μεγέθη όπως η συγκέντρωση και η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος και να προσδιορίσει τις τελικές συνθήκες για τη διεργασία όπως το χρόνο διεργασίας και το επιθυμητό ποσοστό αφυδάτωσης (Nsonzi et al., 1998).

3.4 Παράμετροι που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση

3.4.1 Παράμετροι ωσμωτικού μέσου

Η διαδικασία της ωσμωτική αφυδάτωσης επηρεάζεται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες, το μοριακό βάρος, τη διαλυτότητα και την ιοντική κατάσταση του ωσμωτικού μέσου (Lazarides H.N, 1994 & Lenart A., 1992). Το ωσμωτικό μέσο χρησιμεύει ως κινητήρια δύναμη για τις ροές της διαλυμένης ουσίας και του νερού. Επιπλέον επηρεάζει σημαντικά τις φυσικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, γι' αυτό πρέπει να εξετάζεται η συμβατότητά του με τα συστατικά των τροφίμων (Tortoe, 2010). Ένα ωσμωτικό μέσο με χαμηλό μοριακό βάρος μπορεί εύκολα να διεισδύσει στα κύτταρα των φρούτων και λαχανικών, σε σύγκριση με ουσίες με μεγαλύτερο μοριακό βάρος (Phisut, 2012). Επιπρόσθετα σημαντικό ρόλο παίζει και η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου

καθώς επηρεάζει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας μεταφοράς κατά τη διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης (Phisut N., 2012 & Rahman M.S & Lamb., 1990). Ο Lenart (1992) παρατήρησε ότι μία αύξηση στην συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου οδήγησε σε μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας νερού μέχρι που επιτεύχθηκε ισορροπία (Tortoe, 2010). Γενικά για να είναι ένα ωσμωτικό μέσο πετυχημένο θα πρέπει να επιφέρει αποτελεσματική ώσμωση, δηλαδή ταχύ ρυθμό απώλειας νερού (WL) και χαμηλή τελική τιμή ενεργότητας νερού (a_w), να προσδίδει καλές φυσικοχημικές και λειτουργικές ιδιότητες στο τρόφιμο, βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και καλές διατροφικές ιδιότητες και να έχει αποδεκτό κόστος. Τα πιο κοινά ωσμωτικά μέσα είναι η γλυκερόλη, οι μαλτροδεξτρίνες, η γλυκόζη και η φρουκτόζη.



Σχήμα 3.2 Μεταβολή της απώλειας νερού κομματιών καρότου συναρτήσει του χρόνου της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος σακχαρόζης στους 50°C. (Uddin et al. 2004)

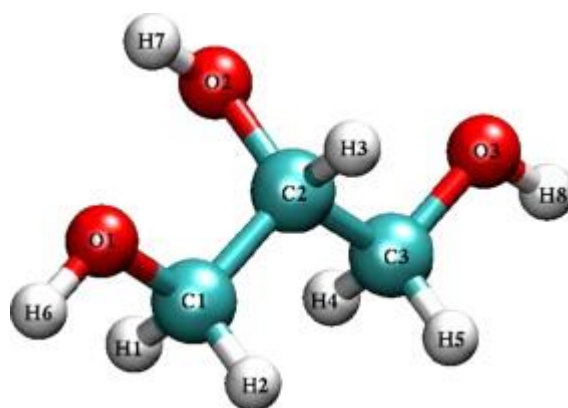
- **Γλυκερόλη**

Η γλυκερόλη (1,2,3-προπανοτριόλη) είναι ένα άχρωμο, άοσμο, παχύρρευστο υγρό με γλυκιά γεύση, που προέρχεται τόσο από φυτικές όσο και πετροχημικές πρώτες ύλες. Η ακατέργαστη γλυκερόλη έχει καθαρότητα 70-80% ενώ η γλυκερόλη που προορίζεται για εμπορική πώληση φτάνει σε καθαρότητα 95,5 έως 99%. Είναι μία από τις πιο πολύτιμες χημικές ουσίες, γνωστές στον άνθρωπο. Είναι εντελώς διαλυτή στο νερό και στις αλκοόλες, ελαφρώς διαλυτή σε πολλούς κοινούς

διαλύτες όπως ο αιθέρας και το διοξάνιο και αδιάλυτη στους υδρογονάνθρακες (Chung YH et al., 2007). Στην καθαρή άνυδρη κατάσταση της, η γλυκερόλη έχει ειδική βαρύτητα $1,261 \text{ g mL}^{-1}$, σημείο τήξης στους $18,2^\circ\text{C}$ και σημείο ζέσεως στους 290°C σε ατμοσφαιρική πίεση.

Συνολικά διαθέτει ένα μοναδικό συνδυασμό φυσικών και χημικών ιδιοτήτων (Πίνακας 3.1), οι οποίες χρησιμοποιούνται σε χιλιάδες προϊόντα.

Η γλυκερόλη περιέχει τρεις υδρόφιλες ομάδες υδροξυλίου που είναι υπεύθυνες για την υγροσκοπικότητά της και τη διαλυτότητά της στο νερό (Perry RH et al., 1997). Στο σχήμα (3.2) φαίνεται η μοριακή δομή της γλυκερόλης, αποτελούμενη από τρία υδροξύλια.



Σχήμα 3.3 Μοριακή δομή της γλυκερόλης (Blicek et al., 2005)

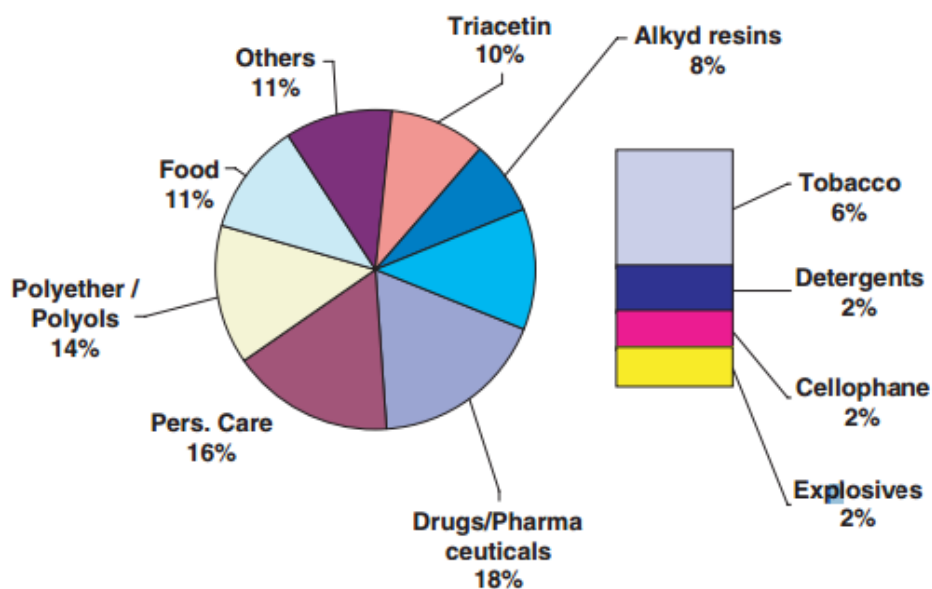
Στην υδατική φάση, η γλυκερόλη σταθεροποιείται λόγω του συνδυασμού των ενδομοριακών δεσμών υδρογόνου και τη διάλυση των υδροξυλικών ομάδων.

Επιπλέον έχει μεγάλο ιξώδες και σε κανονικές θερμοκρασίες παραμένει ένα ιξώδες ρευστό, χωρίς να κρυσταλλώνει ενώ υδατικά διαλύματα γλυκερόλης (σε διαφορετικές συγκεντρώσεις) τείνουν να έχουν χαμηλότερο ιξώδες. Τα υδατικά διαλύματα γλυκερόλης δεν καταψύχονται και χρησιμοποιούνται ως αντιψυκτικά σε συστήματα ψύξης. Επίσης δεν οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα υπό κανονικές συνθήκες αλλά μπορεί εύκολα να οξειδωθεί με άλλα οξειδωτικά.. Μεταξύ 0°C και 70°C , αλλαγές στη θερμοκρασία έχουν μικρή επίδραση στην πίεση ατμών των διαλυμάτων γλυκερόλης. Όπως και άλλες αλκοόλες, έχει χαμηλότερη πίεση ατμών απ' ό τι θα αναμενόταν για το μοριακό της βάρος.

Πίνακας 3.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες της γλυκερόλης στους 20°C (Handbook of Chemistry and Physics, 2006)

Γλυκερόλη	
Μοριακός Τύπος	$C_3H_5(OH)_3$
Μοριακό βάρος	92,09382 g·mol ⁻¹
Πυκνότητα	1,26 g·cm ⁻³
Ιξώδες	1,5 Pa.s
Σημείο τήξης	18,2°C
Σημείο βρασμού	290°C
Σημείο ανάφλεξης	160°C
Επιφανειακή τάση	64,00 mN·m ⁻¹

Η γλυκερόλη έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στη βιομηχανία τροφίμων, φαρμάκων, καλλυντικών, καπνών καθώς και μια ποικιλία από βιομηχανικές και επιστημονικές χρήσεις.



Σχήμα 3.4 Βιομηχανικές εφαρμογές της γλυκερόλης (Frost & Salivan, 2006)

Σε πολλές περιπτώσεις η γλυκερόλη χρησιμοποιείται ως υγροσκοπική ουσία δηλαδή συγκρατεί την υγρασία αντλώντας νερό από το περιβάλλοντα χώρο. Εξαιτίας αυτής

της ιδιότητας η γλυκερόλη προστίθεται σε κόλλες για να μην στέγνωνουν πάρα πολύ γρήγορα. Στη βιομηχανία των τροφίμων και ποτών χρησιμοποιείται επίσης και ως γλυκαντικό, ως διαλύτης και ως συντηρητικό.

Σε ότι αφορά την ωσμωτική αφυδάτωση η υγροσκοπικότητα της γλυκερόλης, χρησιμοποιείται για μείωση της ενεργότητας του νερού του τροφίμου, που είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες της ώσμωσης. Επίσης είναι ένα σύννηθες πρόσθετο τροφίμων για τη βελτίωση της υφής των τροφίμων (πλαστικοποιητής) (Clubbs, Vittadini, Shellhammer, Vodovotz 2005, Pouplin, Redl, Gontard, 1999) και χρησιμοποιείται και ως μικροβιολογικό προστατευτικό (Qiu et Bending, 2002).

- **Μαλτοδεξτρίνες**

Οι μαλτοδεξτρίνες χρησιμεύουν ως μέσα μεταφοράς ουσιών στον οργανισμό, υποκατάστατα λιπών και μέσα ελέγχου της κατάψυξης για την αποφυγή ανακρυστάλλωσης. Είναι άγλυκοι πολυσακχαρίτες, οι οποίοι αποτελούνται από μόρια D γλυκόζης ενωμένα κυρίως με α 1-4 δεσμούς. Επιπλέον είναι μερικώς υδρολυμένο προϊόν αμύλου και χαρακτηρίζεται κυρίως από το βαθμό υδρόλυσης, ο οποίος εκφράζεται ως ισοδύναμο δεξτρόζης (dextrose Equivalen, DE), δηλαδή το επί τοις εκατό ποσοστό των αναγωγικών σακχάρων, υπολογιζόμενο ως βάρος δεξτρόζης επί ξηρού βάρους. Υψηλές τιμές DE παρέχουν αυξημένη λειτουργικότητα, που οδηγεί σε ταπείνωση του σημείου κατάψυξης, ανύψωση του σημείου βρασμού, της ενεργότητας νερού και άλλες ιδιότητες όπως για παράδειγμα υγροσκοπικότητα, γλυκύτητα, διαλυτότητα και ιξώδες.

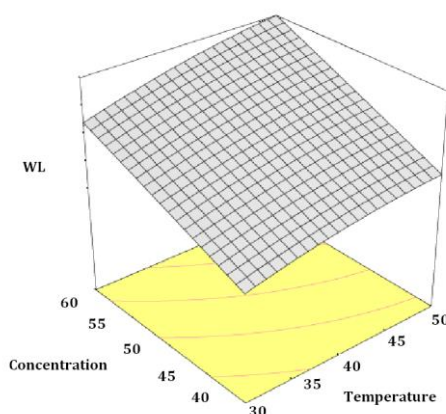
3.4.2 Παράμετροι της διεργασίας

Αφού προηγηθεί η επιλογή του προϊόντος και του ωσμωτικού μέσου μπορούν να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης οι οποίοι είναι οι εξής:

- **Θερμοκρασία**

Η *θερμοκρασία* είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το ρυθμό της μεταφοράς μάζας κατά την ώσμωση (Tortoe, 2010). Η αύξηση της θερμοκρασίας

επιταχύνει την απώλεια νερού, ενώ η πρόσληψη στερών επηρεάζεται λιγότερο (Khan M.R., 2012 & Tortoe C., 2010). Αυτό οφείλεται στη διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών και οδηγεί σε ταχύτερη διείσδυση του νερού στο προϊόν λόγω και του χαμηλού ιξώδους του ωσμωτικού μέσου (Lazarides et al., 1995). Η επίδραση της θερμοκρασίας στην κινητική της απώλειας υγρασίας, χωρίς καμία επίδραση στην πρόληψη στερεών είναι περισσότερο εμφανής μεταξύ των 30°C και 60°C για τα λαχανικά και τα φρούτα (Pokharkar, 2001). Ο Lazarides (1994) ανέφερε ότι η ωσμωτική επεξεργασία μήλου σε θερμοκρασία 30°C και 60°C οδήγησε σε υψηλότερη πρόσληψη ζάχαρης(έως και 55%) σε σύγκριση με επεξεργασία σε συνθήκες περιβάλλοντος. Ωστόσο, θερμοκρασία μεγαλύτερη από 50 ° C μπορεί να βλάψει τους φυτικούς ιστούς (Ramaswamy, 2005) και να προκαλέσει φαινόμενα υποβάθμισης ποιότητας του τροφίμου, όπως ενζυμική αμαύρωση και επιδείνωση του αρώματος (Videv et al.,1990). Πάντως η βέλτιστη θερμοκρασία εξαρτάται από το είδος του τροφίμου (Biswal et al., 1991).



Σχήμα 3.5 Μεταβολή της απώλειας νερού κομματιών καρότου συναρτήσει της θερμοκρασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος σακχαρόζης για 45min. (Uddin et al. 2004)

- **Αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο**

Η αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο έχει μεγάλη σημασία κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης των φρούτων και λαχανικών, η οποία επηρεάζει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ως ένα βαθμό. Πολλοί ερευνητές μελέτησαν την επίδραση των διαφορετικών αναλογιών (% w/w ωσμωτικό διάλυμα : τρόφιμο, 1:1

έως 1:5) στην κινητική της μεταφοράς μάζας. Μεγάλη αναλογία (από 20:1 έως 30:1) έχει ως πλεονέκτημα την μικρή αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η σημαντική μείωση της ωσμωτικής πίεσης κατά την διεργασία (Lazarides & Mavroudis 1995). Στην πράξη όμως η αναλογία αυτή αυξάνει πολύ την ποσότητα του ωσμωτικού διαλύματος, διογκώνοντας το ήδη υπάρχον πρόβλημα της διάθεσης και της πιθανής επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος. Οι περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποιούν μικρότερες αναλογίες διαλύματος : τρόφιμο όπως π.χ 2:1 (Carrote & Bertone, 1989), 3:1 (Forni et al. 1989, Viberg et al. 1998) , 4:1 (Kowalska & Lenart, 2001).

- **Χρήση ανάδευσης**

Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας αυξάνεται με τη χρήση της ανάδευσης κατά τη διάρκεια ωσμωτική διεργασίας, λόγω της μείωσης της αντίστασης μέσω της καλύτερης και συνεχούς επαφής που επιτυγχάνεται μεταξύ τροφίμου και ωσμωτικού διαλύματος κυρίως στην περίπτωση διαλυμάτων με μεγαλύτερη συγκέντρωση άρα και μεγαλύτερο ιζώδες (Kaymak- Ertekin και Cakaloz 1996, Mavroudis et al. 1998, Raoult- Wack et al. 1989). Επιπροσθέτως, η ανάδευση παρεμποδίζει την δημιουργία επιφανειακού στρώματος στερεών στο εξωτερικό μέρος του προϊόντος, επηρεάζοντας σαφώς την μετακίνηση του νερού. Βασικό μειονέκτημα της ανάδευσης αποτελεί η ευθραυστότητα του προϊόντος τροφίμου.

- **Χρονική διάρκεια της ώσμωσης**

Η αύξηση του χρόνου εμβάπτισης οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά τη διάρκεια της οσμωτικής αφυδάτωσης (Ispir A. & Toğrul Đ.T., 2009 & Mundada M., et al., 2011). Μελέτες για την επίδραση της διάρκειας στην ωσμωτική διεργασία έδειξαν ότι η μεταφορά μάζας συνέβη με ταχύτερο ρυθμό μέσα στις πρώτες 2 ώρες και μετά ακολούθησε μείωση στο ρυθμό ξήρανσης (Ramaswamy, 2005). Ωστόσο, η αρχική χρονική περίοδος είναι κρίσιμη, δεδομένου ότι οι τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι ταχεία και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην περαιτέρω εξέλιξη της διεργασίας.

- **Επιφάνεια επαφής τροφίμου με το ωσμωτικό μέσο**

Με τον έλεγχο της επιφάνειας επαφής μέσω του μεγέθους των δειγμάτων, μπορεί να καθοριστεί και ο βαθμός απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών (Nieuwenhuijzen et al., 2001). Σύμφωνα με τους Lerici et al. (1985), μέχρι ένα συγκεκριμένο λόγο A/L (ολική επιφάνεια προς το ήμισυ του πάχους), δείγματα με μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια, υφίστανται μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών σε σύγκριση με άλλες γεωμετρικές. Σχήματα με υψηλή τιμή ειδικής επιφάνειας, όπως κύβοι, ευνοούν την πρόσληψη στερεών εις βάρος της απώλειας νερού. Οι Islam και Flink (1982) ανέφεραν ότι το μέγεθος και το σχήμα του προϊόντος τροφίμου καθορίζει την τελική συγκέντρωση του σε στερεά, όταν πρόκειται για μικρούς χρόνους ώσμωσης, όπου και η αφυδάτωση οφείλεται κατά κύριο λόγο στα φαινόμενα μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια.

3.5 Διαχείριση ωσμωτικού διαλύματος

Η απομάκρυνση του νερού από το εσωτερικό του τροφίμου προς το διάλυμα, έχει ως αποτέλεσμα την αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος, την αύξηση της μάζας του και τη μειωμένη δυνατότητα απομάκρυνσης νερού. Συνεπώς, η συγκέντρωση του διαλύματος θα πρέπει να διατηρείται σταθερή με προσθήκη διαλυτών στερεών ή με τη μέθοδο της εξάτμισης (ατμοσφαιρική σε υψηλή θερμοκρασία ή υπό κενό σε μέτρια θερμοκρασία). Η αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος εξαρτάται από την αναλογία μεταξύ του διαλύματος και των στερεών (Contreras E. & Smyrl T.G., 1981 & Pavašović V., et al., 1986). Οι φυσικές, χημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των υπερτονικών διαλυμάτων αλλάζουν με την εμβάπτιση φρούτων και λαχανικών μέσα σε αυτά (Szyczak J.A., et al., 1998 & Valdez - Frago A., et al., 1998). Οι Dalla Rosa & Giroux (2001) ανέφεραν τις παρακάτω πτυχές του προβλήματος:

1. Μεταβολές στις ιδιότητες του διαλύματος (pH, ιξώδες, ενεργότητα νερού) λόγω των διαλυμένων ουσιών μπορεί να επηρεάσουν την κινητική της ωσμωτικής διεργασίας.

2. Μεταβολές στις οργανοληπτικές ιδιότητες του διαλύματος (κυρίως γεύση και χρώμα) μπορεί να περιορίσουν τη χρήση του διαλύματος για την επεξεργασία διαφόρων τροφίμων.
3. Η αύξηση των οργανικών περιεχομένων παρέχει ένα υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος (η συγκέντρωση και η σύνθεση του διαλύματος, η ανακύκλωση, η προσθήκη διαλυτών ουσιών, η διάθεση των αποβλήτων και η επαναχρησιμοποίηση) είναι πρόκληση για της βιομηχανίες. Το αραιωμένο διάλυμα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με αντίστροφη ώσμωση και εξάτμιση (Tortoe, 2010). Λόγω της επαναχρησιμοποίησης των οσμωτικών διαλυμάτων και του μεγαλύτερου χρόνου επεξεργασίας, πραγματοποιείται τραυματισμός των κυττάρων (Tortoe, 2010). Οι καρποί και σπόροι που συσσωρεύονται στο διάλυμα μετά την ωσμωτική αφυδάτωση των φρούτων και λαχανικών παρέχουν ένα κατάλληλο μέσο για την ανάπτυξη μικροβίων και επομένως οι πιθανότητες των μικροβιακών μολύνσεων αυξάνονται. Η εφαρμογή της ανακύκλωσης του ωσμωτικού διαλύματος σε τρόφιμα απαιτεί επιπλέον και η εξυγίανση και καθαρισμό του με χρήση συνδυαστικών επεξεργασιών, όπως φιλτράρισμα και παστερίωση σε συνδυασμό με προσθήκη στερεών-σακχάρων, προκειμένου, τα ωσμωτικό διάλυμα να επανέλθει στην αρχική του σύσταση. Στην περίπτωση ωσμωτικών διαλυμάτων με πολλά συστατικά, η ανακύκλωση είναι πιο δύσκολη, καθώς στον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα ποσοστά των συστατικών.

Τέλος, η διαχείριση των χρησιμοποιημένων διαλυμάτων άλατος κατά την ωσμωτική επεξεργασία λαχανικών δεν έχει λυθεί μέχρι σήμερα. Τα διαλύματα που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση οργανικών υλικών έχουν υψηλή απαίτηση οξυγόνου και είναι απαραίτητη η αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων που περιέχουν άλας. Όταν η ανακύκλωση του ωσμωτικού διαλύματος φτάσει στο τελικό όριο που όλες οι μέθοδοι ανάκτησης και εξυγίανσης του, δεν είναι πλέον εφαρμόσιμες, το διάλυμα πρέπει να απομακρυνθεί από τη γραμμή των διεργασιών και να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς. Όταν για τα διαλύματα δεν μπορεί να βρεθεί τρόπος για την

περαιτέρω χρήση τους, τότε αυτά πρέπει να απορριφθούν ως υγρά απόβλητα (Dalla Rosa & Giroux, 2001).

3.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία από τις πιο αξιολογούμενες μεθόδους αφυδάτωσης τροφίμων λόγω των πιθανών πλεονεκτημάτων της, τα οποία είναι τα εξής:

- Τα προϊόντα της ωσμωτικής αφυδάτωσης διατηρούν τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (σχήμα, χρώμα, άρωμα) σε ικανοποιητικό βαθμό.
- Λόγω της συνεχούς εμβάπτισης του τροφίμου στο ωσμωτικό διάλυμα, η ωσμωτική αφυδάτωση είναι διαδικασία κατά την οποία το τρόφιμο δεν έρχεται σε απευθείας επαφή με το οξυγόνο κι έτσι αποφεύγουμε την χρήση του διοξειδίου του θείου το οποίο χρησιμοποιείται για την αποφυγή οξειδωτικού και ενζυμικού μαυρίσματος του τροφίμου.
- Επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των προϊόντων.
- Λόγω της μείωσης του όγκου και του βάρους των τροφίμων έχουμε μείωση του κόστους συσκευασίας, μεταφοράς και αποθήκευσης των αφυδατωμένων τροφίμων (Petrotos & Lazarides, 2001).
- Επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των προϊόντων

Από την άλλη, οι εμπορικές εφαρμογές της είναι αρκετά περιορισμένες. Αυτό οφείλεται στα εξής:

- Δυσκολία ελέγχου της πρόσληψης μεγάλων ποσοτήτων διαλυμένων ουσιών από το τρόφιμο.
- Δυσκολία ανακύκλωσης και μικροβιακής σταθερότητας των ωσμωτικών διαλυμάτων.

Η υψηλή πρόσληψη διαλυμένων ουσιών προκαλεί μία ελάττωση του ρυθμού αφυδάτωσης λόγω της μειωμένης βαθμίδας ωσμωτικής πίεσεως στη διεπιφάνεια τροφίμου-μέσου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και τις υπόλοιπες ξηρές επεξεργασίες. Επιπρόσθετα, η υψηλή πρόσληψη διαλυμένων ουσιών μπορεί να επιδράσει στο θρεπτικό προφίλ του προϊόντος.

3.7 Ωσμωτική αφυδάτωση και τεχνολογία εμποδίων

Η ωσμωτική αφυδάτωση πρέπει να θεωρείται ως προκατεργασία πριν από την κυρίως επεξεργασία του τροφίμου, καθώς δεν αποτελεί διαδικασία συντήρησης από μόνη της. Η σημαντικότητά της ως προκατεργασία βασίζεται στο γεγονός ότι μεταβάλλει τη χημική σύσταση του τροφίμου μέσω της ταυτόχρονης πρόσληψης στερεών και απώλειας νερού. Ο σκοπός της εφαρμογής της ωσμωτικής κατεργασίας πριν από την εφαρμογή μιας παραδοσιακής μεθόδου συντήρησης, όπως είναι η ξήρανση, η κατάψυξη, η κονσερβοποίηση ή ένας συνδυασμός μεθόδων, είναι η βελτίωση κάποιων θρεπτικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων ή η μεγαλύτερη σταθερότητα του προϊόντος κατά την αποθήκευση (Torreggiani, 1995). Το τρόφιμο θα μπορούσε να μετατραπεί σε νέο προϊόν με διαφορετικές αναλογίες μεταξύ νερού και διαλυτών στερεών, μεταξύ διαλυτών στερεών και αδιάλυτων στερεών, μεταξύ σακχάρων, μεταξύ σακχάρων και αλάτων, και μεταξύ σακχάρων και οξέων (Torreggiani, 1995). Οι πιο πολλές διαδικασίες αφυδάτωσης βασίζονται σε εμπόδια (hurdle technology) τα οποία επηρεάζουν τις συνθήκες στις οποίες μπορούν να αναπαραχθούν οι μικροοργανισμοί. Αυτές οι αλλαγές οδηγούν στην απενεργοποίηση των μικροοργανισμών που δεν αποτελούν απειλή για την υγεία, εκτός και αν αποκατασταθούν οι κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης. Κάποια από αυτά τα εμπόδια περιλαμβάνουν την **ήπια θερμική κατεργασία**, τη **ρύθμιση του pH**, τη **θερμοκρασία αποθήκευσης**, την **ενεργότητα νερού** (a_w), το **δυναμικό οξειδοαναγωγής** καθώς και την **χρήση συντηρητικών**. Επομένως ανάλογα με το είδος και την αρχική ποσότητα των μικροοργανισμών επιλέγονται οι παράγοντες που θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό της διαδικασίας σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση. Τελικά, παράγονται προϊόντα τα οποία είναι μικροβιολογικά σταθερά, έχοντας υποστεί ελάχιστη επεξεργασία, μειώνοντας το pH και την ενεργότητα του νερού, εφαρμόζοντας μία ήπια θερμική επεξεργασία, και προσθέτοντας μικρές ποσότητες αντιμικροβιακών παραγόντων (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996).

4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΕΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

4.1 Γενικά

Η σύγχρονη τάση για ηπιότερες και ενεργειακά αποτελεσματικότερες μεθόδους επεξεργασίας τροφίμων, ιδιαίτερα φρούτων και λαχανικών, για την παραγωγή προϊόντων με υψηλά οργανοληπτικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων ελάττωσης του διαθέσιμου στο τρόφιμο νερού. Η ωσμωτική αφυδάτωση, που αποτελεί μια καινοτόμο μέθοδο αφαίρεσης νερού ερευνάται έντονα τα τελευταία χρόνια, και έχει διαπιστωθεί ότι παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, κυρίως όταν χρησιμοποιείται ως προκατεργασία για επιπλέον επεξεργασία.

Ο βασικότερος λόγος που καθιστά ελκυστική τη διερεύνηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας είναι η χημική και μηχανική τροποποίηση του ιστού του τροφίμου, στο οποίο εφαρμόζεται, μέσω της ανταλλαγής μάζας που λαμβάνει χώρα διαμέσου της μεμβράνης. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατόν τα τρόφιμα να μετατραπούν σε καινοτόμα προϊόντα, με διαφορετικές φυσικοχημικές, αλλά και οργανοληπτικές ιδιότητες, εφόσον έχει μεταβληθεί η σχέση νερού - διαλυτών στερεών. Απώτερος στόχος επομένως της εφαρμογής ωσμωτικής αφυδάτωσης, πριν ακολουθήσει κάποια άλλη διεργασία, είναι η βελτίωση των θρεπτικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων του τροφίμου, αλλά και η σταθερότητα του στην επακόλουθη αποθήκευση. Τελικός στόχος είναι η επιβεβαίωση της δυνατότητας παραγωγής προϊόντων υψηλής ποιότητας και εμπορικής βιωσιμότητας.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα των διάφορων συνδυασμένων επεξεργασιών που συνδυάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία ακολουθούμενη από την κυρίως επεξεργασία.

4.2 Ξήρανση

4.2.1 Εισαγωγή

Ο περιορισμός της ανάπτυξης και δράσης των μικροοργανισμών μπορεί να επιτευχθεί με μείωση του διαθέσιμου νερού. Στην ξήρανση των τροφίμων επιδιώκεται η απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους του νερού που περιέχουν ώστε να σταματούν πρακτικά οι μικροβιακές δράσεις. Επί πλέον της συντήρησης του τροφίμου η ξήρανση μπορεί να έχει και άλλους στόχους, όπως η μείωση του όγκου που διευκολύνει τη μεταφορά και την αποθήκευση, ή η παρασκευή προϊόντων κατάλληλων για χρήση π.χ. μίγματα για κέικ, για σουπές κ.ά. Ο όρος ξήρανση (drying) στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιείται για τη διεργασία στην οποία η απομάκρυνση νερού από το τρόφιμο γίνεται με εξάτμιση. Διαφέρει από τη συμπύκνωση (concentration) ως προς το τελικό περιεχόμενο νερού στο τρόφιμο, το οποίο είναι χαμηλότερο στην περίπτωση της ξήρανσης. Αντί του όρου ξήρανση πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος αφυδάτωση (dehydration), αν και ο όρος αυτός αποδίδει καλύτερα την πλήρη απομάκρυνση νερού από το τρόφιμο. Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό διεργασίες απομάκρυνσης νερού με κατάλληλους διαλύτες, ή μείωσης του διαθέσιμου νερού με προσθήκη ζάχαρης ή αλατιού δεν περιλαμβάνονται στον όρο ξήρανση. Ιδιαίτερα πρέπει να αναφερθεί η απομάκρυνση νερού υπό τη μορφή εξάχνωσης πάγου, η οποία γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και καλείται ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying, freeze dehydration). Επίσης η απομάκρυνση νερού με διαλύματα ζαχάρων ή αλατιού, υψηλής ωσμωτικής πίεσης, αποδίδεται με τον όρο ωσμωτική αφυδάτωση (osmotic dehydration). Η ξήρανση των περισσότερων τροφίμων γίνεται με θέρμανση. Επομένως είναι μία διεργασία στην οποία εμπλέκεται μεταφορά μάζας (νερού) από το τρόφιμο προς το περιβάλλον και μεταφορά θερμότητας από το μέσον θέρμανσης προς το τρόφιμο. Γίνεται σε ξηραντήρες διαφόρων τύπων, στους οποίους ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας προς το προϊόν και μεταφοράς μάζας από το προϊόν διαφέρει. Η τεχνική της φυσικής ξήρανσης στον αέρα έχει περιορισμένες εφαρμογές. Στην ξήρανση των τροφίμων ισχύουν οι βασικές αρχές που διέπουν την ξήρανση οποιουδήποτε άλλου προϊόντος. Οι ιδιαιτερότητες των τροφίμων

σχετίζονται με το ρόλο του νερού σε αυτά και την ευαισθησία των συστατικών και των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους στις θερμικές διεργασίες (Ταούκης Π. & Ωραιοπούλου Β., 2009)

Σήμερα, η ξήρανση χρησιμοποιείται σε διάφορους βιομηχανικούς κλάδους (π.χ. χαρτί, ξύλο, τρόφιμα, γεωργία, διαχείριση αποβλήτων, κλπ) που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές. Όσον αφορά τους βιομηχανικούς τομείς, τα τρόφιμα και η γεωργία παραμένουν οι κυρίαρχοι τομείς (Mujumdar, 2010). Πολυάριθμα προϊόντα διατροφής συνήθως διατηρούνται λόγω της ξήρανσης, τα οποία περιλαμβάνουν τα δημητριακά, τα θαλάσσια προϊόντα, τα προϊόντα με βάση το κρέας, τα γαλακτοκομικά προϊόντα, καθώς και τα φρούτα και τα λαχανικά (Jangam, 2011).

4.2.2 Αλλαγές στην ποιότητα των λαχανικών κατά την ξήρανση

4.2.2.1 Αντιδράσεις αμαύρωσης

Οι αντιδράσεις αμαύρωσης αλλάζουν το χρώμα, μειώνουν τη θρεπτική αξία και την διαλυτότητα, δημιουργούν οσμές, και προκαλούν αλλαγές στην υφή. Οι αντιδράσεις αμαύρωσης μπορούν να ταξινομηθούν ως ενζυμικές ή μη-ενζυμικές, με την τελευταία να είναι πιο σοβαρή όσον αφορά την διεργασία ξήρανσης. Οι δύο κύριοι τύποι μη ενζυμικής αμαύρωσης είναι η καραμελοποίηση και το μαυρίσμα Maillard. Εκτός από την υγρασία και τη θερμοκρασία, το pH και η σύνθεση του τροφίμου είναι οι άλλες παράμετροι που επηρεάζουν το ρυθμό της μη ενζυματικής καστανώσης. Ο ρυθμός του μαυρίσματος είναι ταχύτερος στην ενδιάμεση περιοχή υγρασίας και μειώνεται σε πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές υγρασίες. Το μαύρισμα τείνει να συμβεί κυρίως στο κέντρο της περιόδου ξήρανσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην μετανάστευση των διαλυτών συστατικών προς το κέντρο. Το μαύρισμα είναι επίσης πιο σοβαρό κοντά στο τέλος της περιόδου ξήρανσης, όταν τα επίπεδα υγρασίας του δείγματος είναι χαμηλά. Αρκετές προτάσεις βρέθηκαν για να βοηθήσουν στη μείωση της αμαύρωσης κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Σε όλες τις περιπτώσεις, τονίστηκε ότι το προϊόν δεν θα πρέπει να δέχεται περιττή θερμότητα όταν είναι στην κρίσιμη περιοχή περιεκτικότητας σε υγρασία (Rahman, 2007).

4.2.2.2 Σκλήρυνση φλοιού ή Σχηματισμός κρούστας (Case hardening)

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, η συγκέντρωση της υγρασίας στα εξωτερικά στρώματα των τροφίμων είναι μικρότερη από το εσωτερικό, δεδομένου ότι τα εξωτερικά στρώματα χάνουν την υγρασία πριν από το εσωτερικό. Αυτή η επιφάνεια συρρίκνωσης προκαλεί ρωγμές και στρέβλωση. Σε ακραίες περιπτώσεις, συρρίκνωση και μείωση της ικανότητας διάχυσης μπορούν να συνδυαστούν για να αποδώσουν ένα φλοιό πρακτικά αδιαπέραστο από την υγρασία, το οποίο περικλείει τον όγκο του υλικού, έτσι ώστε η εσωτερική υγρασία να μην μπορεί να αφαιρεθεί. Αυτό ονομάζεται σκλήρυνση φλοιού. Στην επεξεργασία τροφίμων, η σκλήρυνση φλοιού είναι επίσης γνωστή ως σχηματισμός κρούστας. Ο σχηματισμός κρούστας μπορεί να είναι είτε επιθυμητός είτε ανεπιθύμητος στον τομέα των αποξηραμένων προϊόντων διατροφής. Σε μικροενθυλάκωση αρωμάτων, ταχύς σχηματισμός κρούστας απαιτείται για να αποτρέψει την απώλεια γεύσης. Ο Achanta και ο Okos (1996) επισήμαναν ότι ο σχηματισμός κρούστας μπορεί να αναστείλει την ταχύτητα ξήρανσης ώστε η απώλεια υγρασίας από την επιφάνεια του προϊόντος να αναπληρώνεται από την υγρασία από το εσωτερικό. Ο σχηματισμός κρούστας είναι επίσης σημαντικός στην διόγκωση. Σε αυτήν την περίπτωση, το προϊόν υψηλής υγρασίας εκτίθεται σε συνθήκες ταχείας ξήρανσης όπως υψηλή θερμοκρασία και κενό, τα οποία δημιουργούν μια κρούστα. Η αδιαπέραστη κρούστα, σε συνδυασμό με τις ακραίες συνθήκες ξήρανσης, έχει σαν αποτέλεσμα την ταχεία εξάτμιση της υγρασίας και προκαλεί μεγάλες εσωτερικές πιέσεις με αποτέλεσμα το προϊόν να διογκώνεται. Κατά το στάδιο της διόγκωσης, η συσσώρευση της πίεσης στην υαλώδη επιφάνεια μπορεί να ραγίσει την επιφάνεια, επιτρέποντας στον ατμό να διαφύγει.

4.2.3 Μέθοδοι ξήρανσης

Οι διεργασίες ξήρανσης μπορούν γενικά να ταξινομηθούν, με βάση τη μέθοδο αφαίρεσης του νερού που εφαρμόζεται, σε (α) θερμική ξήρανση, (β) οσμωτική αφυδάτωση, και (γ) μηχανική αφυδάτωση.

Στην θερμική ξήρανση, ένα αέριο ή κενό μέσο χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του νερού από το υλικό. Έτσι, η θερμική ξήρανση μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω σε τρεις τύπους: (α) ξήρανση με αέρα, (β) ξήρανση σε περιβάλλον χαμηλού αέρα, και (γ) ξήρανση υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

Θα πρέπει να εξεταστούν πολλοί παράγοντες πριν από την επιλογή μιας διαδικασίας ξήρανσης. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

1. ο τύπος του προϊόντος που πρόκειται να ξηρανθεί,
2. οι επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος,
3. η επιτρεπόμενη ανοχή θερμοκρασίας,
4. η ευαισθησία του προϊόντος σε θερμότητα,
5. οι προ-επεξεργασίες που απαιτούνται,
6. το κόστος κεφαλαίου και επεξεργασίας, και
7. οι περιβαλλοντικοί παράγοντες.

Δεν υπάρχει μία ιδανική τεχνική ξήρανσης που να εφαρμόζεται για όλα τα προϊόντα (Vega-Mercado et al., 2001).

4.2.3.1 Θερμική ξήρανση

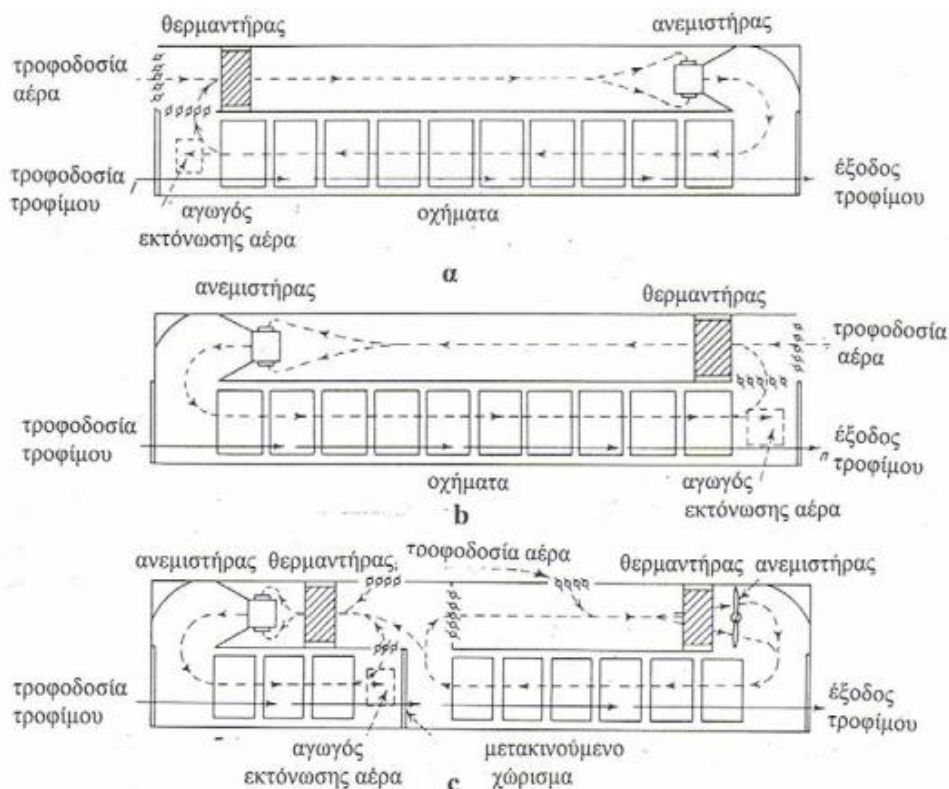
Η θερμική ξήρανση είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους ξήρανσης τροφίμων. Σε αυτή τη διαδικασία, η θερμότητα χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση του νερού από τα τρόφιμα. Οι μηχανισμοί της μεταφοράς υγρασίας εξαρτώνται κυρίως από τα είδη της φυσικοχημικής κατάστασης των υλικών τροφίμων και τη διαδικασία ξήρανσης. Τα υλικά τρόφιμα μπορούν να ταξινομηθούν ως (α) ομοιογενείς πηκτές, (β) πορώδη υλικά με αλληλοσυνδεόμενους πόρους ή τριχοειδή αγγεία, και (γ) υλικά τα οποία έχουν ένα εξωτερικό περίβλημα που είναι το κύριο εμπόδιο στη ροή της υγρασίας. Ο τύπος ή τη δομή των τροφίμων παίζει πάντα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της ξήρανσης.

A) Μέθοδοι ξήρανσης με αέρα

Στην περίπτωση της ξήρανσης με αέρα, η ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται ως το μέσο ξήρανσης και θερμότητας, αλλά θα μπορούσε να εφαρμοστούν διαφορετικοί τρόποι για τη διαδικασία.

- **Σήραγγες ξήρανσης**

Οι σήραγγες ξήρανσης είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος στη βιομηχανική αφυδάτωση των φρούτων και των λαχανικών. Αποτελείται βασικά από ένα τούνελ (ως θάλαμος ξήρανσης), που περιέχει τους δίσκους των προϊόντων που τοποθετούνται σε κινητά καρότσια που κινούνται κατά μήκος της σήραγγας, έναν ανεμιστήρα για να κυκλοφορεί το θερμό αέρα, και μία μονάδα θέρμανσης για την προθέρμανση του αέρα πριν διοχετευτεί στο προϊόν και στη συνέχεια στην εξάτμιση (Σχήμα 4.1). Ο κυκλοφορούμενος αέρας θερμαίνεται απευθείας συνήθως από ένα καυστήρα αερίου, και ο θερμός αέρας ωθείται μέσα στη σήραγγα από έναν ανεμιστήρα. Στην ξήρανση μέσω σήραγγας, οι πρώτες ύλες φορτώνονται στα καρότσια των δίσκων και αυτά τα καρότσια συνέχεια τροφοδοτούνται μέσα στη σήραγγα ξήρανσης σε ένα άκρο σε τακτά χρονικά διαστήματα σε συνεχή βάση και το αποξηραμένο προϊόν εκφορτώνεται στο άλλο άκρο της σήραγγας. Οι αποξηραντές λειτουργούν σε διάφορες διαμορφώσεις, όπως αντιρροής, παράλληλης ροής, και μικτής ροής. Η επιλογή των ρυθμίσεων της σήραγγας εξαρτάται από την ευαισθησία του προϊόντος σε υψηλές θερμοκρασίες σε διαφορετικά ποσοστά υγρασίας. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν σήραγγες ξήρανσης.

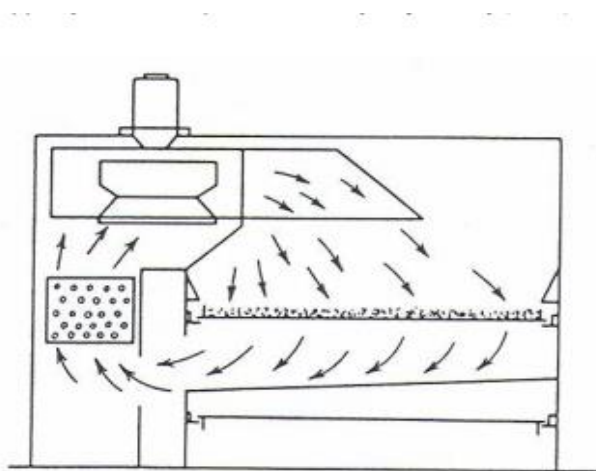


Σχήμα 4.1. Σήραγγες ξήρανσης α : αντιρροής, b: ομορροής, c: μικτής ροής με απομάκρυνση αέρα από το μέσο (Porter et al.,1973)

- Ξήρανση με Μεταφορική ταινία

Οι αποξηραντές με μάντα μεταφοράς χρησιμοποιούνται συχνά για τις μεγάλες βιομηχανικές εφαρμογές ξήρανσης. Αυτό το είδος της αφυδάτωσης λειτουργεί σε συνεχή βάση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να στεγνώσει πολλούς τύπους προϊόντων τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων κομμάτια φρούτων και λαχανικών (Sabarez, 2007). Αποτελείται από μια μονάδα θέρμανσης, ανεμιστήρα για τον εξαερισμό του αέρα, ένα θάλαμο ξήρανσης, και έναν μάντα μεταφοράς. Το προϊόν τοποθετείται σε ένα μεταφορέα και κινείται συνεχώς μέσω του θαλάμου ξήρανσης με την ταχύτητα του μεταφορέα από την είσοδο τροφοδοσίας στην έξοδο του προϊόντος του ξηραντήρα. Ο επιθυμητός χρόνος ξήρανσης επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της ταχύτητας του μεταφορέα. Εάν απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης, χρησιμοποιείται ξηραντήρας με πολλαπλό στάδιο μεταφορέων, το οποίο αποτελείται από μια σειρά από μεταφορείς που στοιβάζονται οριζόντια ή κάθετα. Η

κίνηση του αέρα ξήρανσης σε ένα μεταφορέα αφυδάτωσης μπορεί επίσης να είναι σε παράλληλη, αντίθετη, ή μικτή ροή. Η μεταφορά-μετακίνηση μεταξύ των σταδίων των μεταφορέων επιτρέπει τον αναπροσανατολισμό και την ανάμιξη του προϊόντος για τη βελτίωση της ομοιομορφίας ξήρανσης (Tang και Yang, 2004). Ο ξηραντήρας μπορεί να αποτελείται από διάφορα τμήματα σε σειρά για κάθε στάδιο, στο οποίο μπορεί να ελέγχεται η θερμοκρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του αέρα, και η ταχύτητα του μεταφορέα για κάθε τμήμα για να μεγιστοποιηθεί η ταχύτητα ξήρανσης και να βελτιστοποιηθεί η ενεργειακή απόδοση. Αποξηραντές με μεταφορείς συνήθως παρέχουν υψηλότερη απόδοση και πιο σταθερή ποιότητα των προϊόντων, αλλά απαιτούν υψηλότερες επενδύσεις σε σύγκριση με τους ξηραντήρες με σήραγγα.

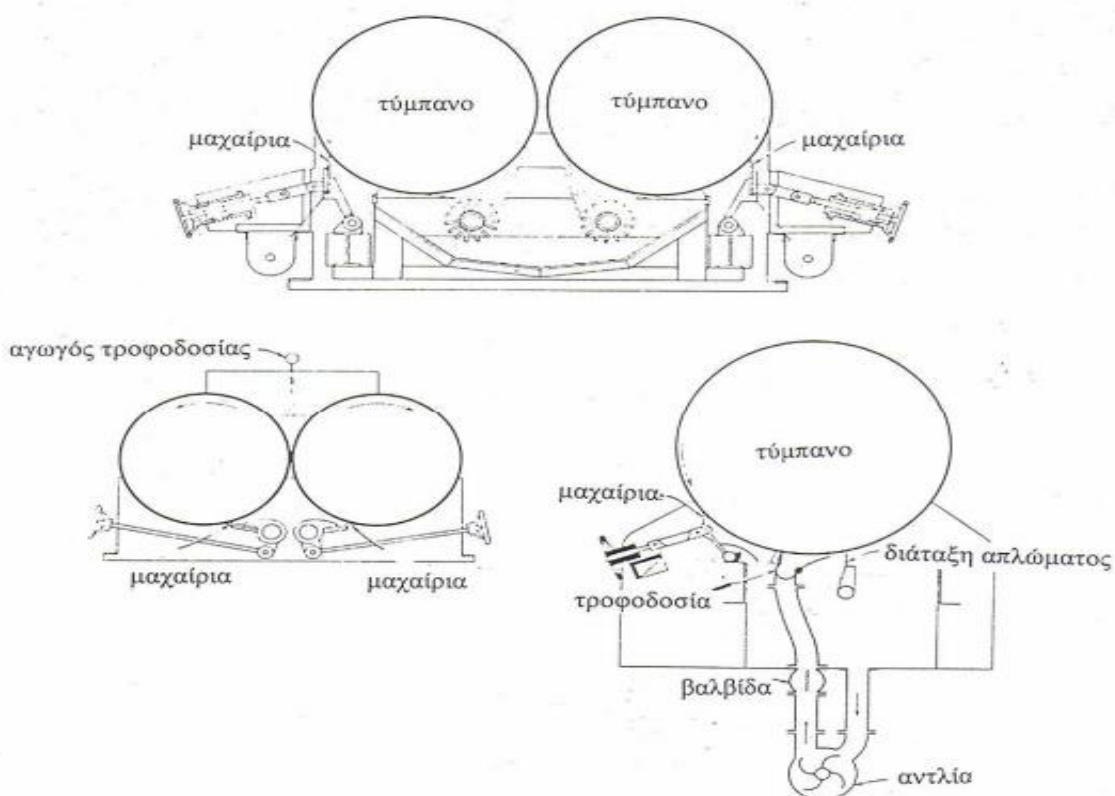


Σχήμα 4.2. Ξηραντήρας μεταφορικής ταινίας με διαβίβαση αέρα μέσω του προϊόντος (Porter et al., 1973)

- Ξήρανση Τυμπάνου

Η ξήρανση τυμπάνου είναι μία ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος για την ξήρανση ιλύος, πουρέ, ή υγρού υλικού. Η χρήση των ξηραντήρων τυμπάνου είναι μια κοινή βιομηχανική πρακτική στη βιομηχανία τροφίμων για την ξήρανση ποικίλων προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των γαλακτοκομικών προϊόντων, παιδικών τροφών, δημητριακών, πολτού φρούτων και λαχανικών, πουρέ πατάτας, μαγειρεμένου αμύλου, κλπ (Bonazzi et al., 1996, Moore, 1995, Rodriguez et al., 1996). Οι ξηραντήρες τυμπάνου γενικά ταξινομούνται σε μονό, διπλό και δίδυμο

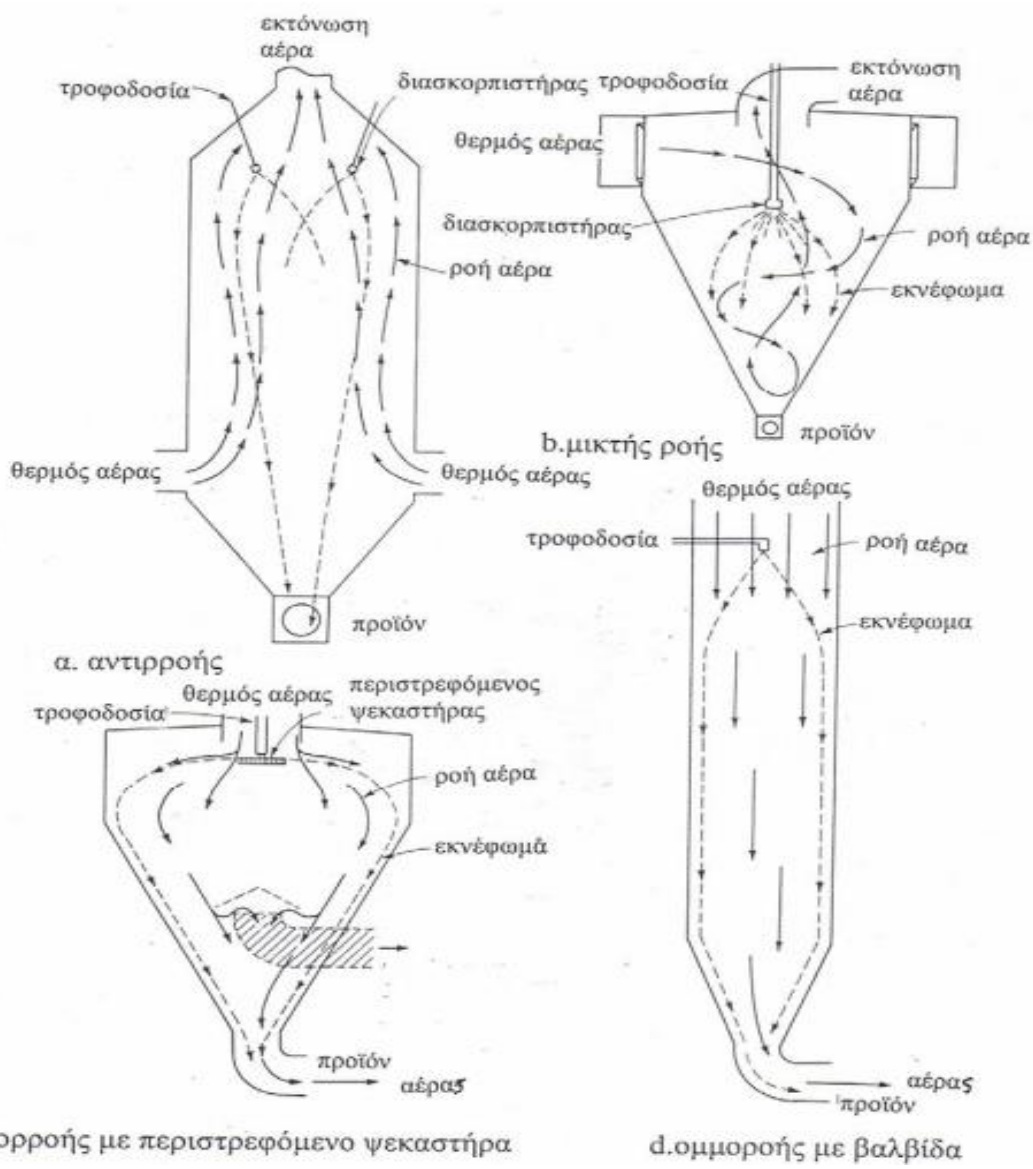
σχεδιασμό τυμπάνου. Βασικά, ένας ξηραντήρας τυμπάνου αποτελείται από ένα (για το σχεδιασμό μονού τύμπανο) ή δύο (για διπλό ή ενιαίο σχεδιασμό τυμπάνου) οριζόντια τοποθετημένων κοίλων κυλίνδρων, κατασκευασμένων από υψηλής ποιότητας χυτοσίδηρο ή ανοξείδωτο χάλυβα, ένα πλαίσιο υποστήριξης, ένα σύστημα τροφοδοσίας προϊόντος, μια ξύστρα, και βοηθητικά σίτισης. Η διαδικασία ξήρανσης σε έναν ξηραντήρα τυμπάνου μπορεί να λαμβάνει χώρα αρκετά γρήγορα, αφού και η μεταφορά θερμότητας διαμέσου του μεταλλικού τυμπάνου και η μεταφορά μάζας του νερού έξω από το λεπτό φιλμ είναι τυπικά αρκετά καλή (Heldman και Hartel, 1997). Οι ιδιότητες των υλικών που επηρεάζουν την προσκόλληση του τυμπάνου περιλαμβάνουν το ιξώδες, την επιφανειακή τάση, και τη δύναμη διαβροχής. Ωστόσο, ο εξοπλισμός και η λειτουργία των ξηραντήρων τυμπάνου κενού είναι σχετικά ακριβά, γεγονός που περιορίζει αυτή την τεχνική σε προϊόντα μόνο υψηλής αξίας (Tang et al., 2003).



Σχήμα 4.3. Ξηραντήρας τυμπάνων διαφόρων τύπων (Heldman and Sighn, 1981)

- Ξήρανση με ψεκασμό

Η ξήρανση με ψεκασμό είναι μία μέθοδος όπου ένα υλικό υγρού / πολτού ψεκάζεται σε λεπτά σταγονίδια σε ένα ζεστό μέσο συναγωγής, μετατρέποντας τα σταγονίδια σε λεπτά στερεά σωματίδια. Η διαδικασία έχει βρει πολλές εφαρμογές στην επεξεργασία τροφίμων, ιδιαίτερα στην παραγωγή του στιγμιαίας σκόνης τροφίμων (Chegini και Ghobadian, 2005, Goula et Adamopoulos, 2008). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για να ληφθούν σκόνες από το γάλα, ορό γάλακτος, μαγιά, και άλλα υψηλής πολυτιμια προϊόντα λόγω των καλής τελικής ποιότητάς τους (Ratti, 2013). Σε αυτή τη μέθοδο ξήρανσης, ένα διάλυμα από διαλυτό ή αιωρούμενο πολτό υλικών ψεκάζεται σε ένα θάλαμο ξήρανσης χρησιμοποιώντας έναν ψεκαστήρα (π.χ., ένα ακροφύσιο), και το ζεστό αέριο ρέει με συντρέχοντα τρόπο ή κατ'αντιρροή με τα διασκορπισμένα σταγονίδια υγρού, απομακρύνοντας την υγρασία από τα σωματίδια. Τα ξηρά σωματίδια σκόνης συλλέγονται στο δοχείο συλλογής. Ενώ αυτή η μέθοδος έχει αρκετά πλεονεκτήματα, μεταξύ των οποίων η ταχεία ξήρανση, μεγάλη διακίνηση, και συνεχή λειτουργία, η ξήρανση με ψεκασμό είναι μια πολύ ακριβή τεχνική για προϊόντα χαμηλής αξίας, κυρίως λόγω της χαμηλής ενεργειακής απόδοσής της (Jangam, 2011). Επιπλέον, λόγω των σχετικά υψηλών θερμοκρασιών που εμπλέκονται στις διαδικασίες ξήρανσης με ψεκασμό, αυτή η τεχνική ξήρανσης μπορεί να προκαλέσει απώλειες ορισμένων ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών ειδικά βιταμίνης C, β-καροτένιο, γεύσεις, και άρωμα (Dziezak, 1988).



Σχήμα 4.4. Ξηραντήρες με ψεκασμό διαφορετικών τύπων ροής αέρα-σταγονιδίων (Porter et al.,1973)

B) Ξήρανση σε περιβάλλον χαμηλού αέρα

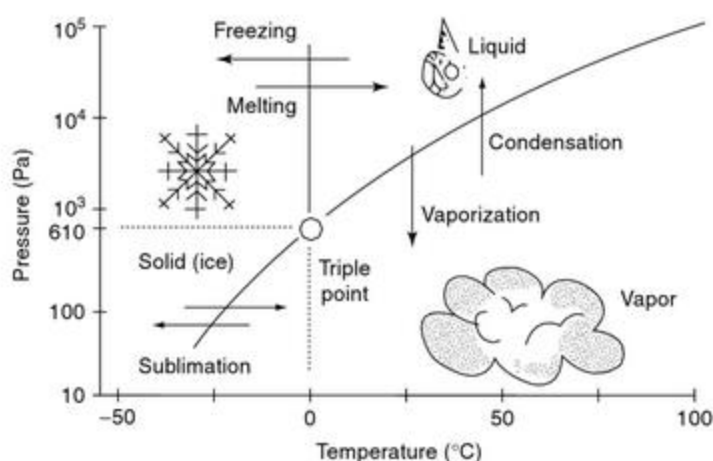
- Ξήρανση υπό κενό

Η ξήρανση υπό κενό του τροφίμων περιλαμβάνει την υποβολή του τροφίμου σε μία χαμηλή πίεση και μία πηγή θέρμανσης. Το κενό επιτρέπει στο νερό να εξατμισθεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία από ό, τι σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, έτσι τα τρόφιμα μπορούν να ξηρανθούν χωρίς έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία. Επιπλέον, το χαμηλό επίπεδο του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα μειώνει τις αντιδράσεις οξείδωσης κατά τη

διάρκεια της ξήρανσης. Σε γενικές γραμμές, το χρώμα, η υφή και η γεύση του ξηραμένου σε κενό προϊόντος βελτιώνονται σε σύγκριση με των ξηραμένων σε αέρα προϊόντων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το προϊόν μπορεί να συγκριθεί με την ποιότητα των τροφίμων ξηραμένων με κατάψυξη.

- Ξήρανση με κατάψυξη

Στην ξήρανση με κατάψυξη, το κατεψυγμένο υλικό υποβάλλεται σε μία πίεση κάτω από το τριπλό σημείο (στο 0°C, πίεση: 610Pa) και θερμαίνεται για να προκαλέσει την εξάχνωση του πάγου σε ατμό. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για υψηλής ποιότητας αποξηραμένα προϊόντα, τα οποία περιέχουν τα θερμοευαίσθητα συστατικά, όπως βιταμίνες, αντιβιοτικά και μικροβιακή καλλιέργεια. Η απουσία αέρος και χαμηλής θερμοκρασίας αποτρέπει την υποβάθμιση λόγω της οξείδωσης ή χημική τροποποίηση του προϊόντος. Δίνει επίσης πολύ πορώδη προϊόντα, τα οποία οδηγούν σε υψηλούς ρυθμούς ενυδάτωσης. Ωστόσο, η ξήρανση με κατάψυξη είναι μια αργή και δαπανηρή διαδικασία. Παράλληλα με το χρόνο επεξεργασίας απαιτείται πρόσθετη ενέργεια για να λειτουργεί ο συμπιεστής και οι μονάδες ψύξης, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία πολύ ακριβή για εμπορική χρήση. Έτσι, χρησιμοποιείται κυρίως για προϊόντα υψηλής αξίας.



Σχήμα 4.5: Σχηματική απεικόνιση των διαφορετικών καταστάσεων στο τριπλό σημείο. (Nijhuis, H H. et al.1996)

- Ξήρανση με αντλία θερμότητας

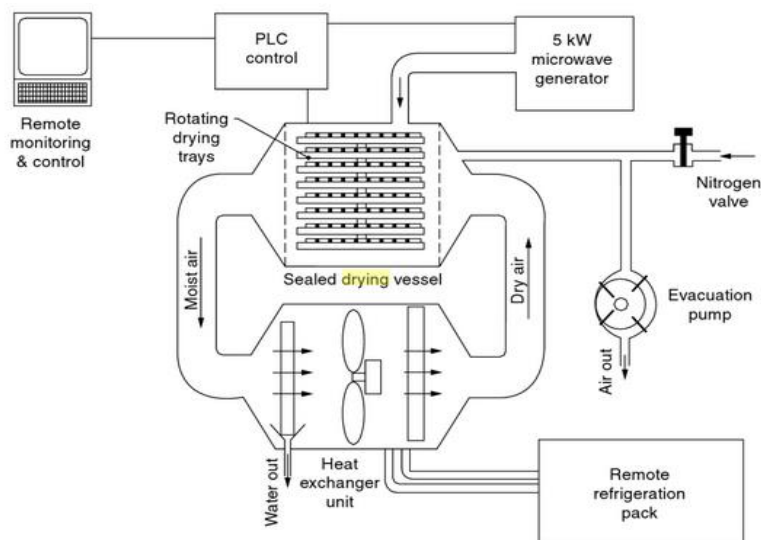
Ο ξηραντήρας με αντλία θερμότητας είναι μια επιπλέον επέκταση του συμβατικού ξηραντήρα μεταφοράς αέρα με ένα ενσωματωμένο σύστημα ψύξης. Ξηρός θερμός αέρας τροφοδοτείται συνεχώς με το προϊόν για να πάρει την υγρασία. Αυτός ο υγρός αέρας περνά μέσα από τον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας, όπου συμπυκνώνεται, δίνοντας τη λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως στο ψυκτικό στον εξατμιστή. Αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται για την αναθέρμανση του δροσερού ξηρού αέρα που περνά πάνω από τον καυτό συμπυκνωτή της αντλίας θερμότητας. Έτσι, η λανθάνουσα θερμότητα που ανακτάται στη διαδικασία απελευθερώνεται στον συμπυκνωτή του κυκλώματος ψύξης και χρησιμοποιείται για την αναθέρμανση του αέρα μέσα στον ξηραντήρα. Η χρήση του ξηραντήρα αντλίας θερμότητας προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών ζεστών ξηραντήρων αέρα για την ξήρανση τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων της υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης, καλύτερης ποιότητας των προϊόντων, την ικανότητα να λειτουργούν ανεξάρτητα από εξωτερικές καιρικές συνθήκες, και των μηδενικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιπλέον, το συμπύκνωμα μπορεί να ανακτηθεί και να απορριφθεί με κατάλληλο τρόπο, και υπάρχει επίσης η δυνατότητα να ανακτηθούν πολύτιμα πτητικά συστατικά από το συμπύκνωμα.

Γ) Ξήρανση υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα

Αυτή είναι μια νέα έννοια ξήρανσης τροφίμων χρησιμοποιώντας ξηραντήρες αντλίας θερμότητας, η οποία χρησιμοποιεί τροποποιημένες ατμόσφαιρες όπως άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα, για την καλύτερη ποιότητα και τη διατήρηση των συστατικών των τροφίμων, επιρρεπείς στην οξείδωση. Τεχνολογίες για τη δημιουργία της ξήρανσης υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα είναι τώρα σε εξέλιξη.

Ξήρανση υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα με αφυγραντήρα αντλίας θερμότητας (MAHPD) είναι μια σχετικά νέα εξέλιξη περιγράφεται από τον Hawlader και Perera et al (2001). Το γεγονός ότι η ξήρανση με αφυγραντήρα αντλίας θερμότητας (HPD) διεξάγεται σε κλειστό, μονωμένο θάλαμο οδήγησε στην ανάπτυξη του (MAHPD) σύστημα ξήρανσης. Ο αέρας στο θάλαμο του αφυγραντήρα αντικαθίσταται με μία αδρανή ατμόσφαιρα όπως άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα ή μίγματα αυτών. Το

δοχείο ξήρανσης είναι σχεδιασμένο για εισαγωγή αζώτου ή για την εκκένωση μέσω μιας σύνδεσης της βαλβίδας. Το σύστημα MAHPD δείχνει να έχει επίσης διατάξεις για την εισαγωγή ενέργειας μικροκυμάτων για τη θέρμανση του προϊόντος, μέσω ενός κυματοδηγού με σχισμές που τρέχει κάτω από το τοίχωμα του θαλάμου παράλληλα προς τον άξονα του θαλάμου. Τέλος, πολυάριθμες παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι MAHPD είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την ξήρανση ευαίσθητων τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων.



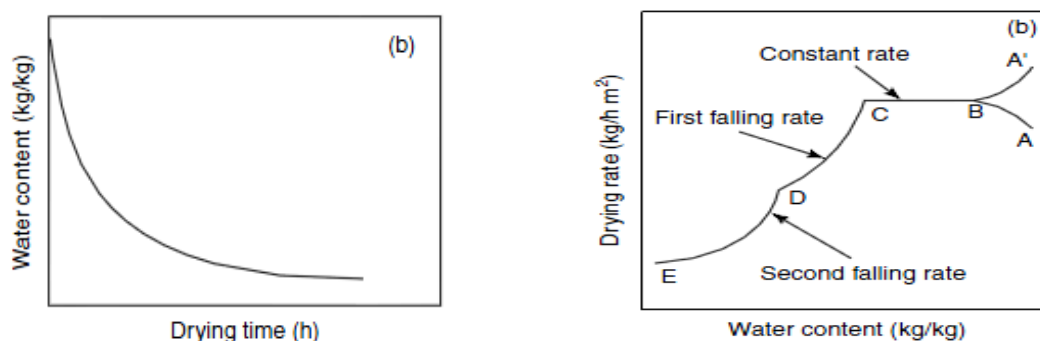
Σχήμα 4.6: Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος ξήρανσης MAHPD. (Perera, C.O. 2001)

4.2.4 Μαθηματική μοντελοποίηση της ξήρανσης

4.2.4.1 Καμπύλες ξήρανση

Οι καμπύλες ξήρανσης κατασκευάζονται με βάση τα πειραματικά δεδομένα υγρασίας- χρόνου που λαμβάνονται κατά την ξήρανση υλικών συνήθως σε ρεύμα αέρα. Κατά την ξήρανση προσδιορίζεται η υγρασία του τροφίμου, εκφρασμένη συνήθως σε ξηρή βάση, σε διάφορες χρονικές στιγμές και η υγρασία ισορροπίας. Με βάση αυτά τα δεδομένα κατασκευάζεται η καμπύλη ξήρανσης με τεταγμένη την υγρασία του τροφίμου ή την ελεύθερη υγρασία αυτού και τετμημένη το χρόνο ξήρανσης. Με αριθμητική διαφόρηση των πειραματικών δεδομένων προκύπτει ο ρυθμός ξήρανσης δηλαδή η μεταβολή της υγρασίας ως προς το χρόνο ξήρανσης (dw/dt) και η καμπύλη του ρυθμού ξήρανσης δίνει τη μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης ως συνάρτηση της υγρασίας ή της ελεύθερης υγρασίας. Τυπικές μορφές

αυτών των καμπυλών δίνονται στο σχήμα (4.7). Σ' αυτό φαίνεται ο αρχικός σταθερός ρυθμός ξήρανσης που ακολουθούν τα περισσότερα προϊόντα, ακολουθούμενος από μειωνόμενο ρυθμό ξήρανσης. Το σημείο στο οποίο παρατηρείται αυτή η μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης καλείται κρίσιμη περιεκτικότητα σε υγρασία. Η καμπύλη του ρυθμού ξήρανσης μπορεί να εμφανίσει ένα αρχικό τμήμα αυξανόμενου ρυθμού εάν το προϊόν εισέρθει στον ξηραντήρα σε χαμηλή θερμοκρασία. Όσο η υγρασία πλησιάζει προς την υγρασία ισορροπίας του προϊόντος ο ρυθμός ξήρανσης μειώνεται περισσότερο τείνοντας στην τιμή 0.



Σχήμα 4.7: Καμπύλες ξήρανσης (α) και ρυθμού ξήρανσης (β)

4.2.4.2 Περιγραφή της Ξήρανσης με το Δεύτερο Νόμο Διάχυσης του Fick

Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος προσέγγισης των φαινομένων μεταφοράς μάζας και θερμοκρασίας, βάση της μακροσκοπικής προσέγγισης της ξήρανσης, βασίζεται στον 2^ο νόμο διάχυσης του Fick, που περιγράφει τη διάχυση της υγρασίας προς την εξωτερική επιφάνεια του στερεού λόγω διαφοράς συγκέντρωσης. Η σχέση αυτή στην περίπτωση της γεωμετρίας πλάκας περιγράφεται από την εξής εξίσωση:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

όπου w είναι η υγρασία,

D είναι ο συντελεστής διάχυσης,

r είναι η χαρακτηριστική απόσταση της διάχυσης και

t είναι ο χρόνος.

Ο συντελεστής μοριακής διάχυσης στην εξίσωση 4.1 θεωρείται σταθερός. Στην πραγματικότητα ο συντελεστής διάχυσης συνήθως μειώνεται με μείωση της υγρασίας. Επίσης ο συντελεστής διάχυσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του στερεού και η μεταβολή του ακολουθεί την εξίσωση Arrhenius, στην οποία υπεισέρχεται η ενέργεια ενεργοποίησης για τη διάχυση.

Η μεταφορά υγρασίας με μηχανισμό ροής δια μέσου τριχοειδών είναι δύσκολο να διατυπωθεί με μορφή εξίσωσης στα τρόφιμα επειδή αποτελούνται από ένα πολύπλοκο σύστημα τριχοειδών πόρων διαφορετικών διαμέτρων. Επίσης είναι δύσκολο να διαφοροποιηθεί η ροή λόγω τριχοειδών φαινομένων από τη ροή λόγω διαφοράς συγκέντρωσης. Έτσι συνήθως χρησιμοποιείται ανεξάρτητα από το μηχανισμό μεταφοράς μάζας στο εσωτερικό του τροφίμου η εμπειρική εξίσωση:

$$-\frac{dw}{dt} = k \cdot \omega \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

όπου k η εμπειρική σταθερά ξήρανσης και

ω η αδιάστατη υγρασία

Η εξίσωση 4.2 υποδηλώνει ότι ο ρυθμός ξήρανσης μεταβάλλεται γραμμικά με την απομένουσα ελεύθερη υγρασία του τροφίμου. Αυτό στην πραγματικότητα συμβαίνει σε πολλά πορώδη τρόφιμα. Η ολοκλήρωση της (4.2) δίνει τον χρόνο της περιόδου μειωνόμενου ρυθμού ξήρανσης εάν η τιμή του K παραμένει σταθερή:

$$t = -\frac{\ln \omega}{k} \quad (\text{Εξίσωση 4.3})$$

4.2.5 Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης έχει ευρέως προταθεί (Torreggiani, 1993). Ο συνδυασμός αυτών των δύο τεχνολογιών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Οι Pointing et al. (1966) παρατήρησαν τη βελτίωση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων του τελικού τροφίμου, με την απομάκρυνση μερικών οξέων από το λαχανικό κατά της διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Το τελικό προϊόν που λαμβάνεται είναι μαλακότερο και γλυκύτερο από τα συνηθισμένα φρούτα και λαχανικά. Επιπλέον, η πρόσληψη σακχάρων αυξάνει την σταθερότητα των χρωστικών ουσιών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της επακόλουθης

περιόδου αποθήκευσης (Kim, 1990) περιορίζει ή απαλλάσσει από τη χρήση SO₂ (Pointing et al., 1966, Crivelli et al., 1989, Maltini et al., 1991) . Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η αύξηση της απόδοσης του ξηραντήρα (2-3 φορές) εξαιτίας της μείωσης του βάρους και του όγκου. (Mujumdar & Grabowski, 1991).

Μελέτες (Lenart & Grodecka, 1989, Lenart, 1991a,b,c, Rahamn & Lamb, 1991) έχουν εκτενώς αναλύσει την επίδραση των αλλαγών στη χημική σύνθεση, στη διανομή μέσα στο χώρο του ωσμωτικού περιεχομένου και στη δομή του αφυδατωμένου ιστού πάνω στις κινητικές της συμβατικής ξήρανσης.

Ανεξάρτητα από τον φυτικό ιστό, η ωσμωτική αφυδάτωση έχει ως αποτέλεσμα ελάττωση του ρυθμού της συμβατικής ξήρανσης (Lenart & Grodecka, 1989, Rahamn & Lamb, 1991, Souza et al., 2007). Σύμφωνα με τους Ribeiro et al (2016), η συμβατική ξήρανση ωσμωτικά επεξεργασμένων αχλαδιών, είχε ως αποτέλεσμα μείωση του χρόνου ξήρανσης κατά 42%.

Οι κινητικές της ξήρανσης των ωσμωτικά αφυδατωμένων φρούτων και λαχανικών καθορίζονται από τις αλλαγές στη χημική σύνθεση και στη δομή του ενυδατωμένου ιστού (Lenart & Grodecka, 1989). Σύμφωνα με τον Rahamn & Lamb (1991), ο δραστικός συντελεστής διάχυσης (effective diffusivity) της υγρασίας κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με αέρα του ανανά ελαττώθηκε με αύξηση των πρόσληψης στερεών κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να οφείλεται στο στρώμα των διαποτισμένων σακχάρων που σχηματίζεται στην επιφάνεια του φρούτου που μπορεί να προκαλέσει μια σημαντική μείωση του συντελεστή διάχυσης με μία ταυτόχρονη αύξηση της δύναμης κατακράτησης νερού (Quast και Neto, 1976). Η μετανάστευση του νερού σε ένα προϊόν μπορεί να περιγραφεί μέσω εμπειρικών μοντέλων (Da Silva et al., 2014), αλλά σύμφωνα με πολλές συγγραφείς, η οσμωτική αφυδάτωση και η ξήρανση μπορούν να θεωρηθούν ως φαινόμενα διάχυσης (Amami et al., 2006 , Garcia et al., 2007, Singh et al., 2008, Conceição Silva et al., 2010 και Da Silva et al., 2013a).

Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία προκαλεί μείωση του χρόνου της συμβατικής ξήρανσης μόνο για εξασφάλιση ενεργότητας νερού υψηλότερης από 0,6 για τα μήλα και 0,7 για τα καρότα (Lenart, 1991b). Στην περίπτωση των μήλων η μείωση του ρυθμού ξήρανσης συσχετίζεται κυρίως με μία επιφανειακή αντίσταση που προκαλείται από την παρουσία του διαλύματος

ζάχαρης, ενώ αυτό το αποτέλεσμα εντείνεται στα καρότα εξαιτίας μιας βαθύτερης διείσδυσης των σακχάρων. Το ζεμάτισμα των πρώτων υλών εντείνει το ρυθμό ξήρανσης εξαιτίας μιας περισσότερο ομοιόμορφης διανομής της συγκέντρωσης του σακχάρου εντός των ζεματισμένων δειγμάτων (Lenart, 1991b).

Τα φρούτα και λαχανικά που έχουν υποστεί ώσμωση και μετά ξήρανση είναι κατάλληλα για αποθήκευση σε ατμόσφαιρα μεγάλης περιεκτικότητας σε υγρασία χωρίς κανένα κίνδυνο συσσωμάτωσης και σχηματισμό συμπαγούς μάζας (Lenart, 1991b). Συγκεκριμένα από μια μελέτη σε σμέουρα διαπιστώθηκε ότι αν η αποθήκευση θα λάβει χώρα σε κατάλληλη συσκευασία, η φυσική κατάσταση των αφυδατωμένων σμέουρων δεν θα μεταβληθεί για μεγάλες περιόδους (Sette et al, 2016). Όπως και προηγουμένως αναφέρθηκε (Torreggiani, 1993), η εισαγωγή μιας ωσμωτικής προεπεξεργασίας μπορεί να είναι επίσης χρήσιμη για άλλες μεθόδους ξήρανσης όπως αφυδάτωση σε υψηλής θερμοκρασίας ρευστοποιημένη κλίνη (HTFB = High Temperature Fluidized Bed) και υπό κενό ξήρανση.

4.3 Κατάψυξη

Η συντήρηση με κατάψυξη στηρίζεται στη μείωση της ανάπτυξης και δράσης των μικροοργανισμών όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Παθογόνοι και μη παθογόνοι μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται πλήρως στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ πολλοί πεθαίνουν. Επίσης όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο βραδύτερα εξελίσσονται οι διάφορες ενζυμικές και χημικές δράσεις που συμβαίνουν στο τρόφιμο. Ορισμένες ενζυμικές δράσεις συνεχίζονται ακόμα και σε θερμοκρασία $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ γι' αυτό συνίσταται το ζεμάτισμα ορισμένων τροφίμων πριν την κατάψυξη. Επί πλέον της επίδρασης της μείωσης της θερμοκρασίας η κατάψυξη μέσω της κρυστάλλωσης του νερού στο τρόφιμο μειώνει το ποσό του υγρού διαθέσιμου νερού και έτσι επιβραδύνει και με αυτό τον τρόπο την ανάπτυξη μικροοργανισμών και την ενζυμική δραστηριότητα. Οι βασικές τεχνολογικές εξελίξεις στην κατάψυξη των τροφίμων έχουν συντελεσθεί τον τελευταίο αιώνα και πρόσφατα η μέθοδος αυτή βρίσκει όλο και ευρύτερη εφαρμογή. Για να παραχθεί κατεψυγμένο τρόφιμο άριστης ποιότητας επιλέγονται νωπά τρόφιμα αντίστοιχης ποιότητας τα οποία καταψύχονται στην επιθυμητή θερμοκρασία χρησιμοποιώντας διάφορα συστήματα

καταψύξεως και στη συνέχεια φυλάσσονται σε θαλάμους οι οποίοι πρέπει να διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία με τις μικρότερες δυνατές διακυμάνσεις. Για το σχεδιασμό ενός συστήματος κατάψυξης πρέπει κατ' αρχήν να εκτιμηθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις ή αλλιώς η μεταβολή ενθαλπίας του τροφίμου κατά την κατάψυξη. Αυτή η μεταβολή εξαρτάται από το ίδιο το τρόφιμο το οποίο καταψύχεται. Ο δεύτερος σημαντικός παράγοντας για ένα τέτοιο σύστημα είναι ο ρυθμός με τον οποίο προχωρεί η κατάψυξη του τροφίμου. Ο ρυθμός κατάψυξης σχετίζεται με τις ενεργειακές απαιτήσεις τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του τροφίμου και του μέσου κατάψυξης και τις ιδιότητες του τροφίμου. Ο ρυθμός κατάψυξης επηρεάζει τον τρόπο σχηματισμού του πάγου και επομένως τις ιδιότητες και την ποιότητα του προϊόντος. Επίσης ο ρυθμός κατάψυξης καθορίζει και το ρυθμό παραγωγής μιας μονάδας κατάψυξης, επομένως είναι επιθυμητός ο ταχύτερος ρυθμός κατάψυξης εφόσον δεν υποβαθμίζεται η ποιότητα του προϊόντος (Ταούκης Π. & Ωραιοπούλου Β., 2009).

4.3.1 Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της κατάψυξης

Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της κατάψυξης ονομάζεται ωσμοκατάψυξη (osmodehydrofreezing), τα δε προϊόντα που λαμβάνονται με τη συνδυασμένη αυτή τεχνική συντήρησης ωσμοκατεψυγμένα (osmodehydrofrozen) (Torreggiani, 1995).

Η ωσμοκατάψυξη στην οποία προηγείται μερική αφυδάτωση του τροφίμου της κυρίας διαδικασίας κατάψυξης, με εμβάπτιση του σε πυκνό διάλυμα σακχάρων ή/και αλάτων, στοχεύει την αντιμετώπιση προβλημάτων που αφορούν σε μη επιθυμητές μεταβολές που συμβαίνουν κατά την ίδια την κατάψυξη ευαίσθητων φυτικών προϊόντων όσο και κατά την επακόλουθη μεταφορά και αποθήκευσή τους (Robbers et al., 1997, Spiazzi et al., 1998).

Η μερική απομάκρυνση του νερού από το προϊόν πριν την κατάψυξη οδηγεί σε συμπύκνωση των ενδοκυτταρικών συστατικών, ελαττώνει το “μη δεσμευμένο” νερό και μειώνει το σημείο κατάψυξης με αποτέλεσμα να παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα (Huxsoll 1982, Lericci et al., 1985, 1988, Pinnavaia et al., 1988, Torreggiani 1995, Torreggiani & Bertolo, 2001), όπως μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις για την κατάψυξη του προϊόντος, επίτευξη υψηλότερων ρυθμών

κατάψυξης με ταυτόχρονη ενίσχυση της μικροκρυστάλλωσης, επίτευξη ελάττωσης όγκου και βάρους κατεψυγμένων τροφίμων (ειδικά για αυτά που έχουν υψηλή υγρασία λόγω αφυδάτωσης), μικρότερο κόστος συσκευασίας και διανομής, μικρότερες απώλειες υγρών (drip loss) κατά την απόψυξη (Ramalo et al., 2010 και Xin et al., 2015), και ρύθμιση της συνεκτικότητας του τροφίμου με επιλογή κατάλληλων ωσμωτικών μέσων (Dermesonliouoglou et al., 2005).

Επιπλέον ο χρόνος κατάψυξης των τροφίμων μειώνεται σημαντικά αν έχει προηγηθεί ωσμωτική αφυδάτωση, λόγω της μείωσης του περιεχόμενου νερού (Ramalo et al., 2010).

Σύμφωνα με τους Dermesonliouoglou et al. (2016), η ωσμωτική αφυδάτωση πριν από την κατάψυξη σε φράουλες, μειώνει την υποβάθμιση της ποιότητας των κατεψυγμένων φρούτων. Ο εμπλουτισμός των φρούτων με τα συστατικά του ωσμωτικού διαλύματος και η μερική αφαίρεση του νερού βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των ωσμωμένων δειγμάτων φράουλας.

Για την ωσμωτική προκατεργασία τοματών, διαπιστώθηκε ότι κατεψυγμένες ντομάτες έχουν βελτιωμένη σταθερότητα ποιότητας κατά τη διάρκεια της μετέπειτα κατάψυξης (Dermesonliouoglou et al., 2006).

Συνοψίζοντας, η τομάτα και το αγγούρι αποτελούν από τις σπουδαιότερες καλλιέργειες στον κόσμο από άποψη οικονομικής σημασίας, έκτασης καλλιέργειας και διατροφικής αξίας. Όμως όσον αφορά τη τομάτα, η βιομηχανική επεξεργασία της μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική ποιοτική υποβάθμιση (θέρμανση) και σε μεγάλους χρόνους επεξεργασίας (αφυδάτωση). Αυτό, σε συνδυασμό με τη μη ύπαρξη προϊόντων αγγουριού οδηγούν στην ανάγκη να συνδυαστούν διαφορετικές τεχνολογίες με σκοπό τελικά προϊόντα υψηλής ποιότητας.

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η εκτενής μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της ξήρανσης, όπως έχει προταθεί στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, για την παραλαβή καινοτόμων αφυδατωμένων προϊόντων.

5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Εισαγωγή

Τα πειράματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν σε δύο **Θεματικές Ενότητες**.

Κατά την **Πρώτη Θεματική Ενότητα** μελετήθηκαν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε δείγματα τομάτας και αγγουριού από και προς το ωσμωτικό διάλυμα, καθώς και η επίδραση που έχει η ωσμωτική προκατεργασία στην ενεργότητα του νερού (a_w) των δειγμάτων, για διαφορετικές συνθήκες κατά την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου, θερμοκρασία, χρόνος προκατεργασίας και αναλογία ωσμωτικού μέσου προς τρόφιμο). Κύριος στόχος των πειραμάτων ήταν η επιλογή των βέλτιστων συνθηκών προκατεργασίας με ωσμωτική αφυδάτωση.

Κατά την **Δεύτερη Θεματική Ενότητα**, σκοπός της πραγματοποίησης των πειραμάτων ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της ξήρανσης στις βέλτιστες συνθήκες προκατεργασίας που προηγήθηκαν με την ωσμωτική αφυδάτωση (διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης των δειγμάτων). Στόχος και της συγκεκριμένης ενότητας ήταν η επιλογή των βέλτιστων συνθηκών επεξεργασίας με ξήρανση έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του χρόνου ξήρανσης των ωσμωτικά προκατεργασμένων δειγμάτων, σε όσο το δυνατόν ηπιότερες συνθήκες επεξεργασίας (εξοικονόμηση ενέργειας).

5.2 Πειραματικός σχεδιασμός κατά την Πρώτη Θεματική Ενότητα : Ωσμωτική επεξεργασία δειγμάτων τομάτας και αγγουριού.

5.2.1 Ωσμωτική προκατεργασία τομάτας και αγγουριού

Για όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν ντοματίνια *Lucia*, τα οποία και παρελήφθησαν από κατάστημα σούπερ-μάρκετ.

Τα δείγματα τα οποία προέκυψαν μετά τον τεμαχισμό των ντοματινίων είχαν διαστάσεις $2 \times 1,5 \times 0,4 \text{ cm}^3$ και βάρος $4 \pm 0,5 \text{ g}$.

Ομοίως, τα αγγούρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ποικιλίας *Hana* και τα δείγματα που προέκυψαν μετά τον τεμαχισμό είχαν διαστάσεις $4 \times 4 \times 0,4 \text{ cm}^3$ και βάρος $7 \pm 0,5 \text{ g}$.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ωσμωτική επεξεργασία των δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά ωσμωτικά διαλύματα, σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C σε χρόνους προκατεργασίας 15, 30, 45, 60, 90 και 120min και δύο διαφορετικές αναλογίες τροφίμου προς ωσμωτικού διαλύματος 1:3 και 1:5 (w/w). Η σύσταση των ωσμωτικών διαλυμάτων παρουσιάζεται στον πίνακα (5.1):

Πίνακας 5.1 Σύσταση ωσμωτικών διαλυμάτων

Διάλυμα 1	Διάλυμα 2	Διάλυμα 3
50% Γλυκερόλη	55% Γλυκερόλη	60% Γλυκερόλη
15% Ξύδι	15% Ξύδι	15% Ξύδι
13,3% H_2O	10% Μαλτροδεξτρίνη	10% Μαλτροδεξτρίνη
10% Μαλτροδεξτρίνη	8,3% H_2O	5% τρεχαλόζη
5% τρεχαλόζη	5% NaCl	5% NaCl
5% NaCl	5% τρεχαλόζη	3,3% H_2O
1,5% CaCl	1,5% CaCl	1,5% CaCl
0,2 % Citrox	0,2 % Citrox	0,2 % Citrox

Η γλυκερόλη (Glykerin EP 212, Oleogen SRL, U.S) χρησιμοποιήθηκε για τη μείωση της ενεργότητας του νερού μιας και είναι μία από τις πιο σημαντικές υγροσκοπικές ουσίες. Επίσης χρησιμοποιήθηκε για τη βελτίωση της υφής της τομάτας και του αγγουριού και ως μικροβιολογικό χαρακτηριστικό και σαν γλυκαντικό.

Η μαλτοδεξτρίνη (GLUCIDEX®47, Roquette, France) επιλέχθηκε καθώς παρουσιάζει αμελητέα γλυκύτητα και σχετικά μικρό μοριακό βάρος (περίπου 300) σε σχέση με άλλους υδατάνθρακες που χρησιμοποιούνται, οδηγώντας σε αποτελεσματική αφυδάτωση με ικανοποιητική απώλεια νερού/πρόσληψη στερεών.

Η τρεχαλόζη (Trehalose 16400, Cargill, U.S) επιλέχθηκε καθώς παρουσιάζει μικρό μοριακό βάρος ($MW=342,296\text{g/mol}$), μικρή επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος και θετική επίδραση στις επιθυμητές διατροφικές ιδιότητες του προϊόντος. Επίσης η γλυκύτητα της τρεχαλόζης ισοδυναμεί με το 45% ενός διαλύματος ζάχαρης 10% κ.β.

Το CitroX(14WPlus, ProGarda, Greece), είναι ένα φυσικό προϊόν που αποτελείται από συστατικά φυτικής προέλευσης (εκχύλισμα εσπεριδοειδών σε συνδυασμό με κιτρικό οξύ και πολυφαινόλες) και χρησιμοποιήθηκε ως αντιμικροβιακό για να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των τροφίμων (Τσιράκη et al., 2016).

Η χρήση άλατος NaCl στο ωσμωτικό διάλυμα είχε ως σκοπό τη αύξηση της απόδοσης της ωσμωτικής διεργασίας και την βελτίωση της οργανοληπτικής αποδοχής του τελικού ωσμωτικά προκατεργασμένου προϊόντος, εξισορροπώντας την γλυκύτητα των υδατανθράκων.

Το χλωριούχο ασβέστιο βελτιώνει την υφή των προϊόντων και προσθέτει μία ευχάριστη γεύση.

Τέλος το ξύδι προσφέρει και αυτό μια ευχάριστη γεύση και κατεβάζει το pH του ωσμωτικού διαλύματος.

5.2.2 Μέτρηση παραμέτρων ώσμωσης κατά την ωσμωτική προκατεργασία

5.2.2.1 Προσδιορισμός απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της ωσμωτικής προκατεργασίας στα δείγματα τομάτα; και το αγγουριού, ήταν απαραίτητος ο υπολογισμός των παρακάτω δεικτών, όπως προαναφέρθηκε.

- **Ο δείκτης WL** (εκφρασμένος σε g νερού/100 g αρχικού ξηρού βάρους), που αντιστοιχεί στο ποσό του νερού που διαχεέται από το τρόφιμο στο διάλυμα και εξαρτάται από την βαθμίδα της ωσμωτικής πίεσης.
- **Ο δείκτης SG** (εκφρασμένος σε g ολικών στερεών/100 g αρχικού ξηρού βάρους), που αντιστοιχεί στα στερεά συστατικά που προσέλαβαν τα δείγματα από το ωσμωτικό διάλυμα.

Για τον υπολογισμό των παραπάνω δεικτών ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Τα δείγματα ζυγίστηκαν πριν την είσοδο τους στο ωσμωτικό διάλυμα. Μετά τη παραμονή τους για διαφορετικούς χρόνους σε αυτό αφέθηκαν να στραγγίξουν και έπειτα να ξαναζυγιστούν. Κατόπιν τοποθετήθηκαν σε κλίβανο (WTB BINDER 7200, Type E53, Tuttlingen, Germany) στους 110°C για περίπου 24 ώρες, ώστε να προσδιοριστεί τα ξηρό τους βάρος.

Ο υπολογισμός των δεικτών πραγματοποιήθηκε με βάσει τις παρακάτω σχέσεις :

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \quad (\text{Εξίσωση 5.1})$$

$$SG = \frac{(m - m_0)}{m_0} \quad (\text{Εξίσωση 5.2})$$

όπου

M_0 είναι η αρχική μάζα του φρέσκου τροφίμου,

M είναι η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας,

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

m_0 είναι η ξηρή μάζα του φρέσκου προϊόντος.

5.2.2.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού

Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας νερού a_w , των δειγμάτων τομάτας και αγγουριού χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω συσκευή (Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA).

Η αρχή λειτουργίας του μετρητή ενεργότητας βασίζεται στο σημείο δρόσου. Μια μικρή ποσότητα δείγματος τοποθετείται στο μετρητή ενεργότητας, έως ότου επιτευχθεί ισορροπία ατμών.

Για μη-πτητικά δείγματα, μια υπέρυθρη δέσμη εστιάζει σε ένα μικροσκοπικό καθρέφτη και καθορίζει την ακριβή θερμοκρασία του σημείου δρόσου του δείγματος.

Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου στη συνέχεια, μεταφράζεται σε ενεργότητα του νερού.



Εικόνα 5.1: Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA.

5.2.3 Υπολογισμός παραμέτρων της ωσμωτικής προκατεργασίας

Για τη μαθηματική περιγραφή των ωσμωτικής προκατεργασίας και την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των βασικών παραμέτρων, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ωσμωτική προκατεργασία αγγουριού και τομάτας σε διαλύματα 50%, 55%, 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35,45 και 55°C για χρόνο 15-120 λεπτά προσαρμόστηκαν στο 2^ο Νόμο του Fick που περιγράφει τη διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση (Εξίσωση 5.3).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (\text{Εξίσωση 5.3})$$

όπου

C είναι η συγκέντρωση,

D_e είναι ο συντελεστής διάχυσης,

x είναι η χαρακτηριστική απόσταση της διάχυσης και

t είναι ο χρόνος.

Η λύση της παραπάνω γενικευμένης εξίσωσης εξαρτάται από τη γεωμετρία του τροφίμου. Για άπειρη πλάκα (infinite flat plate) που υποβάλλεται σε ωσμωτική αφυδάτωση από τις δύο κύριες πλευρές και υποθέτοντας ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή αρχικής υγρασίας, αμελητέα εξωτερική αντίσταση σε μεταφορά μάζας, και μη συρρίκνωση κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, και λαμβάνοντας υπόψη τις αρχικές οριακές συνθήκες:

$$\text{για } t=0 \quad C=C_0, \quad -1 < x < +1$$

$$\text{για } t>0 \quad C=C_1, \quad x=1$$

όπου C η συγκέντρωση η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί ως εξής (Crank, 1975):

$$M = \frac{(W_t - W_\infty)}{(W_0 - W_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 F_{ow} \right] \quad (\text{Εξίσωση 5.4})$$

και

$$S = \frac{(S_t - S_\infty)}{(S_0 - S_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 F_{os} \right] \quad (\text{Εξίσωση 5.5})$$

όπου W και S είναι η περιεχόμενη υγρασία και τα περιεχόμενα στερεά συστατικά, αντίστοιχα, οι δείκτες 0 , t και ∞ αντιπροσωπεύουν τις συγκεντρώσεις αρχικά, για τυχαία χρονική στιγμή και κατά την ισορροπία, αντίστοιχα, F_{ow} και F_{os} είναι οι αριθμοί Fourier για τη διάχυση υγρασίας και στερεών, αντίστοιχα, που δίνονται από τις εξής εξισώσεις:

$$F_{ow} = \frac{D_{ew}}{l^2} t \quad (\text{Εξίσωση 5.6})$$

και

$$F_{os} = \frac{D_{es}}{l^2} t \quad (\text{Εξίσωση 5.7})$$

όπου, D_{ew} και D_{es} είναι οι δραστικοί συντελεστές διάχυσης για την υγρασία και τα στερεά, αντίστοιχα, t είναι ο χρόνος εμβάπτισης του τροφίμου στο ωσμωτικό διάλυμα, l είναι το πάχος του τροφίμου κατά το ήμισυ. Οι τιμές των F_{ow} και F_{os} υπολογίζονται ως συνάρτηση των τιμών M και S και παριστάνονται γραφικά ως προς τις αντίστοιχες

τιμές t , λαμβάνοντας υπόψη τον πρώτο όρο της σειράς. Από την κλίση των ευθειών που λαμβάνονται υπολογίζονται οι συντελεστές D_{ew} και D_{es} .

Στην παρούσα μελέτη, οι διαστάσεις των προς επεξεργασία δειγμάτων, επέτρεψαν τη χρήση των παραπάνω εξισώσεων και τους ισχυρισμούς περί άπειρης πλάκας, καθώς η διάχυση από τις πλευρικές περιοχές των τεμαχίων είναι ιδιαίτερα περιορισμένη και μπορεί να αγνοηθεί.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε και η κινητική Arrhenius για την περιγραφή του ρυθμού ώσμωσης με τη θερμοκρασία.

Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση στο ρυθμό των δράσεων. Η επίδραση αυτή εξηγείται από την σχέση Arrhenius, η οποία είναι η πιο διαδεδομένη σχέση που περιγράφει την επίδραση της θερμοκρασίας στον ρυθμό της αντίδρασης:

$$k = k_A \cdot \exp\left(\frac{-E_A}{R \cdot T}\right) \quad (\text{Εξίσωση 5.8})$$

$$\ln k = \ln k_A - \frac{E_A}{R} \cdot \left(\frac{1}{T}\right) \quad (\text{Εξίσωση 5.9})$$

όπου k η σταθερά του ρυθμού της αντίδρασης

k_A ο συντελεστής ή σταθερά Arrhenius

E_A η ενέργεια ενεργοποίησης (cal/mol)

R η παγκόσμια σταθερά των αερίων (1,9872cal/mol)

T η απόλυτη θερμοκρασία

Για να προσδιορίσουμε τις παραμέτρους Arrhenius μπορούμε από την εξίσωση (5.9), γνωρίζοντας τις τιμές του k σε διαφορετικές θερμοκρασίες, με απεικόνιση του $\ln k$ ως προς $1/T$ να πάρουμε ευθεία με κλίση $-E_A/R$.

Έτσι, μελετώντας κανείς μια διαδικασία υποβάθμισης της ποιότητας με τη μέτρηση του ρυθμού απώλειας σε δύο-τρεις θερμοκρασίες πάνω από τη θερμοκρασία αποθήκευσης, μπορεί με προεκβολή σε ένα διάγραμμα Arrhenius να προβλέψει τον ρυθμό σε οποιαδήποτε θερμοκρασία αποθήκευσης (Ταούκης Π. και Ωραιπούλου Β. , 2009).

Η εξίσωση (5.8) μπορεί να μετασχηματιστεί, εισάγοντας την παράμετρο της θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} .

$$k = k_{ref} \exp \left[-\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (\text{Εξίσωση 5.10})$$

όπου k_{ref} είναι ο ρυθμός ανάπτυξης στη θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} .

Η εξίσωση (5.10) υπερτερεί στο γεγονός ότι δίνεται φυσική σημασία στις σταθερές της εξίσωσης (E_A και k_{ref}), ενώ η θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} καθορίζει την περιοχή θερμοκρασιών στην οποία μπορεί να εφαρμοστεί η παραπάνω εξίσωση.

5.3 Πειραματικός σχεδιασμός κατά την Δεύτερη Θεματική Ενότητα : Ξήρανση ωσμωτικά προκατεργασμένων αγγουριών και ντοματών

5.3.1 Ωσμωτική προκατεργασία τομάτας και αγγουριού πριν τη ξήρανση

Για όλα τα πειράματα της ξήρανσης χρησιμοποιήθηκαν ντοματίνια και αγγούρια τα οποία είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση για **60 min**, σε ωσμωτικό διάλυμα με **60% γλυκερόλη** και **αναλογία τροφίμου-ωσμωτικού διαλύματος 1:3**.

Αυτή η επιλογή έγινε διότι κύριος στόχος μας ήταν η διατήρηση της ποιότητας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε όσο το δυνατόν ηπιότερες συνθήκες επεξεργασίας.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ξήρανση των δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκαν ωσμωτικά προκατεργασμένα αγγούρια και ντομάτες, τα οποία ξηράνθηκαν σε 3 διαφορετικές θερμοκρασίες 40°C, 55 °C και 70°C. Επιπλέον ξηράνθηκαν και φρέσκα αγγούρια και ντομάτες, δηλαδή ανεπεξέργαστα, για να μπορεί να γίνει η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

5.3.2 Μέτρηση παραμέτρων ξήρανσης κατά την ξήρανση

Για το πείραμα της ξήρανσης για ανεπεξέργαστα, και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας και αγγουριού χρησιμοποιήθηκε ένας ξηραντήρας Biosec, ο οποίος περιείχε 6 θέσεις για ράφια στο εσωτερικό του (Εικόνα 5.1). Όλα τα ωσμωμένα

δείγματα τοποθετούνταν στα ράφια του ξηραντήρα, τα οποία προζυγίζονταν και στη συνέχεια ζυγίζονταν ανά 10 λεπτά κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Χρησιμοποιήθηκαν 3 ράφια στο εσωτερικό του ξηραντήρα και μετρήθηκε ο μέσος όρος για τους υπολογισμούς, για μεγαλύτερη ακρίβεια αφού ο ρυθμός ξήρανσης στο καθένα είχε κάποιες μικρές αποκλίσεις. Το αρχικό μικτό βάρος του κάθε ραφιού ήταν διαφορετικό για κάθε προϊόν, λόγω διαθεσιμότητας αλλά και καλύτερης αξιοποίησής του. Οι θερμοκρασίες στις οποίες πραγματοποιήθηκε το κινητικό ξήρανσης ήταν 40°C, 55°C και 70°C.

Η κάθε ξήρανση πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για την τομάτα και το αγγούρι.



Εικόνα 5.1. Ξηραντήρας Biosec

5.3.3 Υπολογισμός παραμέτρων κατά την ξήρανση

Για τους υπολογισμούς προσαρμόστηκαν δύο μαθηματικά μοντέλα: ο 2^{ος} νόμος του Fick και το εκθετικό μοντέλο 1^{ης} τάξης. Ο 2^{ος} νόμος του Fick περιγράφεται από τον τύπο:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D t}{4L^2}\right] \quad (\text{Εξίσωση 5.11})$$

Όπου MR είναι η κλασματική αναλογία υγρασίας,

M_0 είναι η αρχική υγρασία,

M είναι η μέση υγρασία στο χρόνο t,

M_e είναι η υγρασία σε ισορροπία και

L είναι το ήμισυ του πάχους της φέτας για την ξήρανση

Το εκθετικό μοντέλο πρώτης τάξης δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = e^{-kt} \quad (\text{Εξίσωση 5.12})$$

όπου ω είναι η αδιάστατη υγρασία στο χρόνο t και

k η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης.

Για την περιγραφή του ρυθμού ξήρανσης από την θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκε ο νόμος του Arrhenius που εκφράζει την εξάρτηση θερμοκρασίας από τον συντελεστή διάχυσης:

$$D_{eff} = D_{\infty} e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (\text{Εξίσωση 5.13})$$

Όπου D_{∞} είναι μια σταθερά ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία,

E_a η ενέργεια ενεργοποίησης,

R η σταθερά των αερίων και

T η θερμοκρασία σε βαθμούς K.

Η εξίσωση (5.13) μπορεί να μετασχηματιστεί, εισάγοντας την παράμετρο της θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} .

$$D_{eff} = D_{eff_{ref}} \exp\left[-\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (\text{Εξίσωση 5.14})$$

όπου $D_{eff_{ref}}$ είναι η σταθερά του συντελεστή διάχυσης στη θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} .

5.3.4 Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής h

Για τον υπολογισμό του συντελεστή συναγωγής h, ένα θερμοστοιχείο τοποθετήθηκε στο κέντρο πλάκας αλουμινίου. Αρχικά η πλάκα αλουμινίου βρισκόταν στο θάλαμο ψύξης και στη συνέχεια τοποθετήθηκε στον ξηραντήρα και καταγράφηκε η θερμοκρασία της με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού (PC208W Datalogger, Campbell Scientific, UK).



Εικόνα 5.2. Εισαγωγή πλάκας με θερμοστοιχείο στον ξηραντήρα

Ο υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής βασίζεται στη θεώρηση ότι πραγματοποιείται θέρμανση με τρόπο ώστε η αντίσταση από την επιφάνεια να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την εσωτερική αντίσταση (ομοιόμορφη θερμοκρασία στο αντικείμενο). Το ισοζύγιο ενέργειας που θα ισχύει τότε (θέρμανση σε μη μόνιμη κατάσταση) θα είναι:

$$c_p \cdot \rho \cdot V \cdot dT = h \cdot A_s \cdot (T - T_M) \cdot dt \quad (\text{Εξίσωση 5.15})$$

Η παραπάνω εξίσωση μετασχηματίζεται στην ακόλουθη μορφή:

$$\frac{T - T_M}{T_0 - T_M} = \exp\left(-\frac{hA_s}{c_p m} t\right) \quad (\text{Εξίσωση 5.16})$$

Όπου h ο συντελεστής συναγωγής ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

T η θερμοκρασία της πλάκας στο χρόνο t (K)

T_M η θερμοκρασία του ξηραντήρα (K)

T_0 η αρχική θερμοκρασία της πλάκας (K)

t ο χρόνος θέρμανσης της πλάκας (s)

ρ η πυκνότητα της πλάκας αλουμινίου (kg/m^3)

V ο όγκος της πλάκας αλουμινίου (m^3)

A_s η επιφάνεια της πλάκας αλουμινίου ίση με $0,044 \text{ m}^2$

c_p η ειδική θερμότητα του υλικού ίση με $897 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K}$

m η μάζα της πλάκας αλουμινίου ίση με $0,795 \text{ kg}$

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Πρώτη Θεματική Ενότητα : Ωσμωτική επεξεργασία δειγμάτων τομάτας και αγγουριού.

6.1.1 Σκοπός

Στην Πρώτη Θεματική ενότητα των πειραμάτων, έγινε ωσμωτική προκατεργασία σε δείγματα τομάτας και αγγουριού, με σκοπό τον εντοπισμό των βέλτιστων συνθηκών θερμοκρασίας, χρόνου προκατεργασίας συγκέντρωσης και αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος ως προς το τρόφιμο.

6.1.2 Τομάτα: Επίδραση θερμοκρασίας, χρόνου, συγκέντρωσης και αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος

Έγινε ωσμωτική προκατεργασία σε ωσμωτικό διάλυμα 50, 55 και 60% γλυκερόλης, οι θερμοκρασίες στις οποίες έγινε το πείραμα ήταν 35, 45 και 55°C για 15, 30, 45, 60, 90 και 120min σε αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο 1:3 και 1:5.

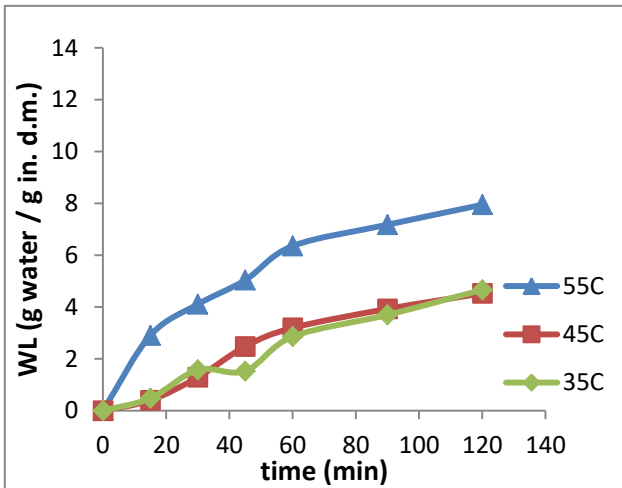
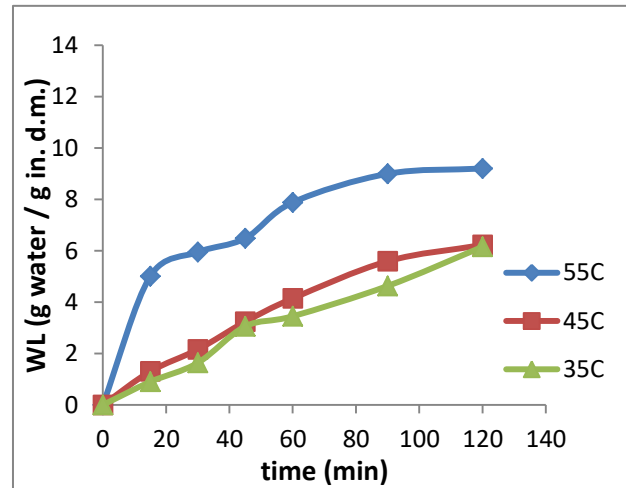
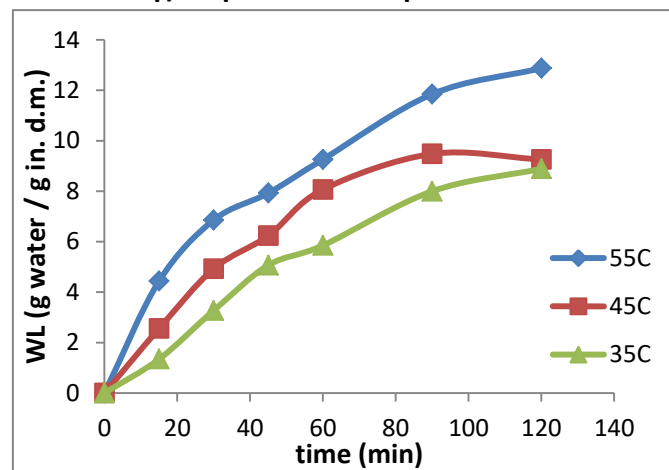
Τα δείγματα ζυγίστηκαν πριν και μετά την ωσμωτική προκατεργασία και υπολογίστηκαν οι παράμετροι απώλειας νερού (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) του ωσμωτικά προκατεργασμένου τροφίμου. Επίσης μετρήθηκε η ενεργότητα (a_w) του νερού των δειγμάτων. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατίθενται οι παραπάνω παράμετροι σε συνάρτηση με το χρόνο προκατεργασίας για ωσμωτικά διαλύματα με 50, 55 και 60% γλυκερόλη σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C και αναλογίες τροφίμου προς ωσμωτικό τρόφιμο 1:3 και 1:5.

6.1.2.1 Υπολογισμός απώλειας νερού- πρόσληψης στερεών

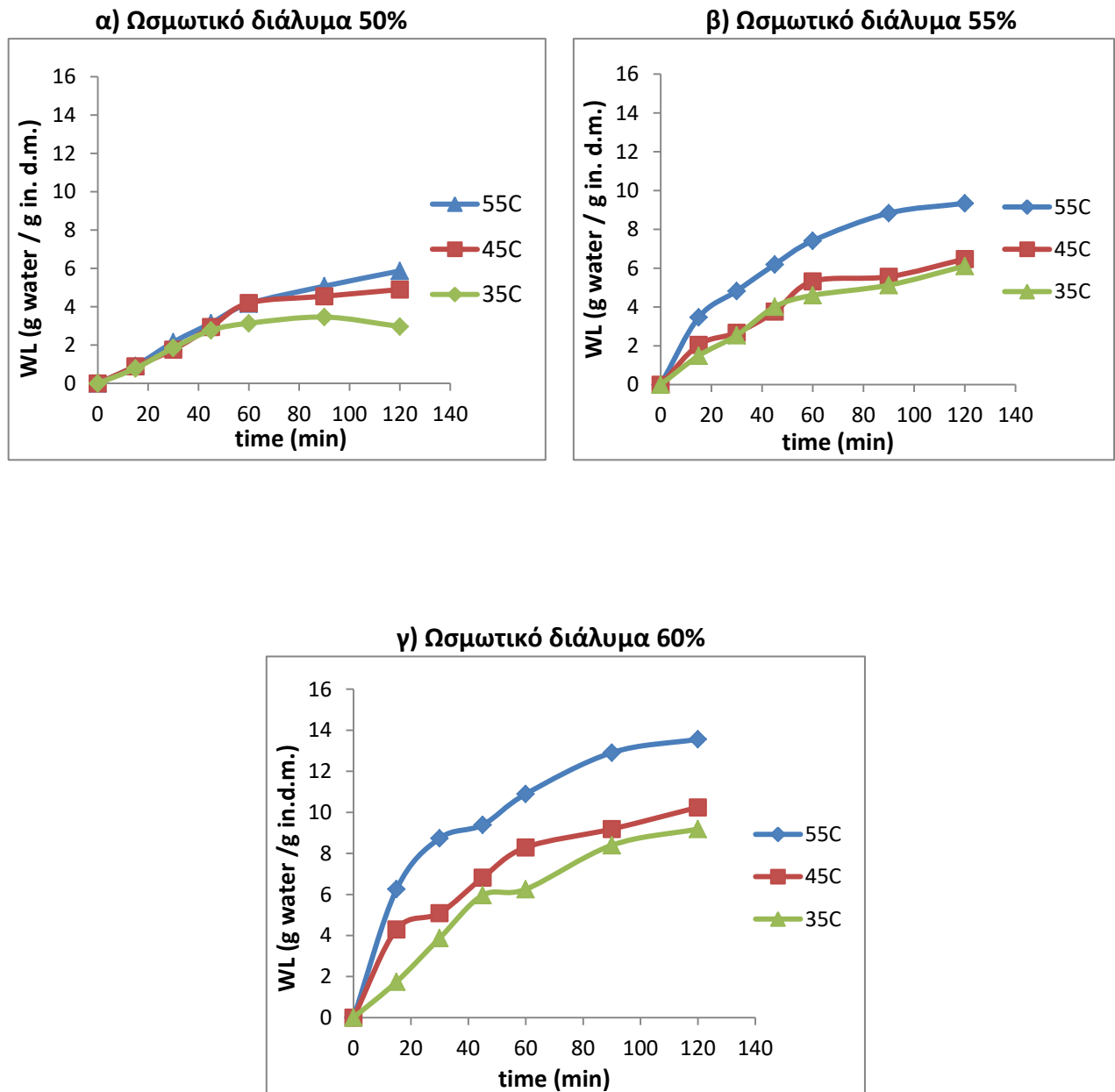
Η ωσμωτική αφυδάτωση προκάλεσε σημαντική απώλεια υγρασίας στα δείγματα της τομάτας. Η αρχική υγρασία των δειγμάτων ήταν κατά μέσο όρο 10,67g H₂O /g αρχικού ξηρού βάρους. Η απώλεια υγρασίας υπολογίστηκε με την εξίσωση (5.1).

Απώλεια νερού

Η απώλεια νερού της τομάτα κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής προεπεξεργασίας με τη χρήση τριών διαφορετικών ωσμωτικών διαλυμάτων στους 35, 45 και 55 °C και με αναλογία 1:3 και 1:5 (w/w) παρουσιάζονται στα σχήματα (6.1) – (6.4).

α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%**β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%****γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%**

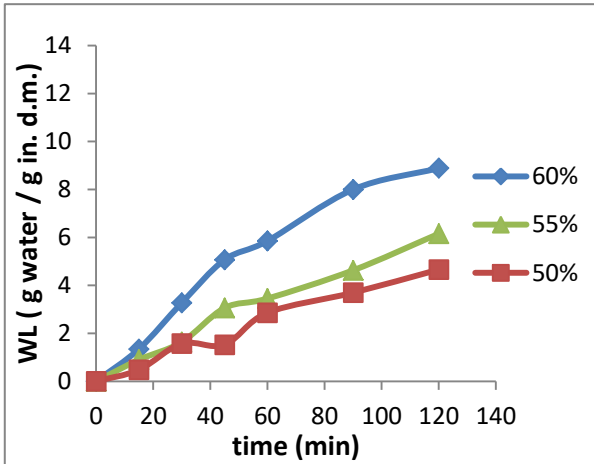
Σχήμα 6.1 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C με **αναλογία 1:3** τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.



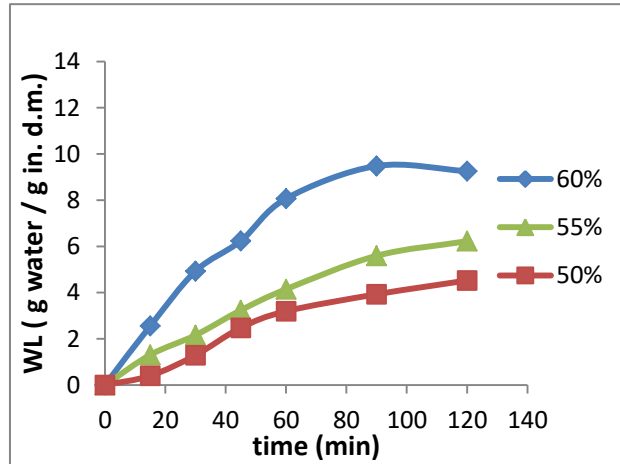
Σχήμα 6.2 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C με **αναλογία 1:5** τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

Παρατηρείται στα σχήματα (6.1) και (6.2) ότι και στις τρεις συγκεντρώσεις η απώλεια νερού στους 55°C είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τους 35°C και τους 45°C. Επιπλέον, στους 35°C και στους 45°C για τις συγκεντρώσεις 50% και 55%, η απώλεια νερού δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά.

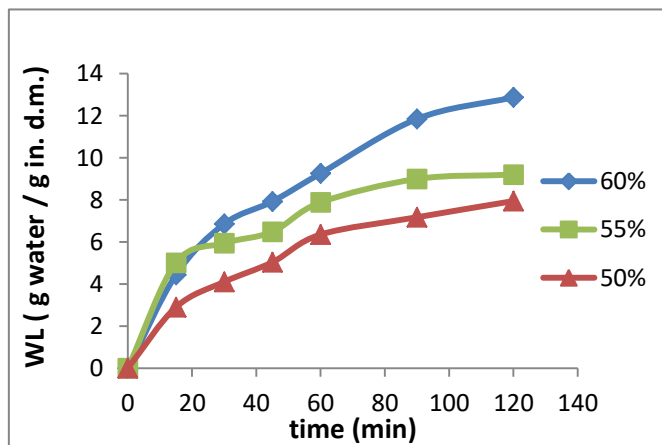
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C

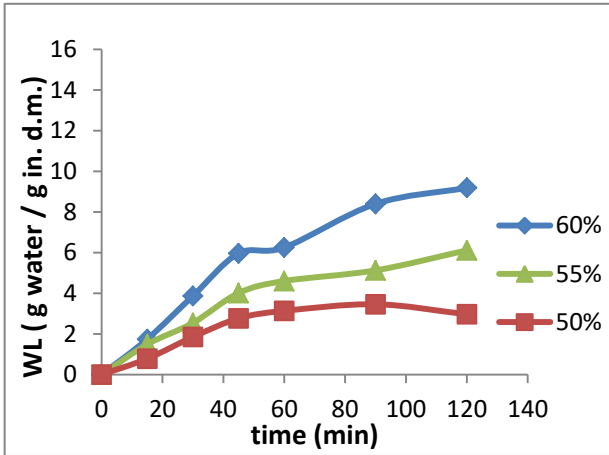


γ) Θερμοκρασία 55°C

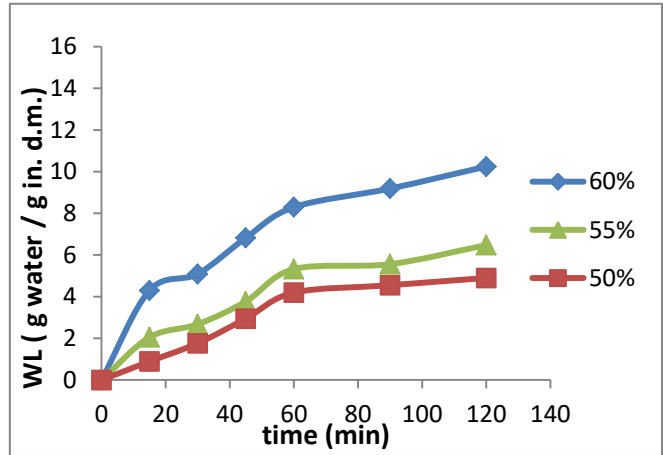


Σχήμα 6.3 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:3 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

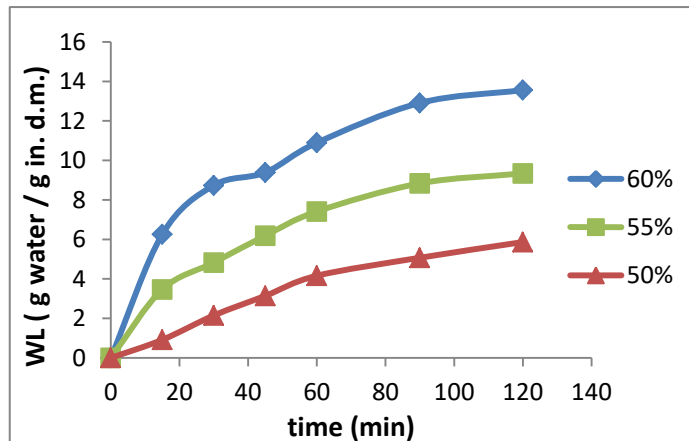
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C



γ) Θερμοκρασία 55°C



Σχήμα 6.4 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50,55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

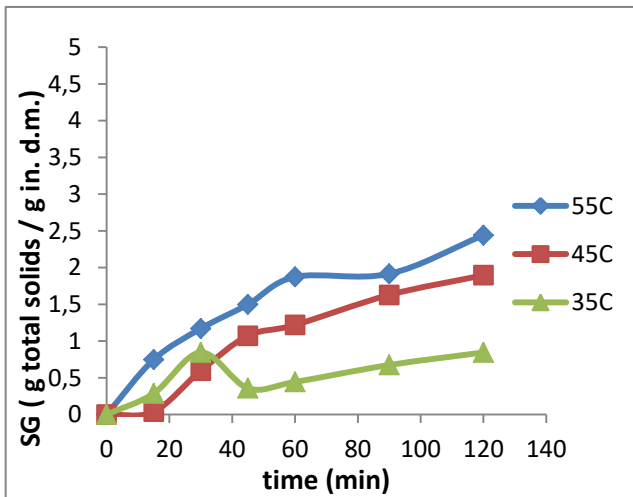
Κατά τη διάρκεια των πρώτων 60 λεπτών της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι φανερό ότι η απώλεια νερού των δειγμάτων τομάτας είναι ταχύτερη και εντονότερη, για όλες τις συγκεντρώσεις και αναλογίες του ωσμωτικού διαλύματος. Επίσης από τα διαγράμματα προκύπτει ότι το φαινόμενο της ώσμωσης αρχίζει να πλησιάζει την

κατάσταση ισορροπίας μετά από 60 λεπτά, καθώς ο ρυθμός απώλειας νερού αρχίζει να σταθεροποιείται. Επιπλέον, όπως είναι αναμενόμενο η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη καθώς και η θερμοκρασία επηρεάζει την απώλεια νερού, καθώς στο διάλυμα 60% γλυκερόλης η απώλεια νερού είναι εντονότερη από τα ωσμωτικά διαλύματα 55% και 50% γλυκερόλης, όπως και στους 55°C, η απώλεια νερού είναι πάλι εντονότερη σε σχέση με τους 35°C και 45°C. Τέλος παρατηρείται ότι σημαντικό ρόλο παίζει και η αναλογία του ωσμωτικού μέσου προς την τομάτα, καθώς στην αναλογία 1:5 (w/w) παρουσιάζεται εντονότερη απώλεια νερού.

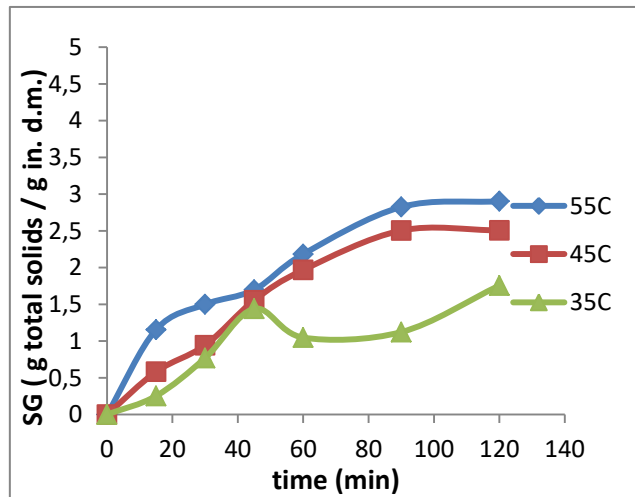
Πρόσληψη στερεών

Η πρόσληψη στερεών στα δείγματα τομάτας σύμφωνα με την εξίσωση (5.2) κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής προκατεργασίας με τη χρήση τριών διαφορετικών ωσμωτικών διαλυμάτων στους 35, 45 και 55 °C και με αναλογία 1:3 και 1:5 (w/w) παρουσιάζονται στα σχήματα (6.5) – (6.8). Οι ρυθμοί πρόσληψης στερεών παρουσίασαν μικρότερη αύξηση από ότι οι ρυθμοί απώλειας νερού.

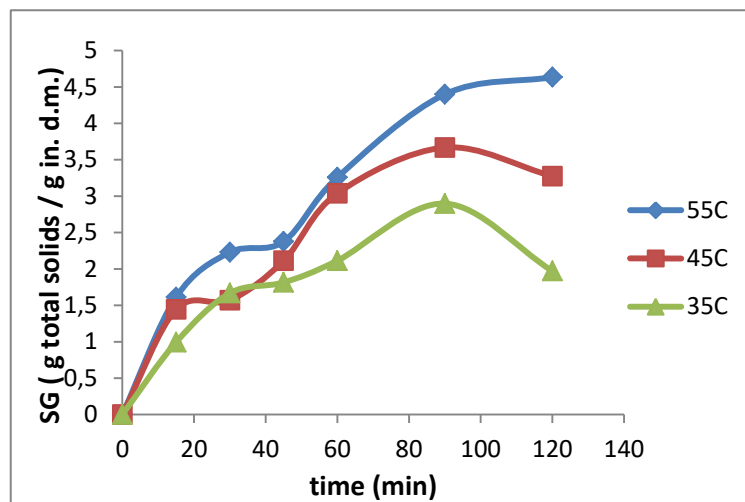
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%

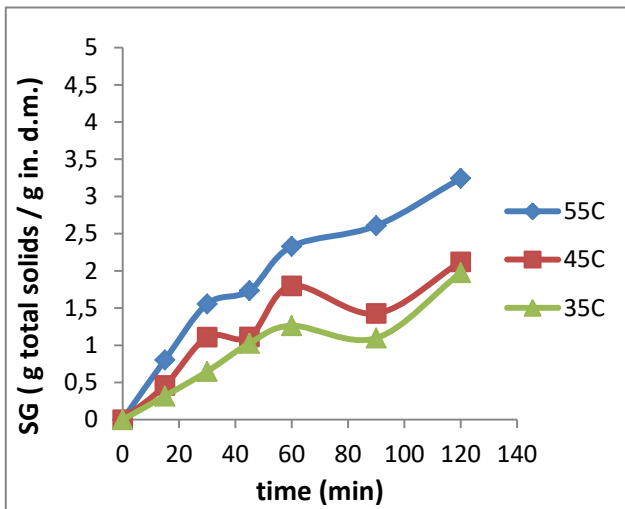


γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%

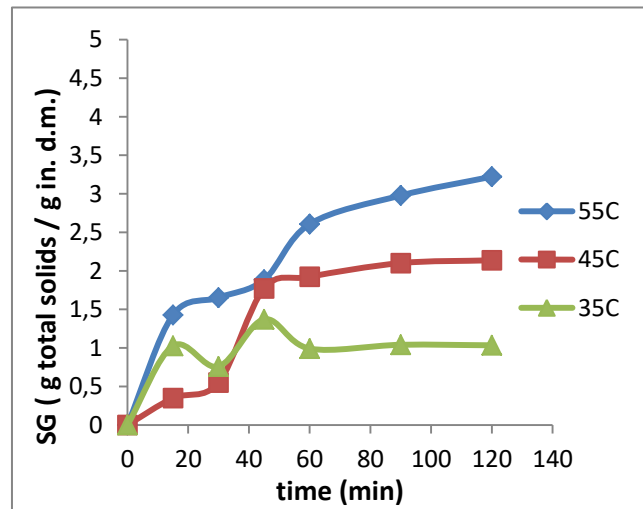


Σχήμα 6.5 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) της τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C σε αναλογία 1:3 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

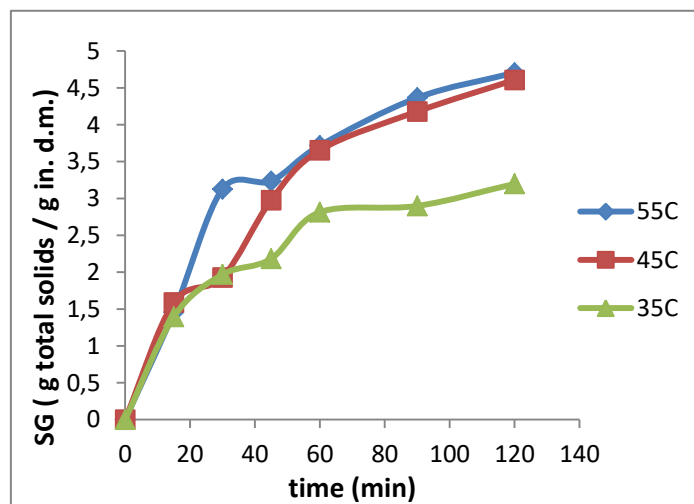
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%



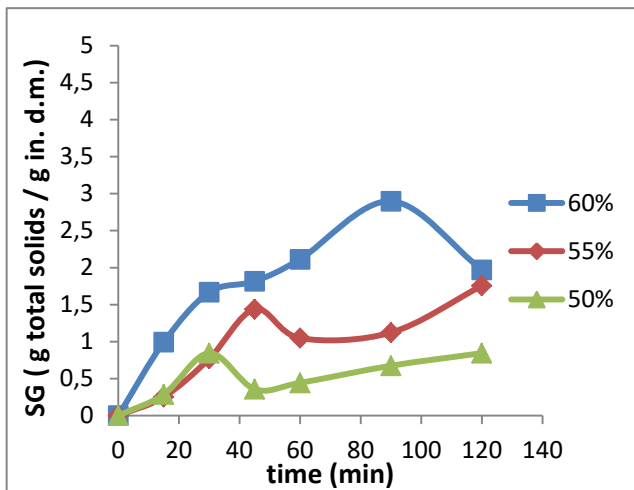
γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%



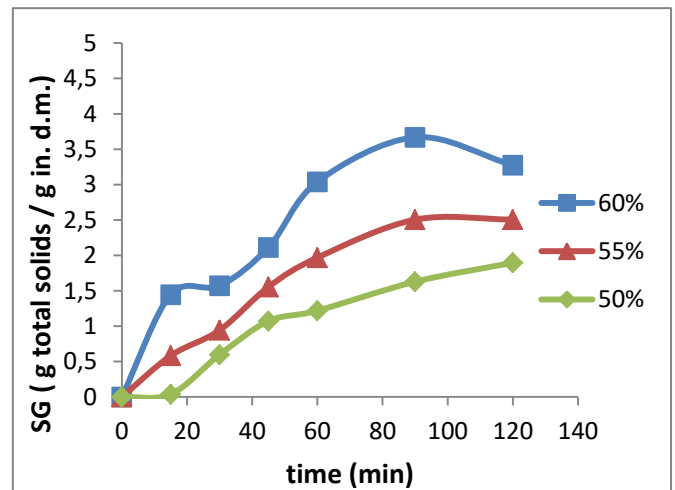
Σχήμα 6.6 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) της τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C σε αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

Παρατηρείται στα σχήματα (6.5) και (6.6) ότι υπάρχει μεγάλη αύξηση στη πρόσληψη στερεών όταν η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος είναι 60% σε γλυκερόλη. Συγκεκριμένα, για $t=90\text{min}$ και $T=55^\circ\text{C}$, η πρόσληψη στερεών από 2,82g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους με 55% γλυκερόλη αυξάνεται σε 4,39 g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους.

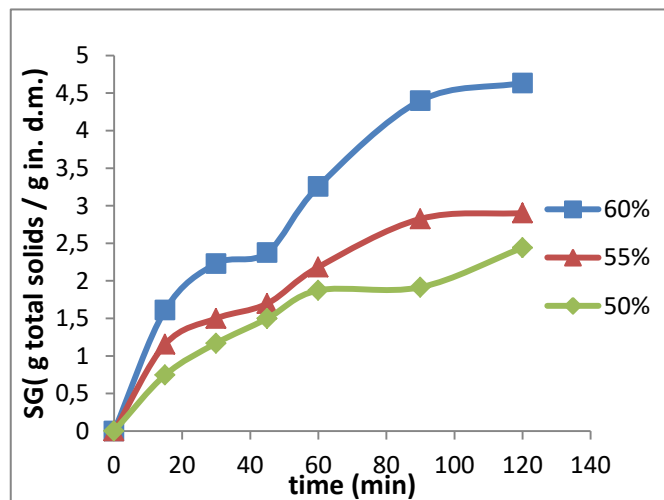
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C

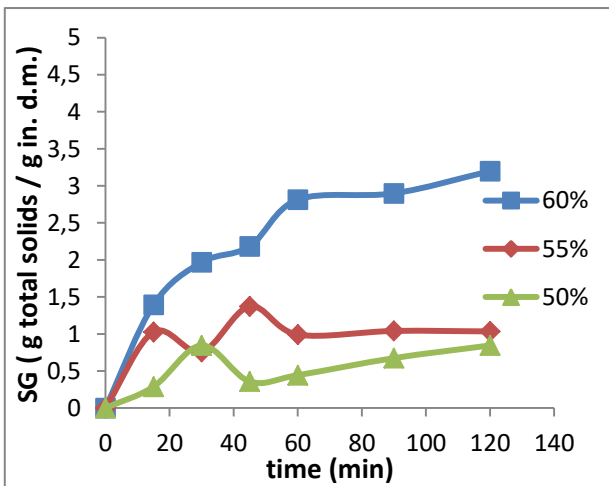


γ) Θερμοκρασία 55°C

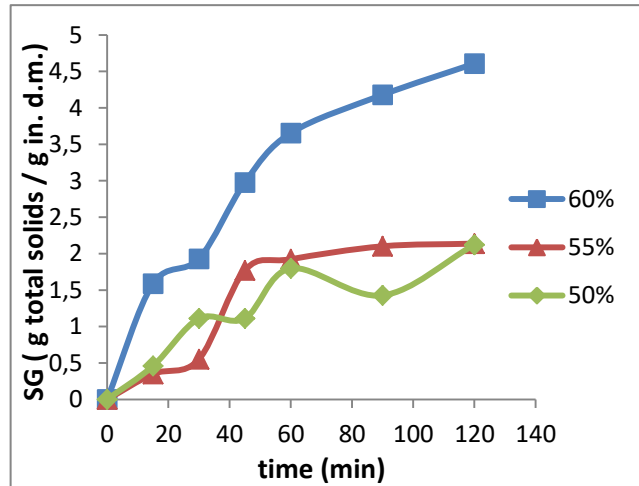


Σχήμα 6.7 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:3 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

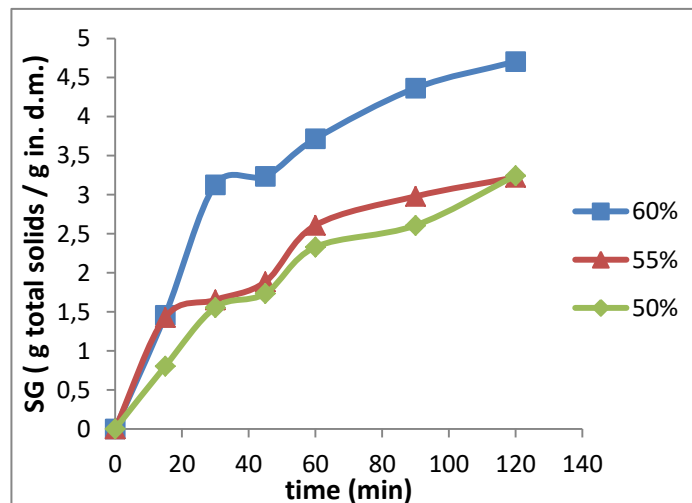
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C



γ) Θερμοκρασία 55°C



Σχήμα 6.8 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας σε ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

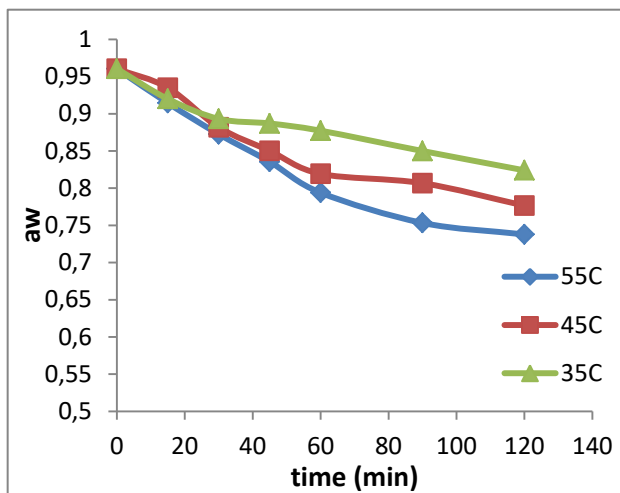
Από τα παραπάνω διαγράμματα, γίνεται σαφές πως η πρόσληψη στερεών, όπως και η απώλεια νερού, αρχικά είναι εντονότερη και ταχύτερη, ενώ με την πάροδο του χρόνου της ωσμωτικής αφυδάτωσης ο ρυθμός πρόσληψης στερεών τείνει να σταθεροποιηθεί. Επιπρόσθετα φανερό είναι ότι η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη επηρεάζει την πρόσληψη στερεών όπως και την απώλεια νερού, καθώς στο διάλυμα 60% γλυκερόλης, η πρόσληψη στερεών είναι σαφώς εντονότερη από τα

ωσμωτικά διαλύματα 55% και 50% γλυκερόλης. Επίσης η θερμοκρασία επηρεάζει την πρόσληψη στερεών καθώς στους 55°C, η πρόσληψη στερεών είναι υψηλότερη συγκριτικά με τους 35°C και 45°C. Τέλος παρατηρείται, όπως και στην απώλεια νερού ότι σημαντικό ρόλο παίζει και η αναλογία του ωσμωτικού μέσου προς την τομάτα, καθώς στην αναλογία 1:5 (w/w) παρουσιάζεται υψηλότερη πρόσληψη στερεών.

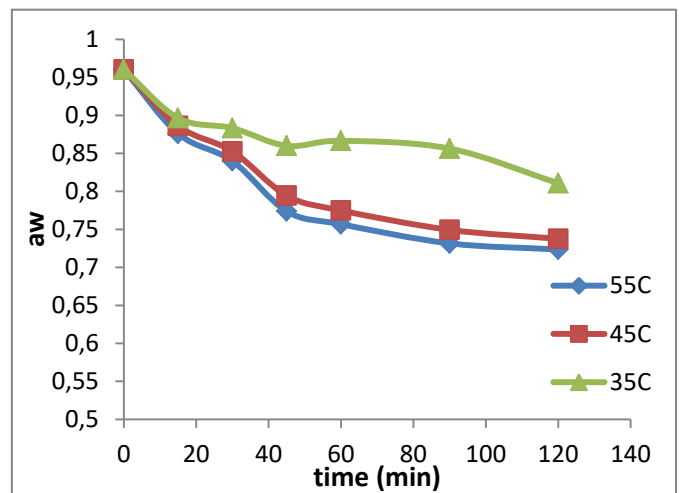
6.1.2.2 Ενεργότητα νερού, a_w

Στα παρακάτω σχήματα (6.9) – (6.12) παρουσιάζεται η ελάττωση της τιμής της ενεργότητας του νερού στα δείγματα τομάτας ύστερα από ωσμωτική προ-κατεργασία σε ωσμωτικό διάλυμα 50%, 55% και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C και σε αναλογία 1:3 και 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

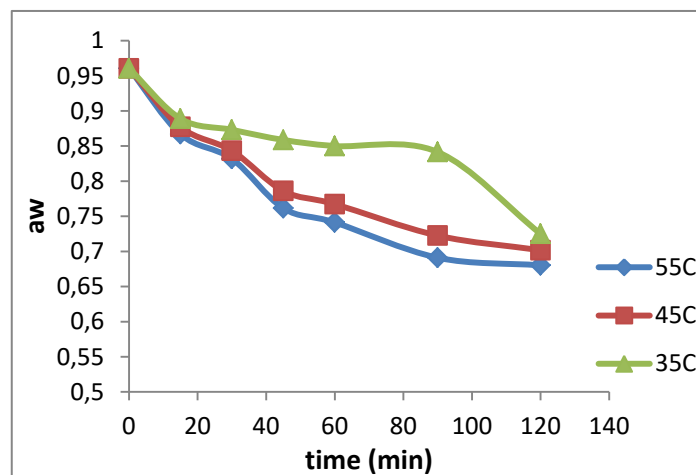
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



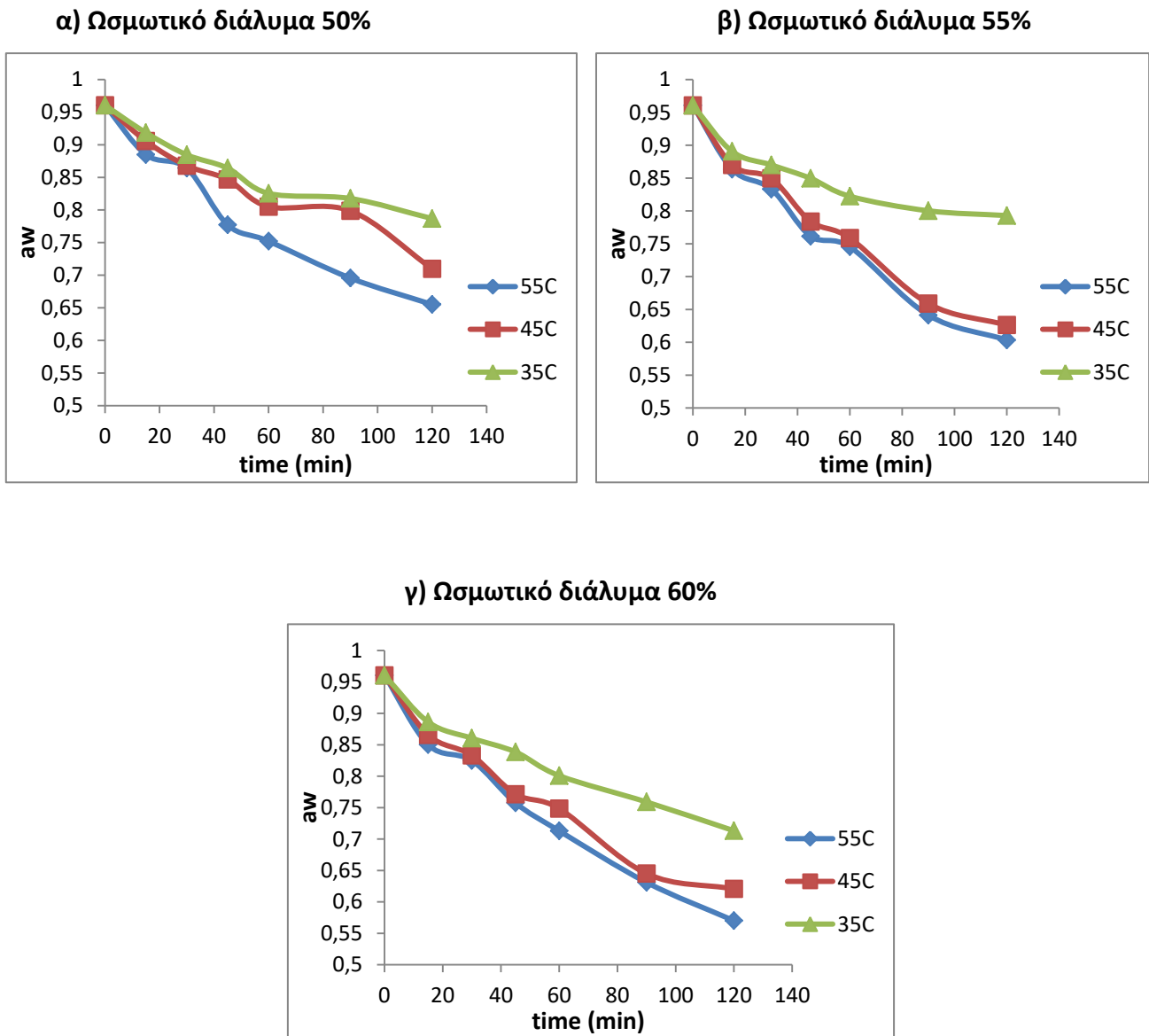
β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%



γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%



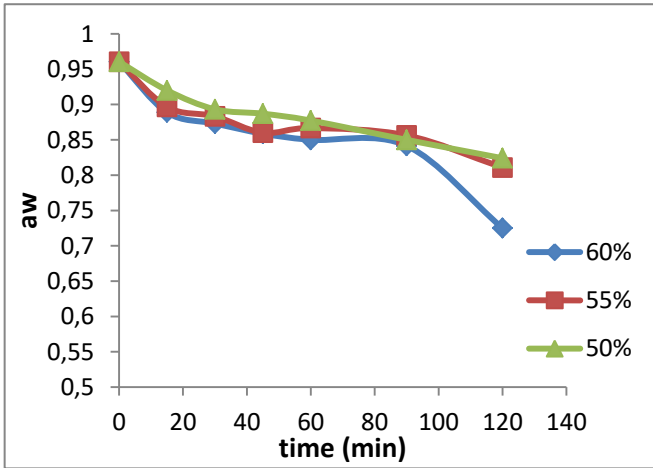
Σχήμα 6.9 Ενεργότητα νερού της τομάτας μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 50(**α**), 55(**β**) και 60%(**γ**) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55° C σε **αναλογία 1:3** τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.



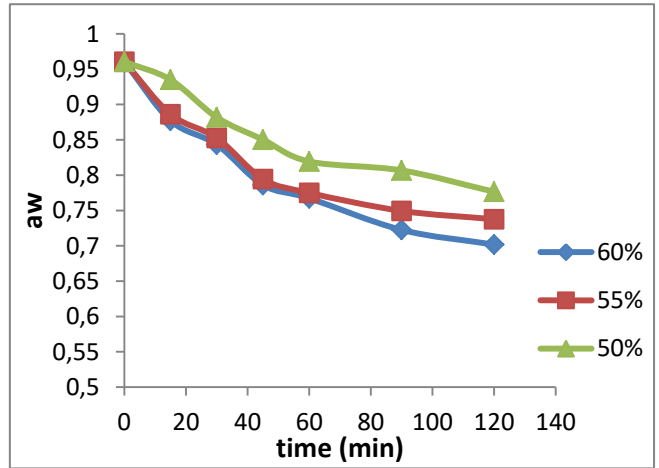
Σχήμα 6.10 Ενεργότητα νερού της τομάτας μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 50(**α**), 55(**β**) και 60%(**γ**) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55° C σε **αναλογία 1:5** τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

Παρατηρείται ότι στην αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα η ελάττωση της ενεργότητας του νερού των δειγμάτων της τομάτας είναι πιο απότομη, από ότι στην αναλογία 1:3.

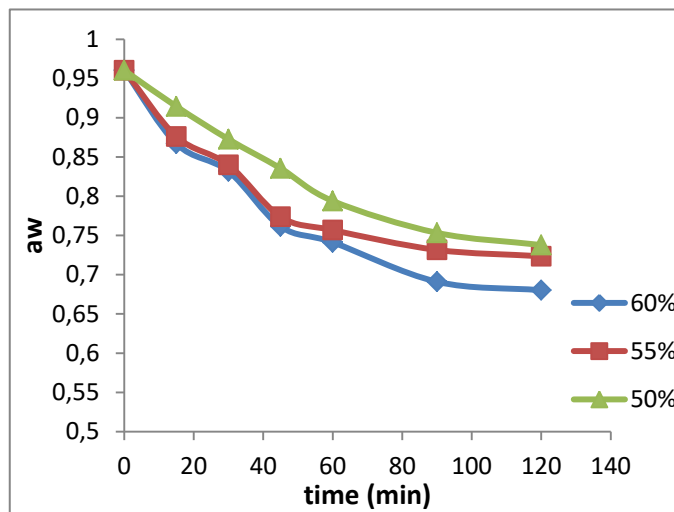
α) Θερμοκρασία 35°C



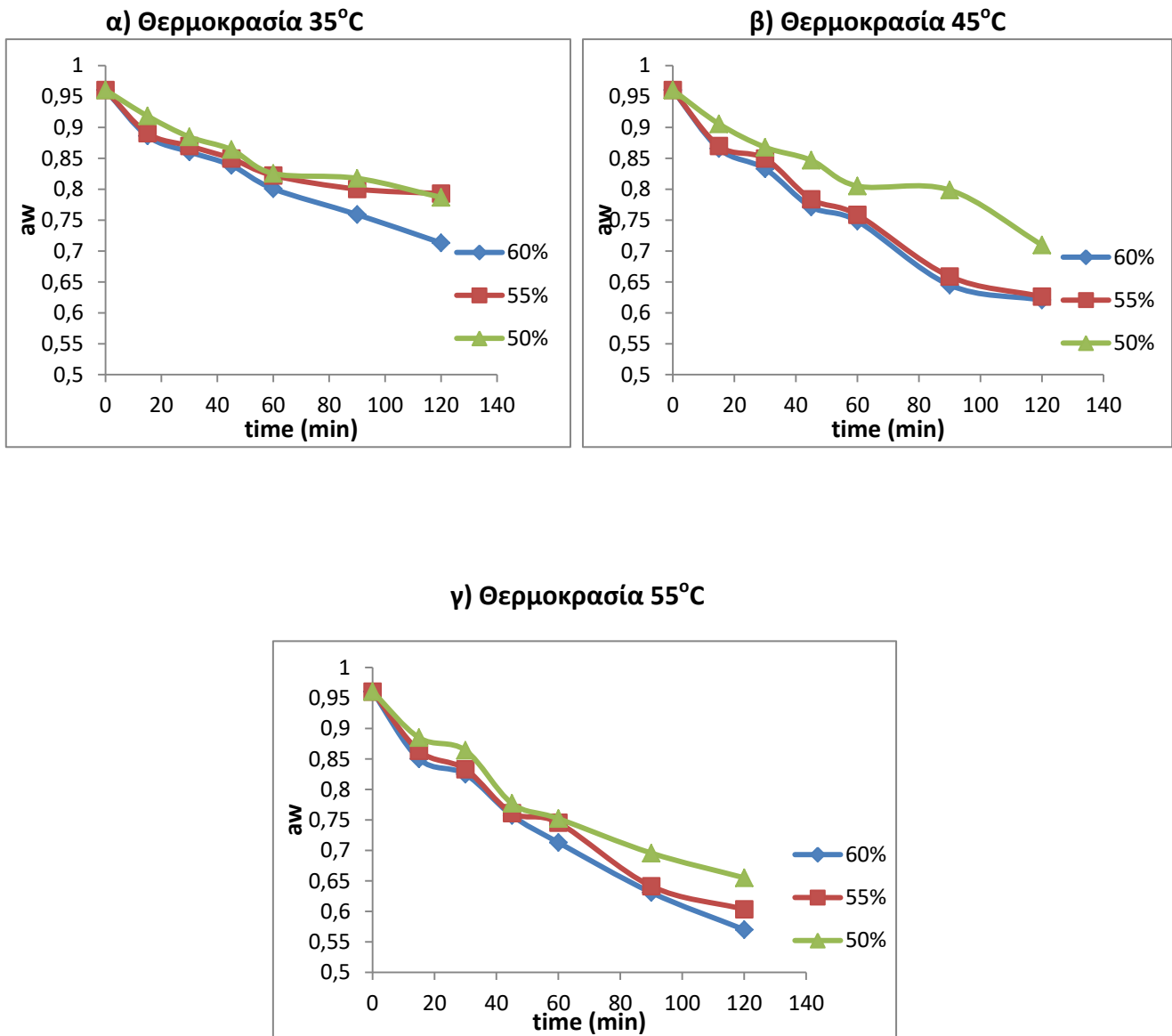
β) Θερμοκρασία 45°C



γ) Θερμοκρασία 55°C



Σχήμα 6.11 Ενεργότητα νερού της τομάτας μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:3 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.



Σχήμα 6.12 Ενεργότητα νερού της τομάτας μετά από εμφάπτιση σε διάλυμα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

Κατά την διάρκεια της ωσμωτικής προκατεργασίας η ενεργότητα του νερού των δειγμάτων τομάτας που εμφαπτιστήκαν στο ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης παρουσιάζει σημαντική μείωση. Είναι φανερό ότι και η ενεργότητα του νερού επηρεάζεται πολύ από την θερμοκρασία ,την συγκέντρωση αλλά και την αναλογία του ωσμωτικού διαλύματος. Συγκεκριμένα είναι φανερό ότι σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις ωσμωτικού διαλύματος, αλλά και σε μεγαλύτερη αναλογία (1:5) ο ρυθμός ελάττωσης της ενεργότητας του νερού είναι πολύ εντονότερος.

6.1.2.3 Συντελεστές Διάχυσης

Οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών παρουσιάζονται στους πίνακες (6.1) και (6.2). Οι τιμές των συντελεστών διάχυσης υπολογίστηκαν μέσω του μοντέλου μεταφοράς μάζας κατά το 2^ο νόμο του Fick (Εξίσωση 5.6 και 5.7). Οι υπολογισμένες τιμές των συντελεστών διάχυσης παρουσιάζονται στους πίνακες (6.1) και (6.2).

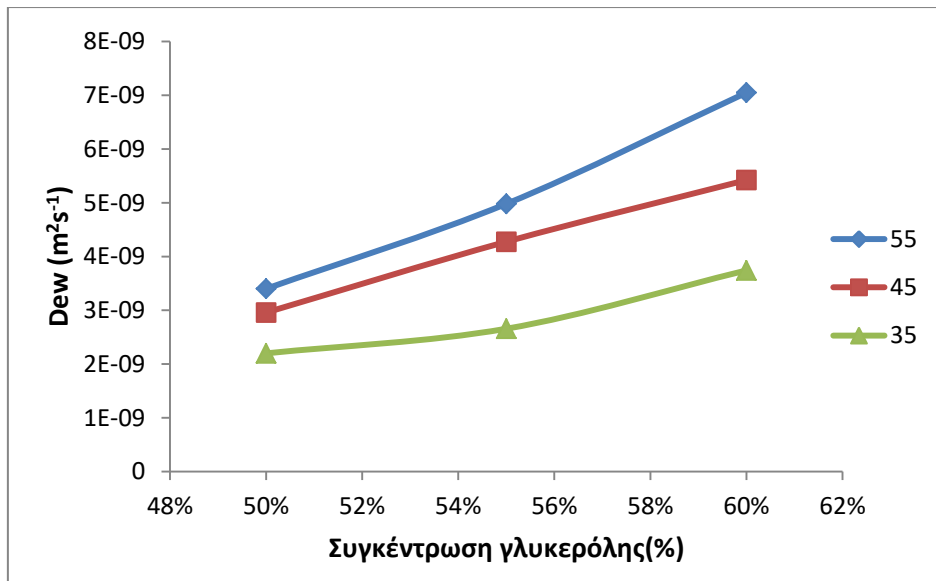
Πίνακας 6.1. Συντελεστές διάχυσης και ενέργεια ενεργοποίησης των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού (D_{ew}) και την πρόσληψη στερεών (D_{es}) για ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε αναλογία 1:3 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{ew} (m^2 \cdot s^{-1})$			$E_a (kJ/mol)$
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$2,19 \cdot 10^{-9}$	$2,95 \cdot 10^{-9}$	$3,4 \cdot 10^{-9}$	18,36
55% γλυκερόλη	$2,65 \cdot 10^{-9}$	$4,27 \cdot 10^{-9}$	$4,97 \cdot 10^{-9}$	26,51
60% γλυκερόλη	$3,74 \cdot 10^{-9}$	$5,42 \cdot 10^{-9}$	$7,04 \cdot 10^{-9}$	26,62

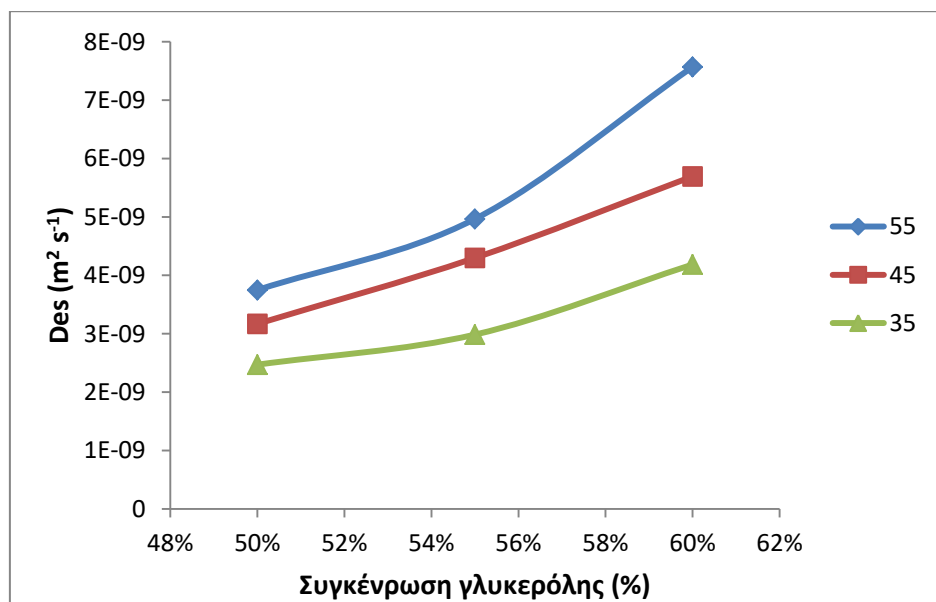
Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{es} (m^2 \cdot s^{-1})$			$E_a (kJ/mol)$
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$2,40 \cdot 10^{-9}$	$3,16 \cdot 10^{-9}$	$3,74 \cdot 10^{-9}$	17,54
55% γλυκερόλη	$2,98 \cdot 10^{-9}$	$4,29 \cdot 10^{-9}$	$4,96 \cdot 10^{-9}$	21,45
60% γλυκερόλη	$4,18 \cdot 10^{-9}$	$5,69 \cdot 10^{-9}$	$7,56 \cdot 10^{-9}$	24,88

Από τον πίνακα (6.1) φαίνεται ότι η ενέργεια ενεργοποίησης αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης. Αύξηση της ενέργεια ενεργοποίησης σημαίνει αύξηση της εξάρτησης του συντελεστή διάχυσης από την θερμοκρασία.

Η επίδραση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος στο συντελεστή διάχυσης για την απώλεια νερού των δειγμάτων τομάτας σε αναλογία 1:3 παρουσιάζεται στα διαγράμματα (6.13) και (6.14).



Σχήμα 6.13 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για απώλεια νερού συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:3 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.



Σχήμα 6.14 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για πρόσληψη στερεών συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:3 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

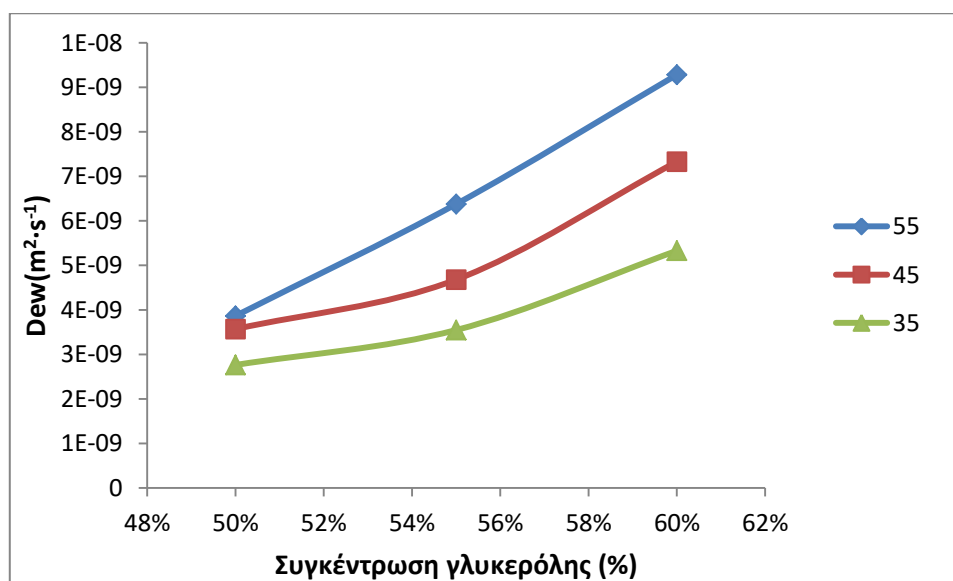
Πίνακας 6.2. Συντελεστές διάχυσης και ενέργεια ενεργοποίησης των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού (D_{ew}) και την πρόσληψη στερεών (D_{es}) για ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα

Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{ew} (m^2 \cdot s^{-1})$			$E_a (kJ/mol)$
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$2,76 \cdot 10^{-9}$	$3,57 \cdot 10^{-9}$	$3,86 \cdot 10^{-9}$	14,13
55% γλυκερόλη	$3,55 \cdot 10^{-9}$	$4,68 \cdot 10^{-9}$	$6,33 \cdot 10^{-9}$	23,33
60% γλυκερόλη	$5,33 \cdot 10^{-9}$	$7,33 \cdot 10^{-9}$	$9,28 \cdot 10^{-9}$	24,60

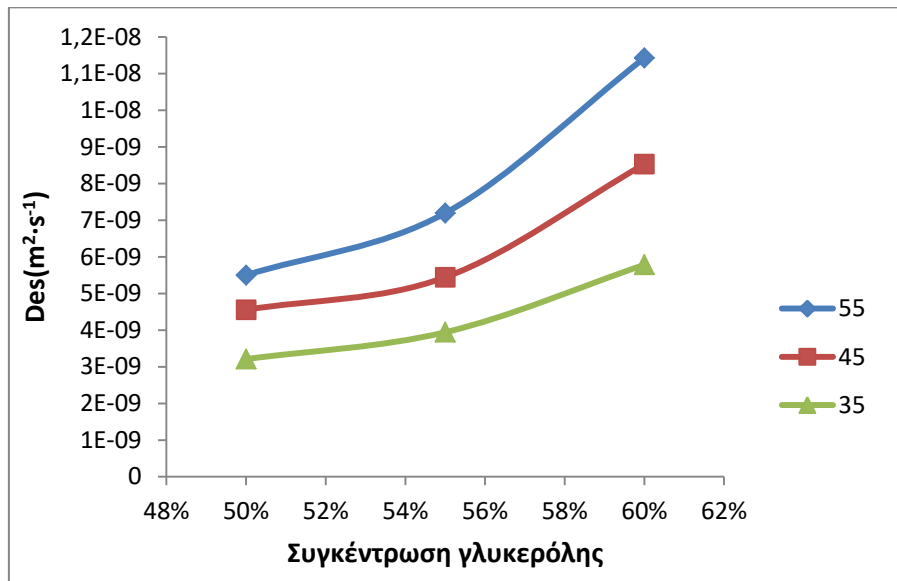
Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{es} (m^2 \cdot s^{-1})$			$E_a (kJ/mol)$
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$3,21 \cdot 10^{-9}$	$4,55 \cdot 10^{-9}$	$5,5 \cdot 10^{-9}$	22,68
55% γλυκερόλη	$3,94 \cdot 10^{-9}$	$5,44 \cdot 10^{-9}$	$7,19 \cdot 10^{-9}$	25,26
60% γλυκερόλη	$5,87 \cdot 10^{-9}$	$8,53 \cdot 10^{-9}$	$1,14 \cdot 10^{-8}$	28,63

Όπως και στην αναλογία 1:3 η ενέργεια ενεργοποίησης αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης.

Η επίδραση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος στο συντελεστή διάχυσης για την απώλεια νερού των δειγμάτων τομάτας σε αναλογία 1:3 παρουσιάζεται στα διαγράμματα (6.15) και (6.16).



Σχήμα 6.15 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για απώλεια νερού συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.



Σχήμα 6.16 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για πρόσληψη στερεών συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:5 τομάτας προς ωσμωτικό διάλυμα.

Από τα σχήματα (6.13)-(6.16) παρατηρείται ότι οι τιμές για τις σταθερές διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών αυξάνονται με αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα της θερμοκρασίας καθώς και της αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος προς την τομάτα. Επιπλέον, όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής διάχυσης. Επίσης με αύξηση της συγκέντρωσης σε γλυκερόλη αυξάνεται και η ενέργεια ενεργοποίησης. Η ενέργεια ενεργοποίησης εκφράζει την εξάρτηση του ρυθμού διάχυσης με την θερμοκρασία. Η αύξηση των συντελεστών διάχυσης τόσο για την απώλεια νερού, όσο και για την πρόσληψη στερεών με την αύξηση της θερμοκρασίας, έρχεται σε συμφωνία με συμπεράσματα άλλων ερευνητών (Rastogi και Raghavarao, 2004).

Οι συντελεστές διάχυσης της απώλειας νερού και της πρόσληψης στερεών κυμαίνονται από $2,19 \cdot 10^{-9}$ έως $7,04 \cdot 10^{-9}$ m²/s και από $2,47 \cdot 10^{-9}$ έως $7,56 \cdot 10^{-9}$ m²/s, αντιστοίχως για αναλογία 1:3, και $2,76 \cdot 10^{-9}$ έως $9,28 \cdot 10^{-9}$ m²/s και από $3,21 \cdot 10^{-9}$ έως $1,14 \cdot 10^{-8}$ m²/s για αναλογία 1:5 κατά την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις επιλεγμένες συνθήκες επεξεργασίας. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές για τους

συντελεστές διάχυσης D_{ew} και D_{es} $0,341 \cdot 10^{-9}$ έως $0,858 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ και από $0,335 \cdot 10^{-9}$ έως $0,611 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, αντίστοιχα, από τους Telis et al. (2003) για την ωσμωτική αφυδάτωση τομάτας σε διαλύματα σακχαρόζης ή/και άλατος διαγορευτικής σύστασης, καθώς και οι τιμές $0,400 \cdot 10^{-9}$ έως $1,770 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ για την απώλεια νερού και $0,040 \cdot 10^{-9}$ έως $0,540 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ για την πρόσληψη στερεών από τους Azoubel και Murr (2004) για την ωσμωτική αφυδάτωση τομάτας σε διάλυμα σακχαρόζης και άλατος σε θερμοκρασία 35°C . Οι τιμές που υπολογίστηκαν για τους συντελεστές D_{ew} και D_{es} στη παρούσα μελέτη κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα. Οι διαφορές στις τιμές οφείλονται στις διαφορές στις συνθήκες της ωσμωτικής διεργασίας (θερμοκρασία, αναλογία), στα μέσα ωσμωτικού διαλύματος και τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων τομάτας (ποικιλία, μέγεθος και σχήμα δείγματος).

Η επίδραση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη στους συντελεστές διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών περιγράφεται από την εξίσωση (6.1):

$$D = D_{50}(T, G) \cdot e^{k(T,G) \cdot (C - C_{ref})} \quad (\text{Εξίσωση 6.1})$$

$$\text{Όπου } D_{50}(T, G) = D_{0Tref}(G) \cdot \exp \left[-\frac{E_{aD_{50}}(G)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (\text{Εξίσωση 6.2})$$

$$\text{με } D_{0Tref}(G) = a_1 \cdot (G - G_{ref}) + b_1 \quad (\text{Εξίσωση 6.3})$$

$$E_{aD_{50}}(G) = a_2 \cdot (G - G_{ref}) + b_2 \quad (\text{Εξίσωση 6.4})$$

$$\text{και } k(T, G) = k_{Tref}(G) \cdot \exp \left[-\frac{E_{ak}(G)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (\text{Εξίσωση 6.5})$$

$$\text{με } k_{Tref}(G) = a_3 \cdot (G - G_{ref}) + b_3 \quad (\text{Εξίσωση 6.6})$$

$$E_{ak}(G) = a_4 \cdot (G - G_{ref}) + b_4 \quad (\text{Εξίσωση 6.7})$$

Όπου D ο συντελεστής διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών της τομάτας ($m^2 \cdot s^{-1}$)

D_{50} η τιμή του συντελεστή διάχυσης της τομάτας για συγκέντρωση γλυκερόλης 50% συναρτήσει της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος και της αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο ($m^2 \cdot s^{-1}$)

T η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος (K)

T_{ref} η θερμοκρασία αναφοράς του ωσμωτικού διαλύματος (K)

G η αναλογία τομάτας προς ωσμωτικό μέσο (w/w)

G_{ref} η αναλογία αναφοράς τομάτας προς ωσμωτικό μέσο (w/w)

C η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη (%)

C_{ref} η συγκέντρωση αναφοράς της γλυκερόλης 50% (w/w)

k ο ρυθμός μεταβολής του συντελεστή διάχυσης της τομάτας συναρτήσει της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος και της αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο (s^{-1})

D_{50ref} η τιμή του συντελεστή διάχυσης της τομάτας για συγκέντρωση γλυκερόλης 50% σε θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} συναρτήσει της αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο ($m^2 \cdot s^{-1}$)

$E_{aD_{50}}$ η ενέργεια ενεργοποίησης του D_{50} συναρτήσει της αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο (J/mol)

k_{Tref} ο ρυθμός μεταβολής του συντελεστή διάχυσης σε θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} συναρτήσει της αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο (s^{-1})

E_{ak} η ενέργεια ενεργοποίησης του ρυθμού μεταβολής του συντελεστή διάχυσης συναρτήσει της αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο (J/mol)

R η παγκόσμια σταθερά αερίων (8,314 J/mol·K)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ οι ρυθμοί μεταβολής των $D_0, E_{aD_{50}}, k_{Tref}, E_{ak}$ συναρτήσει της αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο

b_1, b_2, b_3, b_4 οι τιμές των $D_0, E_{aD_{50}}, k_{Tref}, E_{ak}$ σε συγκέντρωση 50% γλυκερόλης

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να εφαρμοστεί για το προσδιορισμό του συντελεστή διάχυσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση τομάτας μόνο μέσα σε συγκεκριμένα εύρη παραμέτρων επεξεργασίας

- Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος 35°C - 55°C
- Συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη 50% - 60%
- Αναλογία τομάτας προς ωσμωτικό μέσο 1:5(w/w) – 1:3(w/w)

6.1.2.4 Προσαρμογή μαθηματικού μοντέλου

Ένα συνδυαστικό μοντέλο που προέκυψε από τις εξισώσεις (6.1) με (6.7), με αντικατάσταση των συντελεστών της εξίσωσης (6.1) με τις εξισώσεις (6.2)-(6.7), χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη μελέτη της συνδυαστικής επίδρασης της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας του ωσμωτικού μέσου καθώς και της αναλογίας τροφίμου ωσμωτικού μέσου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών.

$$D = (a_1 \cdot G + b_1) \cdot \exp \left[\left(\left(\left(\frac{(a_2 \cdot (G - G_{ref}) + b_2)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) + \right) \right) \left((a_3 \cdot (G - G_{ref}) + b_3) \exp \left(- \frac{(a_4 \cdot (G - G_{ref}) + b_4)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) \right) \right) \right] \cdot (C - C_{ref})$$

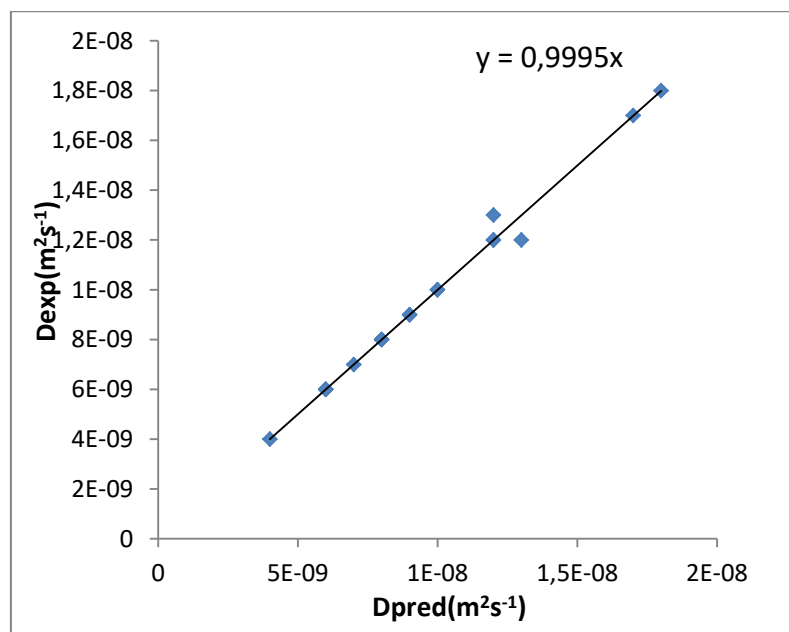
(Εξίσωση 6.8)

Οι τιμές των συντελεστών υπολογίστηκαν με τη βοήθεια μη γραμμικής παλινδρόμησης με το λογισμικό Systat, και παρουσιάζονται στους πίνακες (6.3) και (6.4) μαζί με τους συντελεστές συσχέτισης για την απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών της τομάτας.

Πίνακας 6.3. Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης (6.1) για την απώλεια νερού στα δείγματα τομάτας.

Συντελεστές	
α_1	$-1,4 \cdot 10^{-8}$
b_1	$9 \cdot 10^{-9}$
α_2	-105816
b_2	13459,3
α_3	-26,176
b_3	6,4548
α_4	253155
b_4	27535,7

Το μοντέλο της εξίσωσης (6.8) προβλέπει την εξάρτηση των συντελεστών διάχυσης απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών για τα δείγματα τομάτας, με τις παραμέτρους που μελετήθηκαν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Η συσχέτιση των πειραματικών τιμών διάχυσης με τις προβλεπομένες τιμές διάχυσης παρουσιάζονται στα σχήματα (6.17) και (6.18).

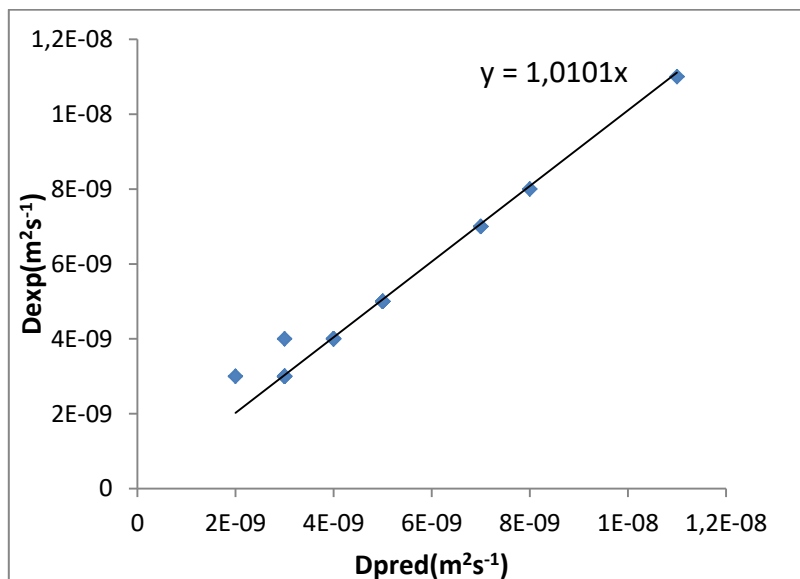


Σχήμα 6.17 Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων τιμών διάχυσης για την απώλεια νερού δειγμάτων τομάτας με τις πειραματικές τιμές.

Η συσχέτιση των πειραματικών με τις προβλεπόμενες τιμές του συντελεστή διάχυσης απώλειας νερού για τα δείγματα τομάτας είναι πάρα πολύ καλή. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η τιμή της κλίσης της ευθείας (0,9995) είναι πολύ κοντά στη μονάδα.

Πίνακας 6.4. Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης (6.1) και των συντελεστών συσχέτισης για τη πρόσληψη στερεών στα δείγματα τομάτας.

Συντελεστές	
α_1	$-7 \cdot 10^{-9}$
b_1	$3 \cdot 10^{-9}$
α_2	-151410
b_2	5727,26
α_3	-7,9408
b_3	6,2884
α_4	137594
b_4	27397,5



Σχήμα 6.18 Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων τιμών διάχυσης για την πρόσληψη στερεών δειγμάτων τομάτας με τις πειραματικές τιμές.

Η συσχέτιση των πειραματικών με τις προβλεπόμενες τιμές του συντελεστή διάχυσης πρόσληψης στερεών για τα δείγματα τομάτας είναι ιδιαίτερα καλή. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι όσο πιο κόντα στη μονάδα είναι η τιμή της κλίσης της ευθείας (1,0101) τόσο καλύτερη συσχέτιση έχουμε.

Έτσι για παράδειγμα για τιμές στο εύρος που εφαρμόζεται η (6.8), π.χ. $T=42^{\circ}\text{C}$, $C=58\%$ και $G=1:4$ οι υπολογιζόμενες τιμές των συντελεστών διάχυσης της τομάτας είναι $D_{ew} = 1,84 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $D_{es} = 5,67 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ για την απώλεια νερού και τη πρόσληψη στερεών αντίστοιχα.

Για την επαλήθευση της εξίσωσης (6.8) θα ήταν σκόπιμο να γίνουν ανεξάρτητα πειράματα σε τιμές ως οι παραπάνω και να συγκριθούν οι προβλεπόμενες τιμές των συντελεστών διάχυσης με τις πειραματικές.

Επιπλέον υπολογίστηκαν η ενέργεια ενεργοποίησης του D_{50} , $E_{aD_{50}}$ και η ενέργεια ενεργοποίησης του ρυθμού μεταβολής του συντελεστή διάχυσης E_{a_k} για την απώλεια νερού και τη πρόσληψη στερεών σύμφωνα με τις εξισώσεις (6.4) και (6.7).

Πίνακας 6.5. Τιμές των ενεργειών ενεργοποίησης για την απώλεια νερού στα δείγματα τομάτας.

Απώλεια νερού (WL)	Αναλογία τομάτας προς ωσμωτικό μέσο	
	1:5	1:3
E_{a_k} (kJ/mol)	6,21	26,7
$E_{aD_{50}}$ (kJ/mol)	27,57	13,81

Πίνακας 6.6. Τιμές των ενεργειών ενεργοποίησης για τη πρόσληψη στερεών στα δείγματα τομάτας.

Πρόσληψη στερεών (SG)	Αναλογία τομάτας προς ωσμωτικό μέσο	
	1:5	1:3
E_{a_k} (kJ/mol)	9,05	26,93
$E_{aD_{50}}$ (kJ/mol)	25,91	6,23

6.1.3 Αγγούρι: Επίδραση θερμοκρασίας, χρόνου, συγκέντρωσης και αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος

Ομοίως με την τομάτα έγινε ωσμωτική προκατεργασία σε ωσμωτικό διάλυμα 50, 55 και 60% γλυκερόλης και οι θερμοκρασίες στις οποίες έγινε το πείραμα ήταν 35, 45 και 55°C για 15, 30, 45, 60, 90 και 120min.

Τα δείγματα ζυγίστηκαν πριν και μετά την ωσμωτική προκατεργασία και υπολογίστηκαν οι ακόλουθες παράμετροι απώλειας νερού (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) του ωσμωτικά προκατεργασμένου τροφίμου σύμφωνα με τις εξισώσεις (5.1) και (5.2). Επίσης μετρήθηκε η ενεργότητα (a_w) του νερού του αγγουριού. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατίθενται οι παραπάνω παράμετροι σε συνάρτηση με το χρόνο προκατεργασίας για ωσμωτικά διαλύματα με 50, 55 και 60% γλυκερόλη σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C.

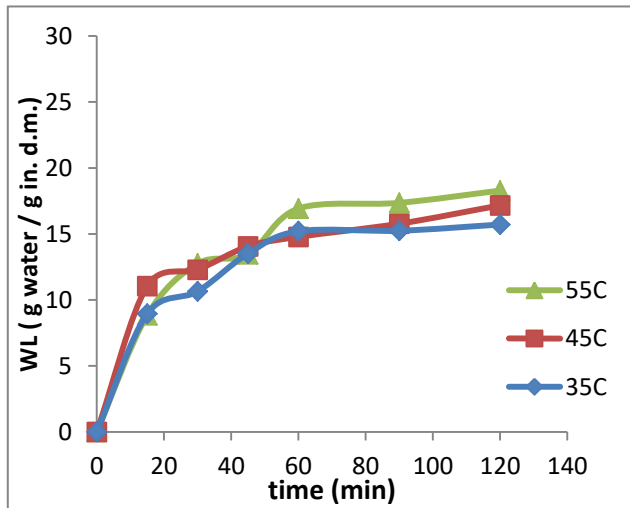
6.1.3.1 Υπολογισμός απώλειας νερού- πρόσληψης στερεών

Η ωσμωτική αφυδάτωση προκάλεσε σημαντική απώλεια υγρασίας στα δείγματα του αγγουριού, μάλιστα μεγαλύτερη από της τομάτας. Η αρχική υγρασία των δειγμάτων ήταν κατά μέσο όρο 22,4 g νερού/g αρχ. ξηράς ύλης.

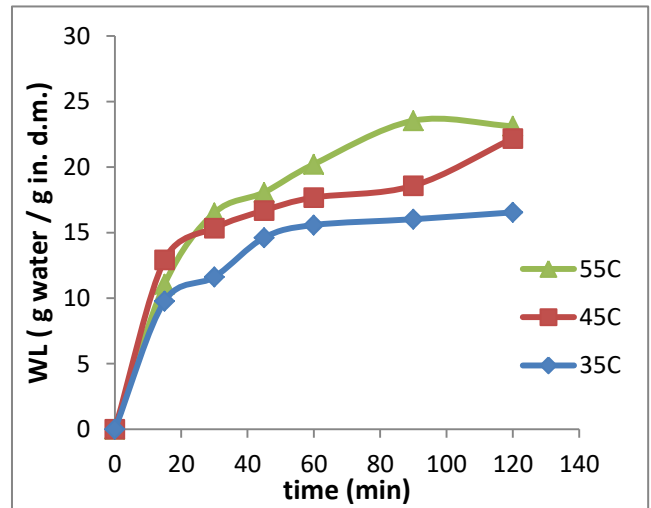
Απώλεια νερού

Η απώλεια νερού της τομάτα κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής προεπεξεργασίας με τη χρήση τριών διαφορετικών ωσμωτικών διαλυμάτων στους 35, 45 και 55 °C και με αναλογία 1:3 και 1:5 (w/w) παρουσιάζονται στα σχήματα (6.19) – (6.22).

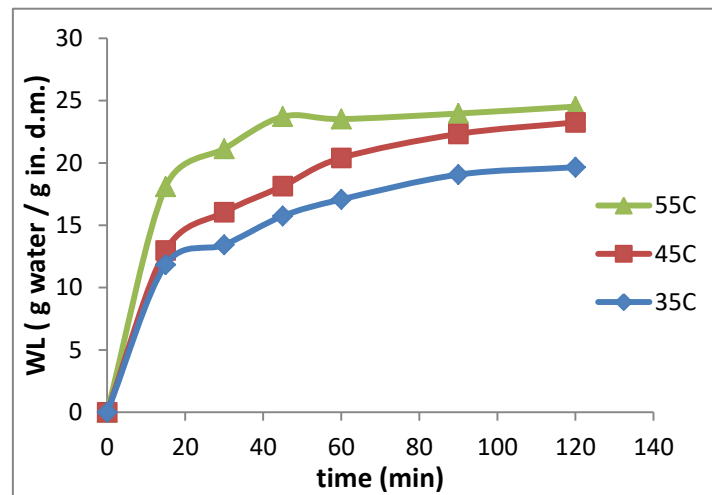
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%

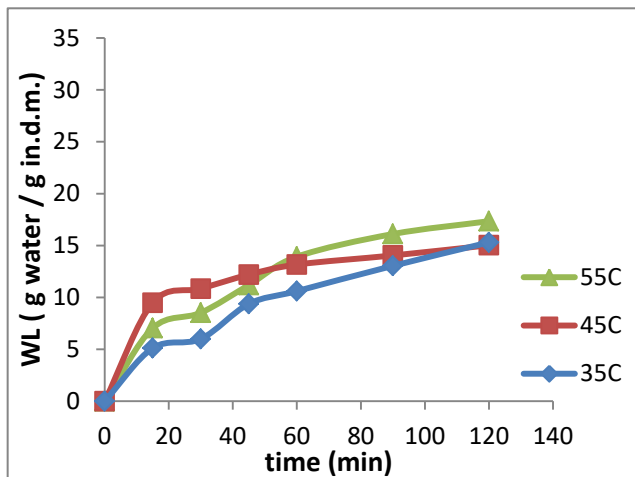


γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%

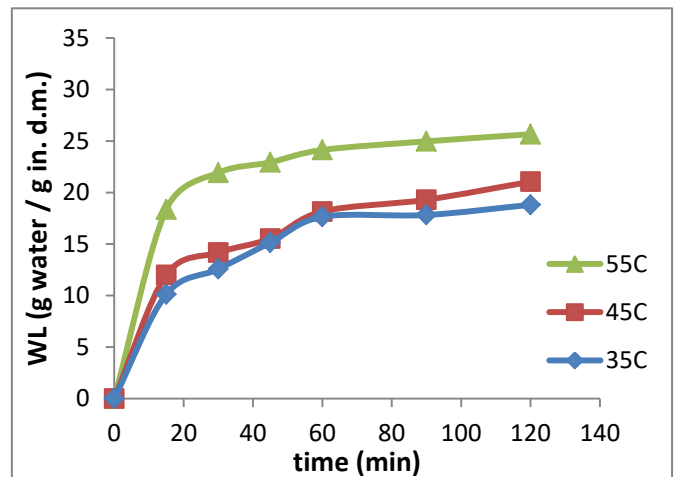


Σχήμα 6.19 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C με αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

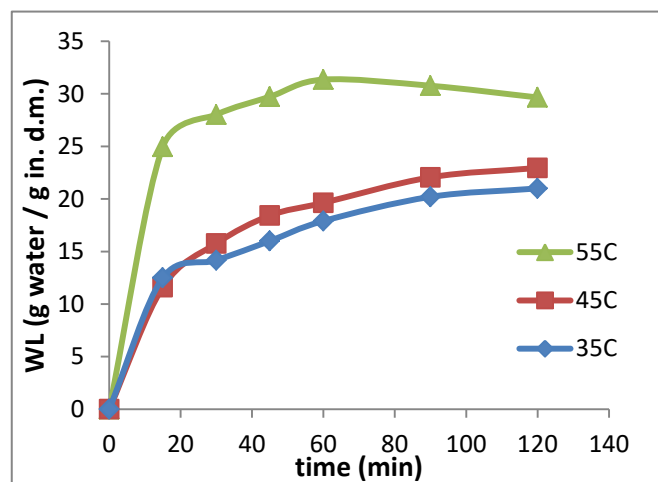
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%



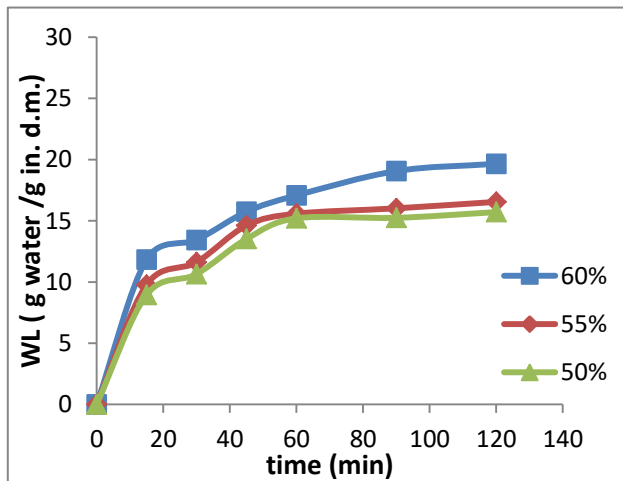
γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%



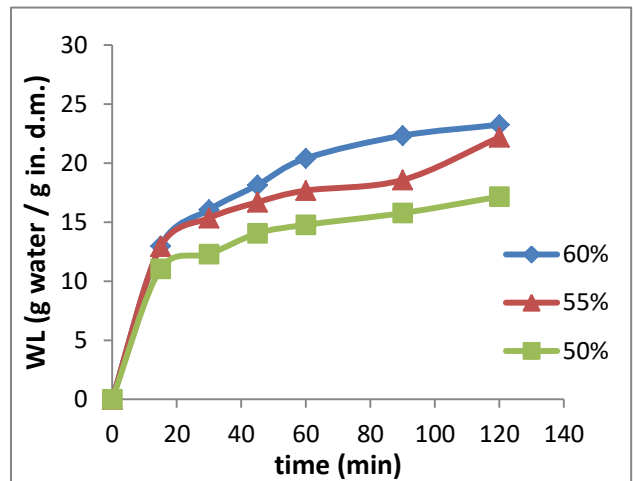
Σχήμα 6.20 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C με **αναλογία 1:5** αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

Από τα σχήματα (6.19) και (6.20) παρατηρείται ότι ο ρυθμός απώλειας νερού για τα δείγματα αγγουριού, σε χαμηλή συγκέντρωση γλυκερόλης (50%) έχει μικρή εξάρτηση από την θερμοκρασία. Η απώλεια νερού των δειγμάτων αγγουριού έχει μικρές διαφορές και στις τρεις θερμοκρασίες.

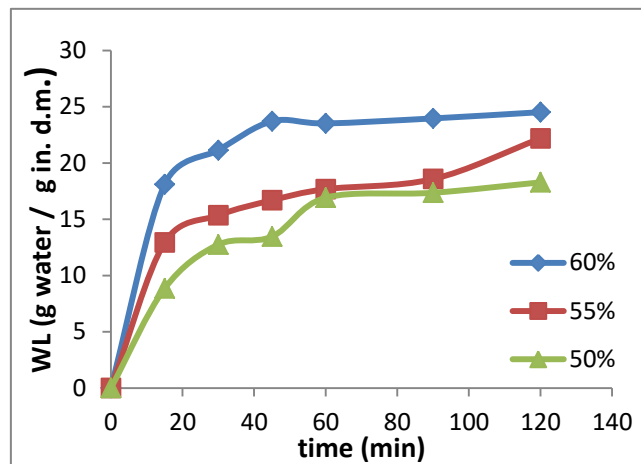
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C

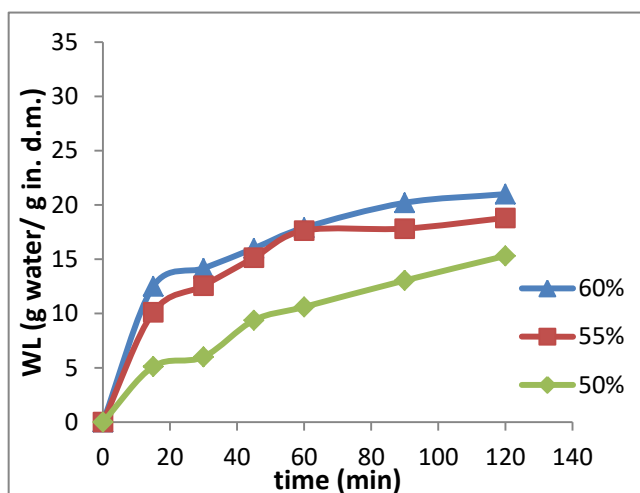


γ) Θερμοκρασία 55°C

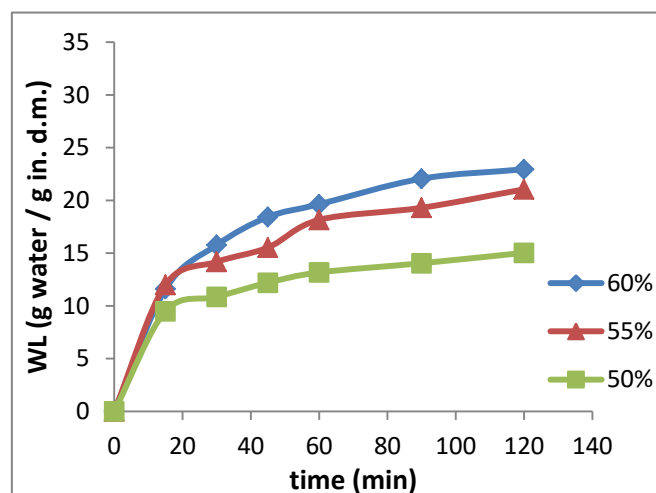


Σχήμα 6.21 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50,55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

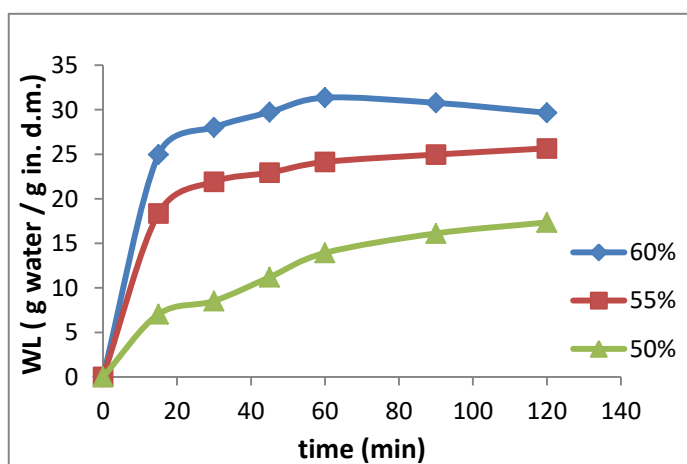
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C



γ) Θερμοκρασία 55°C



Σχήμα 6.22 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50,55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

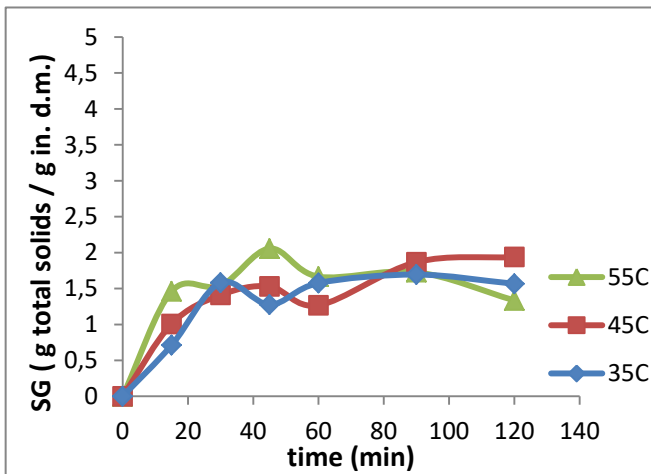
Κατά τη διάρκεια των πρώτων 60 λεπτών της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι φανερό ότι η απώλεια νερού των δειγμάτων αγγουριού είναι ταχύτερη και εντονότερη, για όλες τις συγκεντρώσεις και αναλογίες του ωσμωτικού διαλύματος. Επίσης από τα διαγράμματα προκύπτει ότι το φαινόμενο της ώσμωσης αρχίζει να πλησιάζει την κατάσταση ισορροπίας μετά από 60 λεπτά, καθώς ο ρυθμός απώλειας νερού αρχίζει

να σταθεροποιείται. Επιπλέον, όπως είναι αναμενόμενο η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη καθώς και η θερμοκρασία επηρεάζει την απώλεια νερού, καθώς στο διάλυμα 60% γλυκερόλης η απώλεια νερού είναι εντονότερη από τα ωσμωτικά διαλύματα 55% και 50% γλυκερόλης, όπως και στους 55°C, η απώλεια νερού είναι πάλι εντονότερη σε σχέση με τους 35°C και 45°C. Τέλος παρατηρείται ότι σημαντικό ρόλο παίζει και η αναλογία του ωσμωτικού μέσου προς το αγγούρι, καθώς στην αναλογία 1:5 (w/w) παρουσιάζεται εντονότερη απώλεια νερού. Είναι φανερό ότι στο αγγούρι η απώλεια νερού είναι εντονότερη από την τομάτα, κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς το αγγούρι περιέχει 96% νερό.

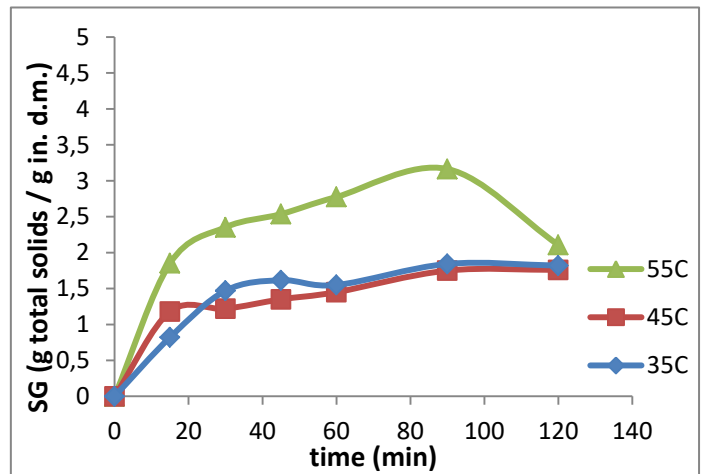
Πρόσληψη στερεών

Η πρόσληψη στερεών στα δείγματα αγγουριού κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής προκατεργασίας με τη χρήση τριών διαφορετικών ωσμωτικών διαλυμάτων στους 35, 45 και 55 °C και με αναλογία 1:3 και 1:5 (w/w) παρουσιάζονται στα σχήματα (6.23) – (6.25). Οι ρυθμοί πρόσληψης στερεών παρουσίασαν μικρότερη αύξηση από ότι οι ρυθμοί απώλειας νερού.

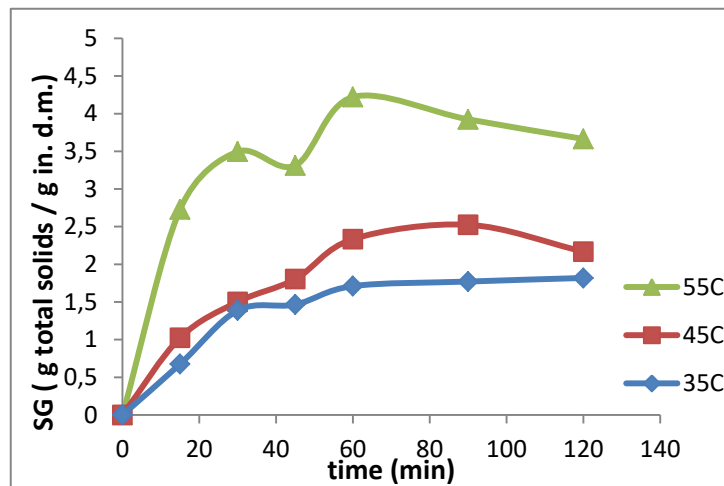
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%

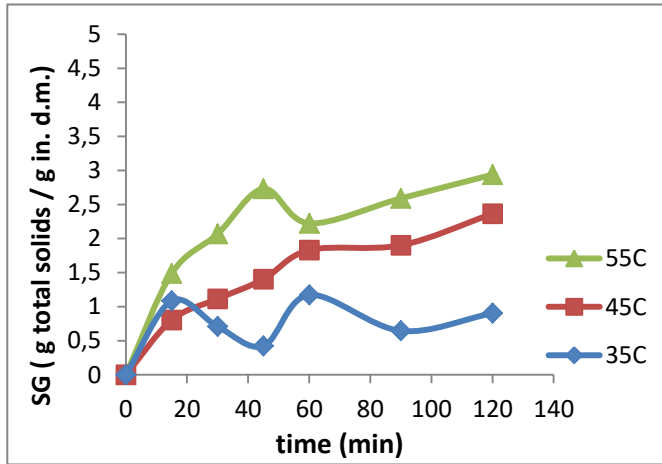


γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%

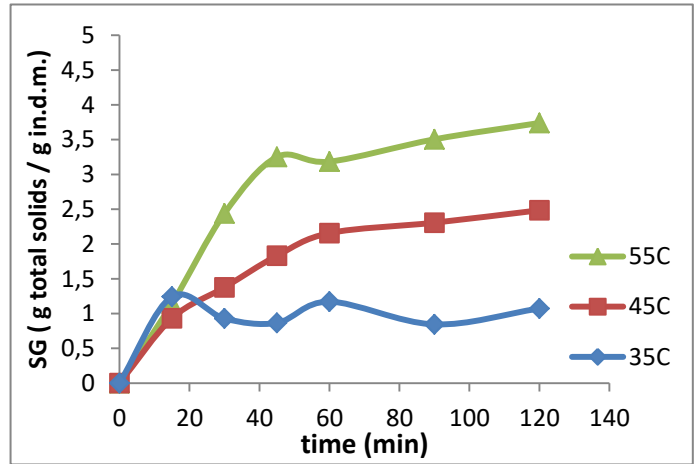


Σχήμα 6.23 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) του αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C σε αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

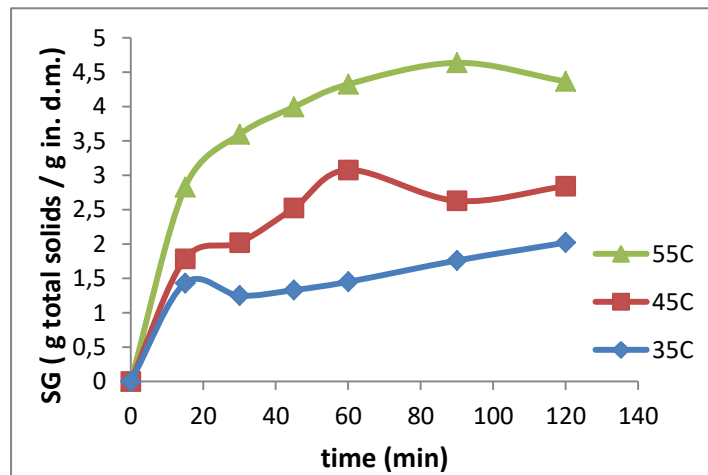
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%

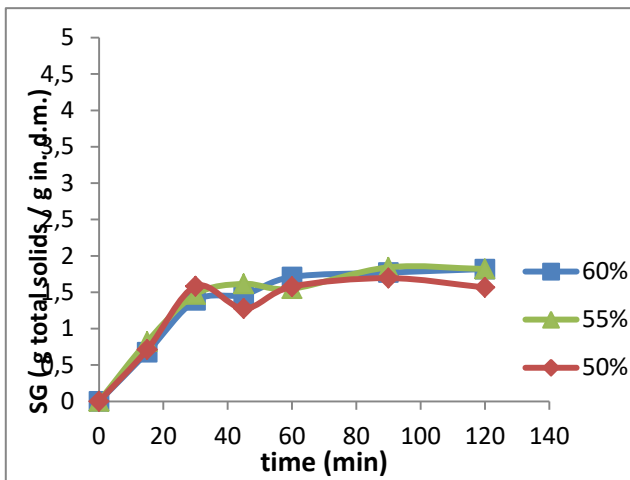


γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%

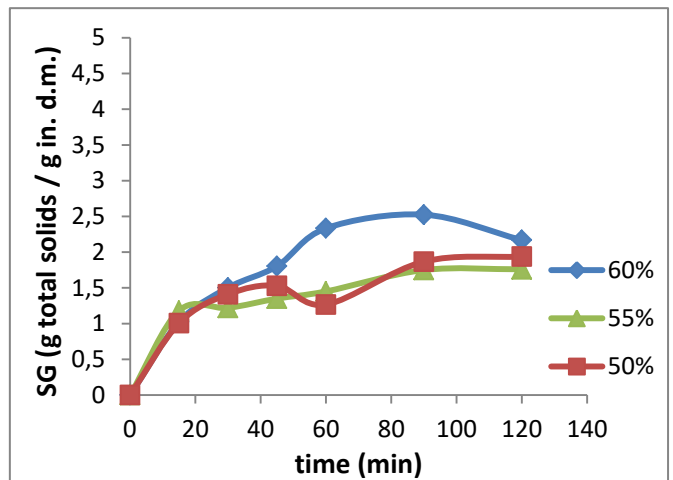


Σχήμα 6.24 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) του αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C σε αναλογία 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

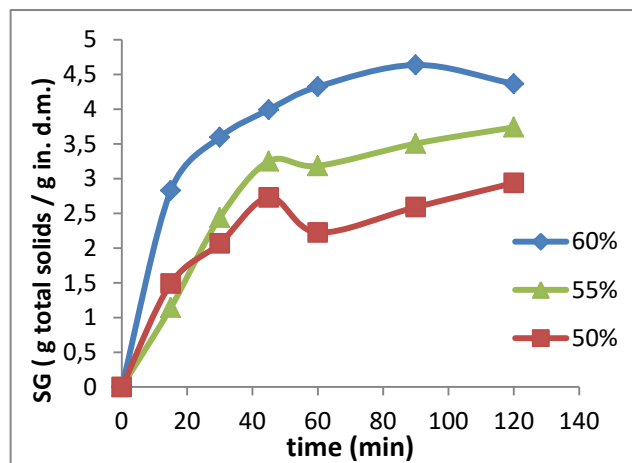
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C

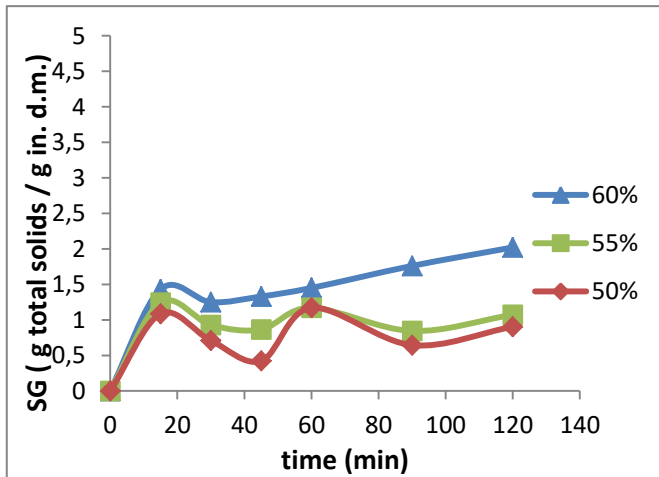


γ) Θερμοκρασία 55°C

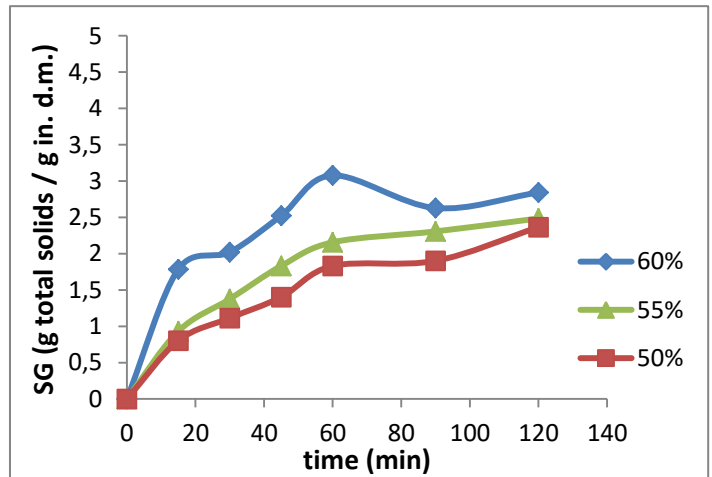


Σχήμα 6.25 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

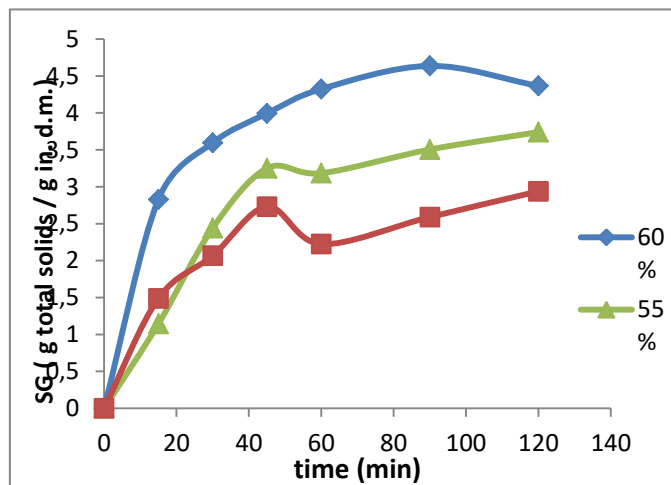
α) Θερμοκρασία 35°C



β) Θερμοκρασία 45°C



γ) Θερμοκρασία 55°C



Σχήμα 6.26 Πρόσληψη στερεών (g στερεού / g αρχικού ξηρού βάρους) αγγουριού σε ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

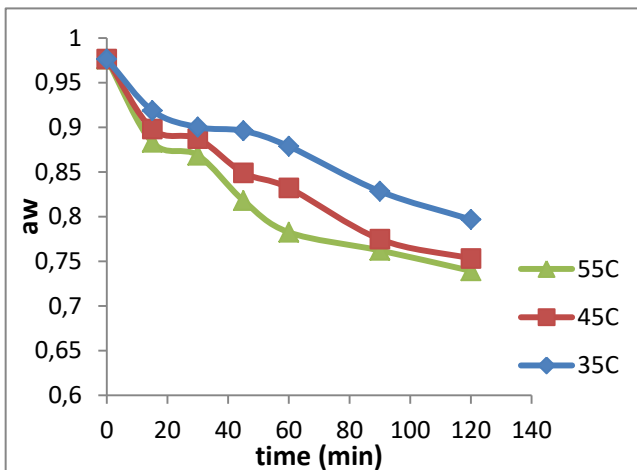
Από τα παραπάνω διαγράμματα, γίνεται σαφές πως η πρόσληψη στερεών, όπως και η απώλεια νερού, αρχικά είναι εντονότερη και ταχύτερη, ενώ με την πάροδο του χρόνου της ωσμωτικής αφυδάτωσης ο ρυθμός πρόσληψης στερεών τείνει να σταθεροποιηθεί. Επιπρόσθετα, φανερό είναι ότι η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη επηρεάζει την πρόσληψη στερεών όπως και την απώλεια νερού, καθώς στο διάλυμα 60% γλυκερόλης, η πρόσληψη στερεών είναι σαφώς εντονότερη από τα ωσμωτικά διαλύματα 55% και 50% γλυκερόλης. Επίσης η θερμοκρασία επηρεάζει την

πρόσληψη στερεών καθώς στους 55°C, η πρόσληψη στερεών είναι υψηλότερη συγκριτικά με τους 35°C και 45°C. Τέλος παρατηρείται, όπως και στην απώλεια νερού ότι σημαντικό ρόλο παίζει και η αναλογία του ωσμωτικού μέσου προς το αγγούρι, καθώς στην αναλογία 1:5 (w/w) παρουσιάζεται υψηλότερη πρόσληψη στερεών.

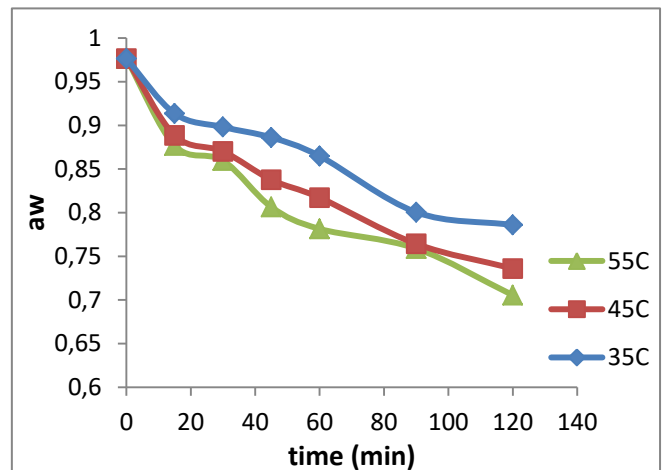
6.1.3.2 Ενεργότητα νερού, aw

Στα παρακάτω σχήματα (6.27) – (6.30) παρουσιάζεται η ελάττωση της τιμής της ενεργότητας του νερού στα δείγματα αγγουριού ύστερα από ωσμωτική προκατεργασία σε ωσμωτικό διάλυμα 50%, 55% και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55°C και σε αναλογία 1:3 και 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικό διάλυμα.

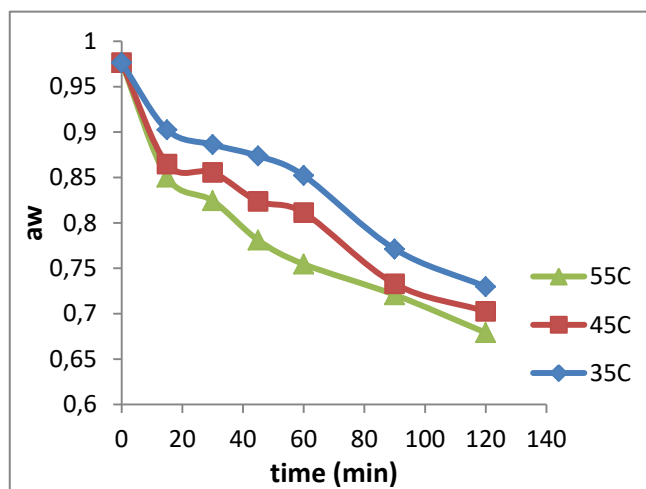
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%

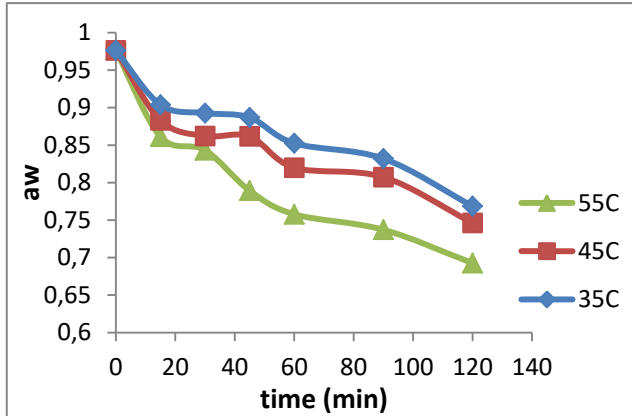


γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%

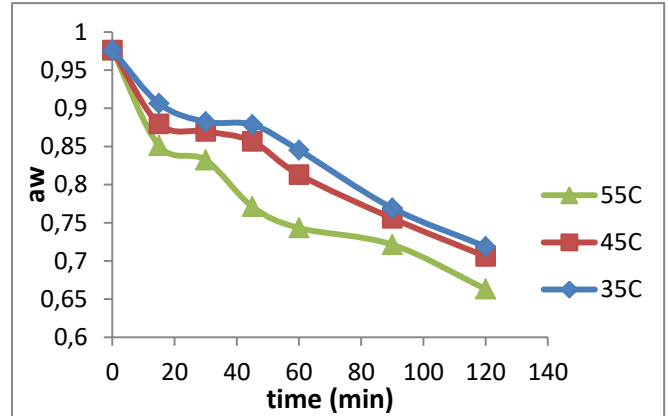


Σχήμα 6.27 Ενεργότητα νερού του αγγουριού μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55° C σε **αναλογία 1:3** αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

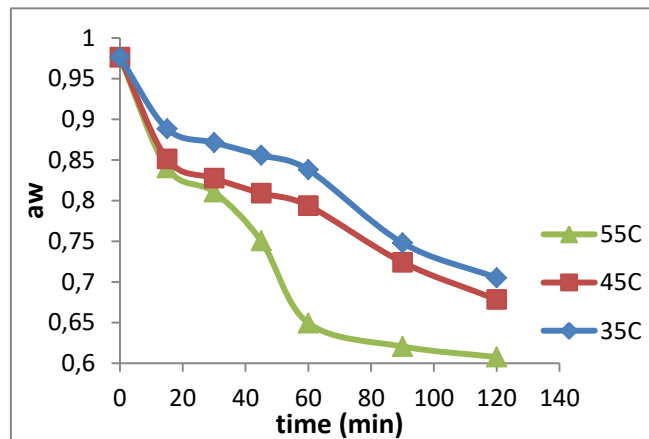
α) Ωσμωτικό διάλυμα 50%



β) Ωσμωτικό διάλυμα 55%

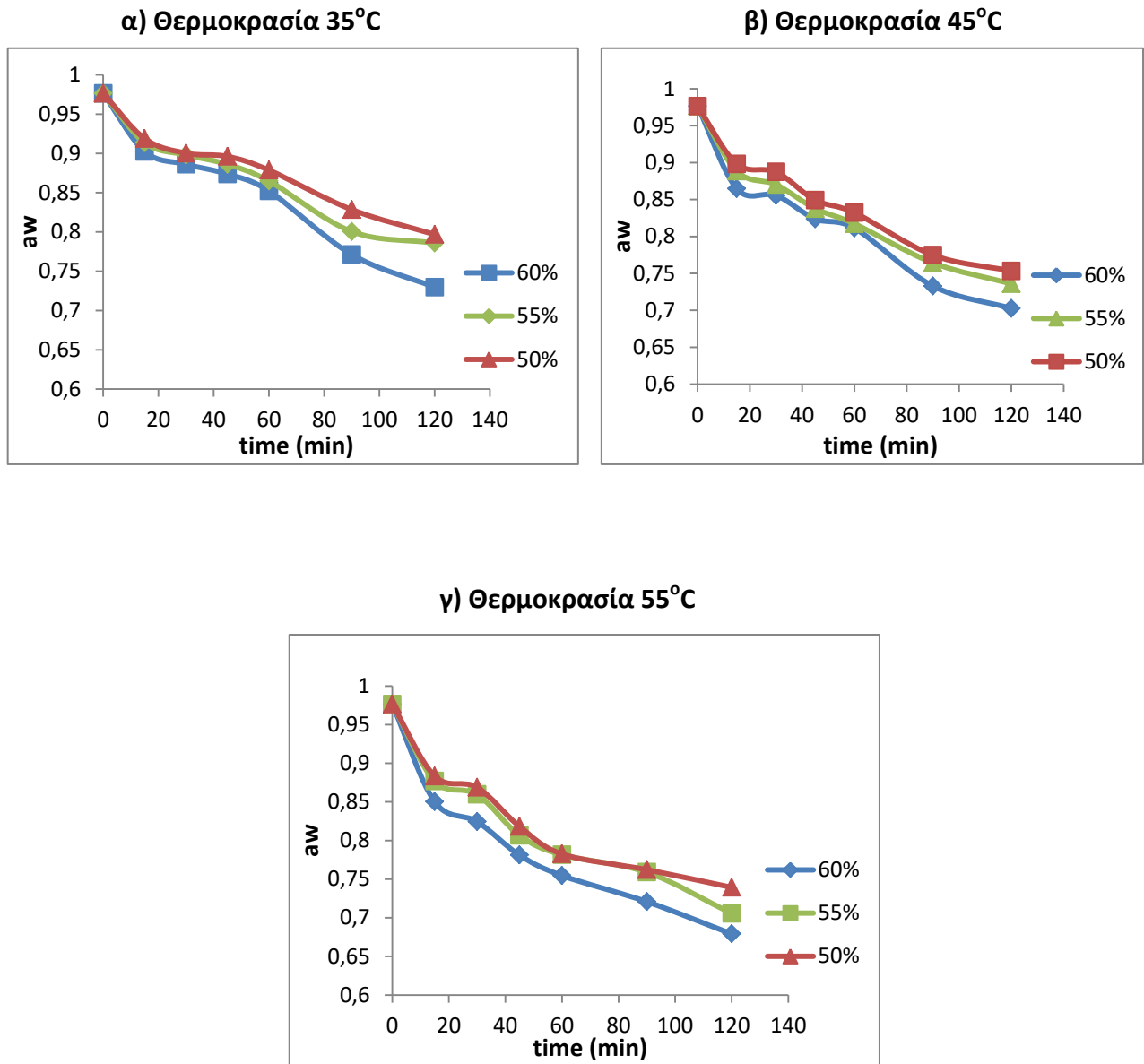


γ) Ωσμωτικό διάλυμα 60%

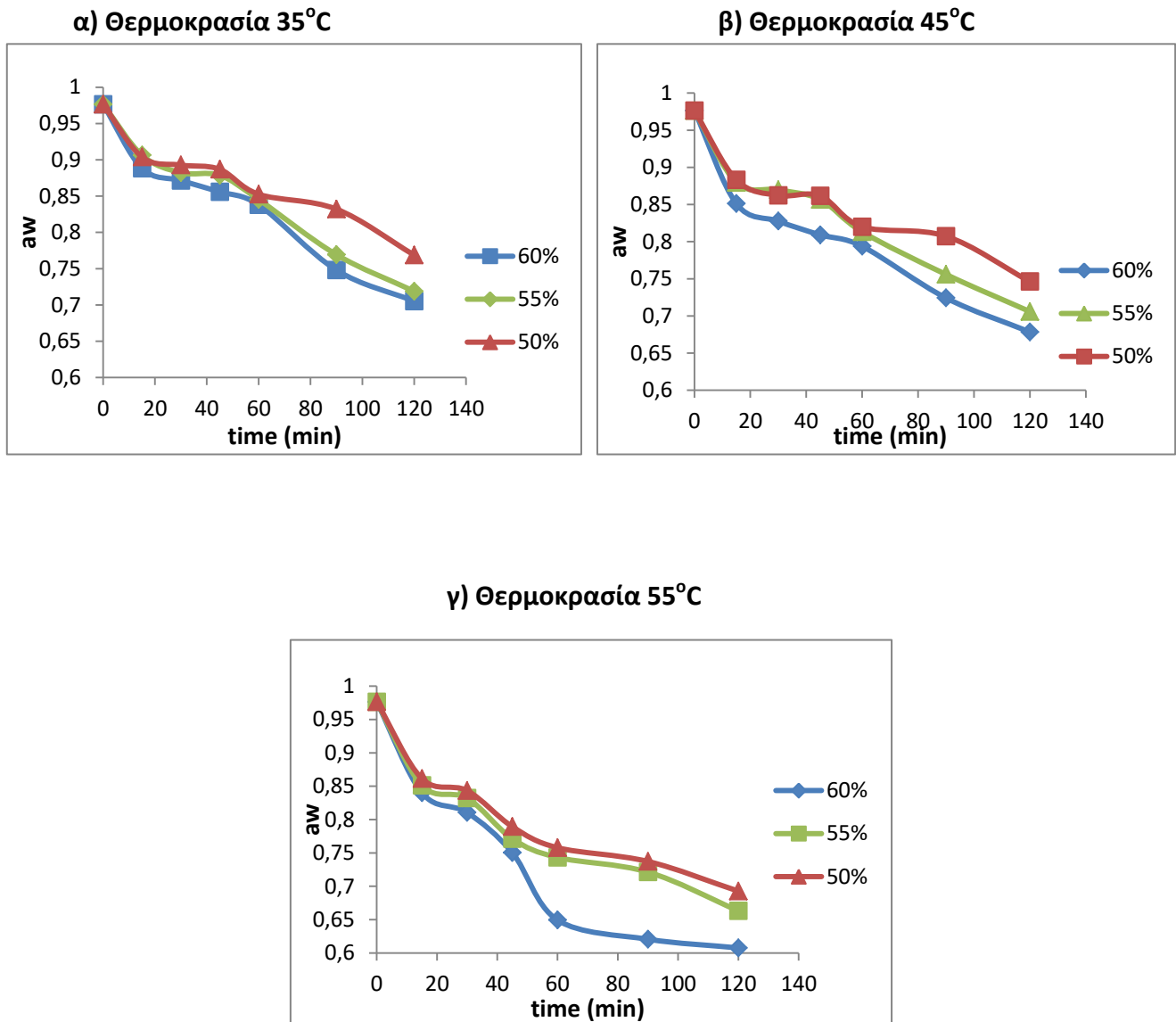


Σχήμα 6.28 Ενεργότητα νερού του αγγουριού μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 50(α), 55(β) και 60%(γ) γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35, 45 και 55° C σε **αναλογία 1:5** αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

Παρατηρείται ότι στην αναλογία 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικό διάλυμα η ελάττωση της ενεργότητας του νερού των δειγμάτων του αγγουριού είναι πιο απότομη, από ότι στην αναλογία 1:3.



Σχήμα 6.29 Ενεργότητα νερού του αγγουριού μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε **αναλογία 1:3** αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.



Σχήμα 6.30 Ενεργότητα νερού του αγγουριού μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε θερμοκρασίες 35(α), 45(β) και 55°C(γ) σε αναλογία 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

Κατά την διάρκεια της ωσμωτικής προκατεργασίας η ενεργότητα του νερού των δειγμάτων αγγουριού που εμβαπτιστήκαν στο ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης παρουσιάζει σημαντική μείωση. Είναι φανερό ότι και η ενεργότητα του νερού επηρεάζεται πολύ από την θερμοκρασία ,την συγκέντρωση αλλά και την αναλογία του ωσμωτικού διαλύματος. Συγκεκριμένα είναι φανερό ότι σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες

και συγκεντρώσεις ωσμωτικού διαλύματος, αλλά και σε μεγαλύτερη αναλογία (1:5) ο ρυθμός ελάττωσης της ενεργότητας του νερού είναι πολύ εντονότερος.

6.1.3.3 Συντελεστές Διάχυσης

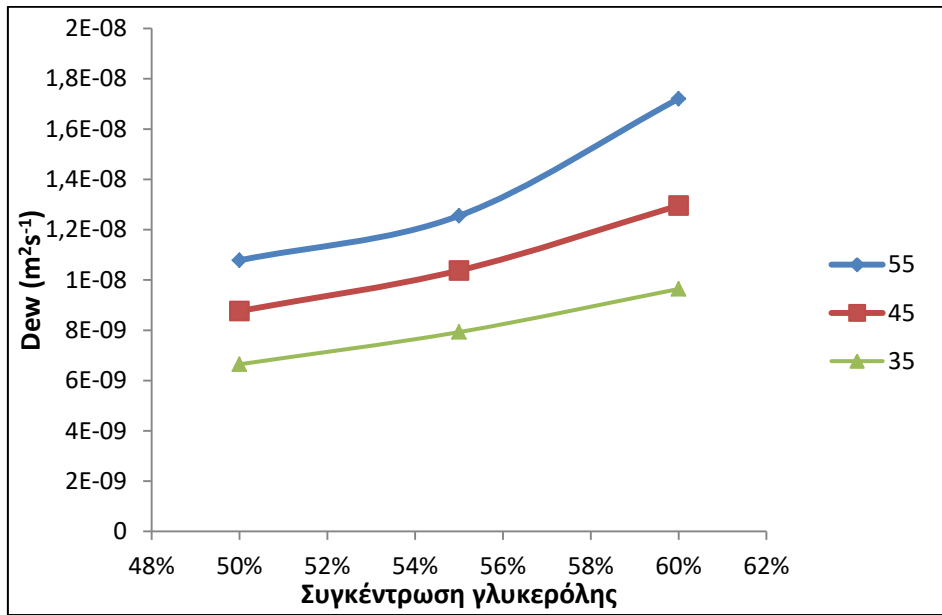
Οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών παρουσιάζονται στους πίνακες (6.6) και (6.7). Οι τιμές των συντελεστών διάχυσης υπολογίστηκαν μέσω του μοντέλου μεταφοράς μάζας κατά το 2^ο νόμο του Fick (Εξίσωση 5.6 και 5.7).

Πίνακας 6.7. Συντελεστές διάχυσης ενέργεια ενεργοποίησης των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού (D_{ew}) και την πρόσληψη στερεών (D_{es}) για ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος.

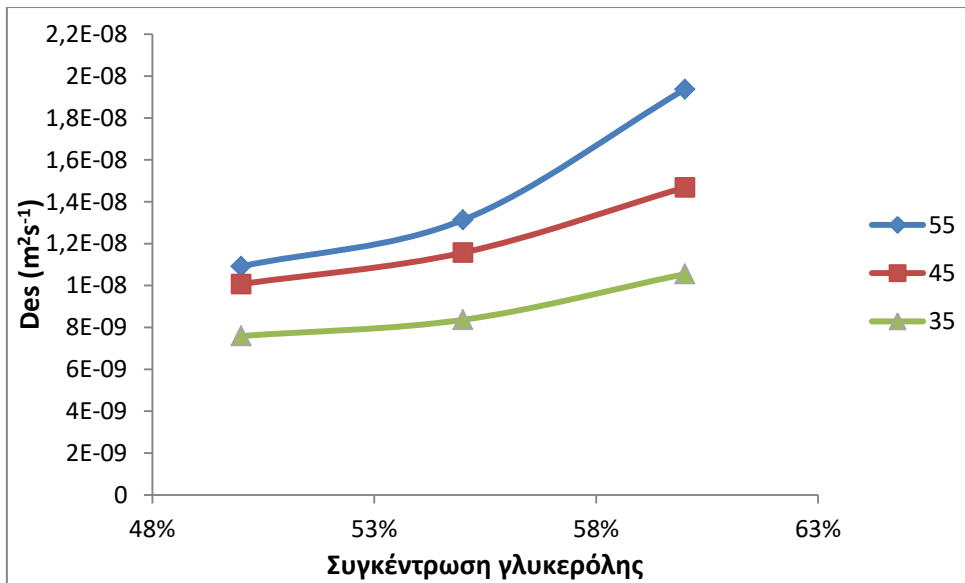
Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{ew} (m^2 \cdot s^{-1})$			Ea (kJ/mol)
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$6,65 \cdot 10^{-9}$	$8,76 \cdot 10^{-9}$	$1,08 \cdot 10^{-8}$	19,30
55% γλυκερόλη	$7,93 \cdot 10^{-9}$	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$1,26 \cdot 10^{-8}$	20,33
60% γλυκερόλη	$9,64 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,72 \cdot 10^{-8}$	24,32

Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{es} (m^2 \cdot s^{-1})$			Ea (kJ/mol)
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$7,59 \cdot 10^{-9}$	$1,01 \cdot 10^{-8}$	$1,09 \cdot 10^{-8}$	15,35
55% γλυκερόλη	$8,36 \cdot 10^{-9}$	$1,16 \cdot 10^{-8}$	$1,31 \cdot 10^{-8}$	19,02
60% γλυκερόλη	$1,05 \cdot 10^{-8}$	$1,47 \cdot 10^{-8}$	$1,94 \cdot 10^{-8}$	25,54

Από τον πίνακα (6.3) φαίνεται ότι η ενέργεια ενεργοποίησης αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης. Αύξηση της ενέργεια ενεργοποίησης σημαίνει αύξηση της εξάρτησης του συντελεστή διάχυσης από την θερμοκρασία. Η επίδραση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος στο συντελεστή διάχυσης για την απώλεια νερού των δειγμάτων αγγουριού σε αναλογία 1:3 παρουσιάζεται στα διαγράμματα (6.31) και (6.32).



Σχήμα 6.31 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για απώλεια νερού συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικό διάλυμα.



Σχήμα 6.32 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για πρόσληψη στερεών συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικό διάλυμα.

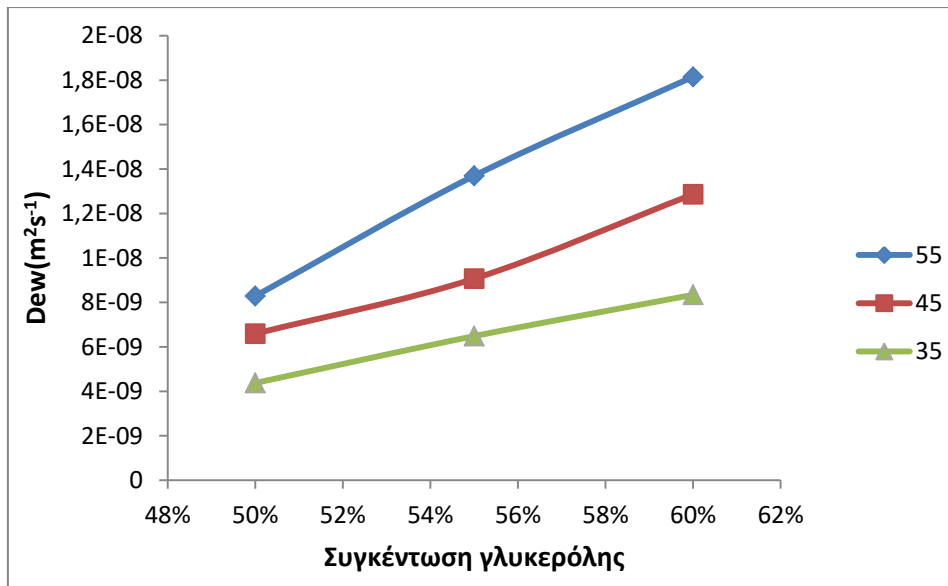
Πίνακας 6.8. Συντελεστές διάχυσης ενέργεια ενεργοποίησης των συντελεστών διάχυσης για για την απώλεια νερού (D_{ew}) και την πρόσληψη στερεών (D_{es}) για ωσμωτικά διαλύματα 50, 55 και 60% γλυκερόλης σε αναλογία 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικού διαλύματος

Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{ew} (m^2 \cdot s^{-1})$			Ea (kJ/mol)
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$4,37 \cdot 10^{-9}$	$6,59 \cdot 10^{-9}$	$8,28 \cdot 10^{-9}$	26,90
55% γλυκερόλη	$6,48 \cdot 10^{-9}$	$9,07 \cdot 10^{-9}$	$1,37 \cdot 10^{-8}$	31,36
60% γλυκερόλη	$8,34 \cdot 10^{-8}$	$1,29 \cdot 10^{-8}$	$1,81 \cdot 10^{-8}$	32,67

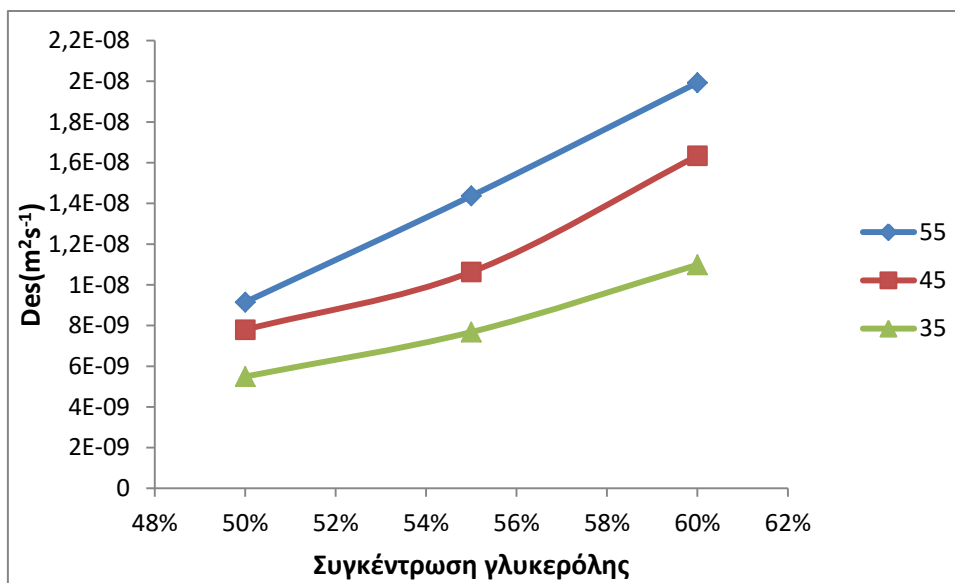
Ωσμωτικό διάλυμα	$D_{es} (m^2 \cdot s^{-1})$			Ea (kJ/mol)
	35°C	45°C	55°C	
50% γλυκερόλη	$5,49 \cdot 10^{-9}$	$7,8 \cdot 10^{-9}$	$9,15 \cdot 10^{-9}$	21,50
55% γλυκερόλη	$7,68 \cdot 10^{-9}$	$1,06 \cdot 10^{-8}$	$1,44 \cdot 10^{-8}$	25,10
60% γλυκερόλη	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,63 \cdot 10^{-8}$	$1,99 \cdot 10^{-8}$	26,31

Όπως και στην αναλογία 1:3 η ενέργεια ενεργοποίησης αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης.

Η επίδραση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος στο συντελεστή διάχυσης για την απώλεια νερού των δειγμάτων αγγουριού σε αναλογία 1:3 παρουσιάζεται στα διαγράμματα (6.33) και (6.34).



Σχήμα 6.33 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για απώλεια νερού συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:5 αγγουριού προς ωσμωτικό διάλυμα.



Σχήμα 6.34 Διάγραμμα συντελεστή διάχυσης για πρόσληψη στερεών συναρτήσει της σύγκεντρωσης γλυκερόλης σε αναλογία 1:3 αγγουριού προς ωσμωτικό διάλυμα.

Από τα σχήματα (6.31)-(6.34) παρατηρείται ότι οι τιμές για τις σταθερές διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών αυξάνονται με αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα της θερμοκρασίας καθώς και της αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος προς το αγγούρι. Επιπλέον, όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής διάχυσης. Επίσης με αύξηση της συγκέντρωσης σε γλυκερόλη

αυξάνεται και η ενέργεια ενεργοποίησης. Η ενέργεια ενεργοποίησης εκφράζει την εξάρτηση του ρυθμού διάχυσης με την θερμοκρασία.

Οι συντελεστές διάχυσης της απώλειας νερού και της πρόσληψης στερεών κυμαίνονται από $6,65 \cdot 10^{-9}$ έως $1,72 \cdot 10^{-8}$ m²/s και από $7,59 \cdot 10^{-9}$ έως $1,94 \cdot 10^{-8}$ m²/s, αντιστοίχως για αναλογία 1:3, και $4,37 \cdot 10^{-9}$ έως $1,81 \cdot 10^{-8}$ m²/s και από $5,49 \cdot 10^{-9}$ έως $1,99 \cdot 10^{-8}$ m²/s για αναλογία 1:5 κατά την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις επιλεγμένες συνθήκες επεξεργασίας.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές για τους συντελεστές διάχυσης D_{ew} και D_{es} $1,33 \cdot 10^{-8}$ έως $4,33 \cdot 10^{-8}$ m²/s και από $2,27 \cdot 10^{-8}$ έως $3,31 \cdot 10^{-8}$ m²/s, αντίστοιχα, από τους Dermesonliouoglou E. & Taoukis P. (2007) για την ωσμωτική αφυδάτωση αγγουριού σε διαλύματα ολιγοφρουκτόζης. Οι τιμές που υπολογίστηκαν για τους συντελεστές D_{ew} και D_{es} στη παρούσα μελέτη κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα. Οι διαφορές στις τιμές οφείλονται στις διαφορές στις συνθήκες της ωσμωτικής διεργασίας (θερμοκρασία, αναλογία), στα μέσα ωσμωτικού διαλύματος και τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων αγγουριού (μέγεθος και σχήμα δείγματος).

Επιπλέον η επίδραση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη στους συντελεστές διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών όπως και στη τομάτα περιγράφεται από την εξίσωση (6.1):

$$D = D_{50}(T, G) \cdot e^{k(T,G) \cdot (C - C_{ref})} \quad (\text{Εξίσωση 6.1})$$

6.1.3.4 Προσαρμογή μαθηματικού μοντέλου

Η ίδια διαδικασία που εφαρμόστηκε στη τομάτα, ακολουθήθηκε και στο αγγούρι για τη δημιουργία ενός συνδυαστικού μοντέλου, που χρησιμοποιείται για τη μελέτη της συνδυαστικής επίδρασης της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας του ωσμωτικού μέσου καθώς και της αναλογίας αγγουριού - ωσμωτικού μέσου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών.

$$D = (a_1 \cdot G + b_1) \cdot \exp \left[\left(\left(\frac{-(a_2 \cdot (G - G_{ref}) + b_2)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) + \left((a_3 \cdot (G - G_{ref}) + b_3) \exp \left(- \frac{(a_4 \cdot (G - G_{ref}) + b_4)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) \right) \right) \right) \cdot (C - C_{ref}) \right]$$

(Εξίσωση 6.8)

Όπου G η αναλογία αγγουριού προς ωσμωτικό μέσο (w/w)

G_{ref} η αναλογία αναφοράς τομάτας προς ωσμωτικό μέσο (w/w)

C η συγκέντρωση της γλυκερόλης στο ωσμωτικό μέσο (%)

C_{ref} η συγκέντρωση αναφοράς της γλυκερόλης 50% (w/w)

T η θερμοκρασία του ωσμωτικού μέσου (K) και

T_{ref} η θερμοκρασία αναφοράς (K)

R η παγκόσμια σταθερά αερίων (8,314 J/mol·K)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ οι ρυθμοί μεταβολής των $D_0, E_{aD_{50}}, k_{Tref}, E_{a_k}$ συναρτήσει της

αναλογίας τομάτας προς ωσμωτικό μέσο

b_1, b_2, b_3, b_4 οι τιμές των $D_0, E_{aD_{50}}, k_{Tref}, E_{a_k}$ σε συγκέντρωση 50% γλυκερόλης

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να εφαρμοστεί για το προσδιορισμό του συντελεστή διάχυσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση αγγουριού μόνο μέσα σε συγκεκριμένα εύρη παραμέτρων επεξεργασίας:

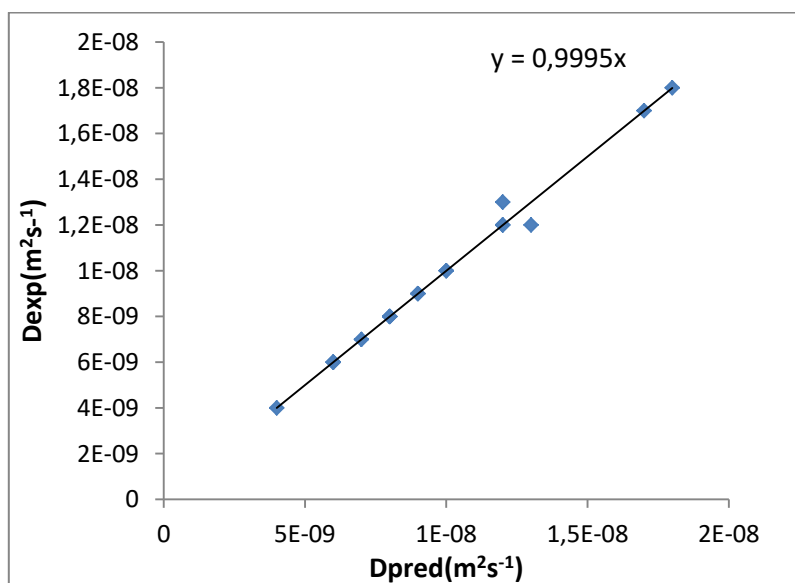
- Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος 35°C - 55°C
- Συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη 50% - 60%
- Αναλογία αγγουριού προς ωσμωτικό μέσο 1:5(w/w) – 1:3(w/w)

Οι τιμές των συντελεστών, καθώς και οι συντελεστές συσχέτισης για την απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών του αγγουριού παρουσιάζονται στους πίνακες (6.8) και (6.9).

Πίνακας 6.9. Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης (6.1) και των συντελεστών συσχέτισης για την απώλεια νερού στα δείγματα αγγουριού.

Συντελεστές	
α_1	$1,3 \cdot 10^{-8}$
b_1	$8 \cdot 10^{-9}$
α_2	-72622,1
b_2	19352
α_3	-18,771
b_3	4,4655
α_4	63473,2
b_4	16184,3

Το μοντέλο της εξίσωσης (6.8) προβλέπει την εξάρτηση των συντελεστών διάχυσης απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών για τα δείγματα αγγουριού, με τις παραμέτρους που μελετήθηκαν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Η συσχέτιση των πειραματικών τιμών διάχυσης με τις προβλεπομένες τιμές διάχυσης παρουσιάζονται στα σχήματα (6.35) και (6.36).

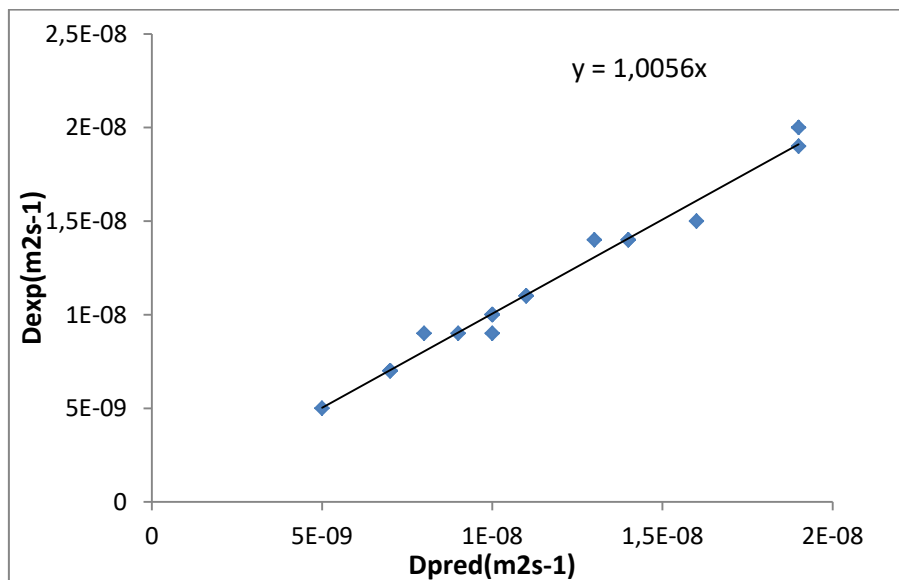


Σχήμα 6.35 Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων τιμών διάχυσης για την απώλεια νερού δειγμάτων αγγουριού με τις πειραματικές τιμές.

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι η συσχέτιση των πειραματικών με τις προβλεπόμενες τιμές του συντελεστή διάχυσης απώλειας νερού για τα δείγματα αγγουριού είναι πάρα πολύ καλή. Η τιμή της κλίσης της ευθείας (0,9995) τείνει στη μονάδα.

Πίνακας 6.10. Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης (6.1) και των συντελεστών συσχέτισης για τη πρόσληψη στερεών στα δείγματα αγγουριού.

Συντελεστές	
α_1	$1,4 \cdot 10^{-8}$
b_1	$9 \cdot 10^{-9}$
α_2	-105816
b_2	13459,3
α_3	-26,176
b_3	4,4587
α_4	253155
b_4	27537,7



Σχήμα 6.36 Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων τιμών διάχυσης για την πρόσληψη στερεών δειγμάτων αγγουριού με τις πειραματικές τιμές.

Όπως και στο σχήμα (6.35), η συσχέτιση των πειραματικών με τις προβλεπόμενες τιμές του συντελεστή διάχυσης πρόσληψης στερεών για τα δείγματα αγγουριού είναι πάρα πολύ καλή. Η τιμή της κλίσης της ευθείας (1,0056) είναι πολύ κοντά στη μονάδα.

Έτσι για παράδειγμα για τιμές στο εύρος που εφαρμόζεται η (6.8), π.χ. $T=42^{\circ}\text{C}$, $C=58\%$ και $G=1:4$ οι υπολογιζόμενες τιμές των συντελεστών διάχυσης του αγγουριού είναι $D_{ew} = 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $D_{es} = 1,58 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ για την απώλεια νερού και τη πρόσληψη στερεών αντίστοιχα.

Για την επαλήθευση της εξίσωσης (6.8) θα ήταν σκόπιμο να γίνουν ανεξάρτητα πειράματα σε τιμές ως οι παραπάνω και να συγκριθούν οι προβλεπόμενες τιμές των συντελεστών διάχυσης με τις πειραματικές.

Επιπλέον υπολογίστηκαν η ενέργεια ενεργοποίησης του D_{50} , $E_{aD_{50}}$ και η ενέργεια ενεργοποίησης του ρυθμού μεταβολής του συντελεστή διάχυσης E_{a_k} για την απώλεια νερού και τη πρόσληψη στερεών σύμφωνα με τις εξισώσεις (6.4) και (6.7).

Πίνακας 6.11. Τιμές των ενεργειών ενεργοποίησης για την απώλεια νερού στα δείγματα αγγουριού.

Απώλεια νερού (WL)	Αναλογία αγγουριού προς ωσμωτικό μέσο	
	1:5	1:3
E_{a_k} (kJ/mol)	7,72	15,97
$E_{aD_{50}}$ (kJ/mol)	29,03	19,59

Πίνακας 6.12. Τιμές των ενεργειών ενεργοποίησης για τη πρόσληψη στερεών στα δείγματα αγγουριού.

Πρόσληψη στερεών (SG)	Αναλογία αγγουριού προς ωσμωτικό μέσο	
	1:5	1:3
E_{a_k} (kJ/mol)	6,22	26,69
$E_{aD_{50}}$ (kJ/mol)	27,56	13,81

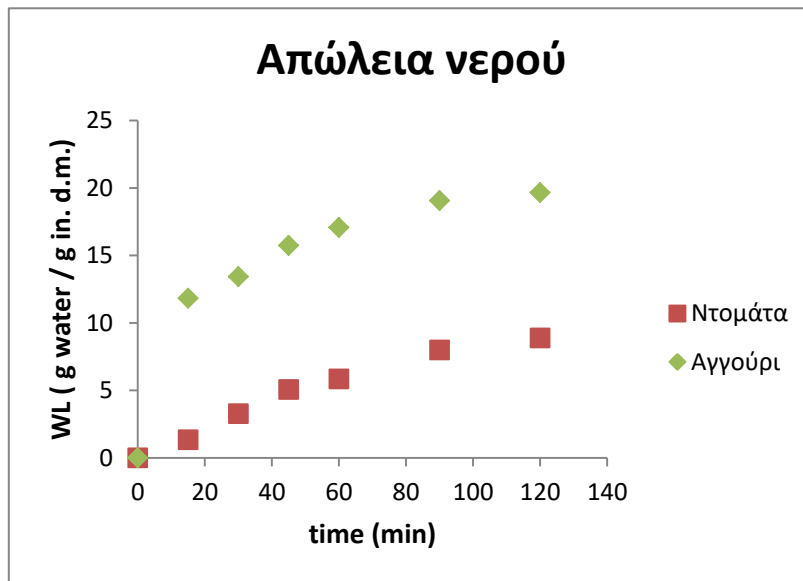
6.1.4 Συμπέρασμα

Από τα αποτελέσματα για την ωσμωτική αφυδάτωση τομάτας και αγγουριού προέκυψε ότι οι ρυθμοί απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους στην αρχή της διαδικασίας της ώσμωσης και στη συνέχεια προσεγγίζεται ουσιαστικά μια κατάσταση ισορροπίας όπου όλα τα ολικά στερεά και η περιεχόμενη υγρασία αποκτούν σταθερή τιμή. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αντίστοιχες αναφορές. (Biswal et al., 1991, Giannakourou et al., 2003, Kaymak-Ertekin και Cakaloz 1996, Kaymak-Ertekin & Sultanoglu 2000, Kowalska & Lenart 2001, Vijayanand et al., 1995).

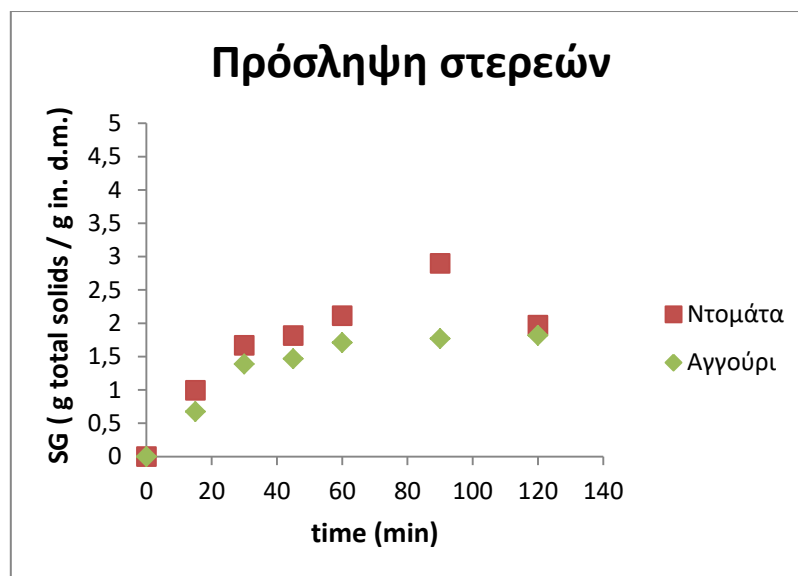
Οι συνθήκες επεξεργασίας που θεωρήθηκαν ως βέλτιστες για την τομάτα και το αγγούρι ήταν η ωσμωτική προκατεργασία σε ωσμωτικό διάλυμα **60% γλυκερόλης για 60min σε θερμοκρασία 35° C με αναλογία τροφίμου – ωσμωτικού διαλύματος 1:3**. Με τις συνθήκες αυτές, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ήταν σε υψηλά επίπεδα, οδηγώντας σε ένα επίπεδο WL/SG που επιτρέπει στα προϊόντα να διατηρούν τη βέλτιστη κατάστασή τους με τις ελάχιστες μεταβολές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους.

Στις επιλεγμένες συνθήκες προεπεξεργασίας τα δείγματα τομάτας είχαν 81% υγρασία και 0,86 ενεργότητα νερού ύστερα από 60 min στους 35°C. Τα δείγματα αγγουριού είχαν 79% υγρασία και 0,85 ενεργότητα νερού.

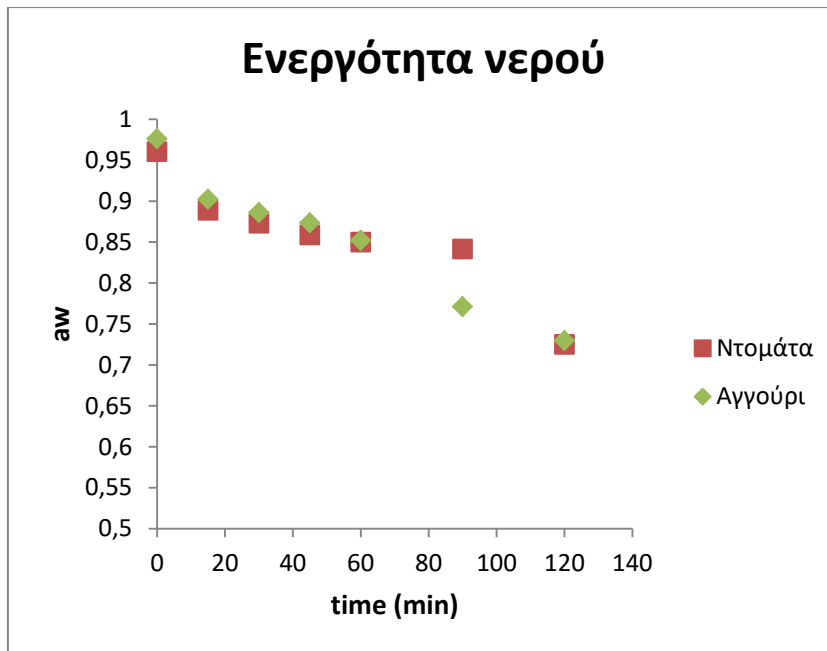
Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 6.37 – 6.39) ακολουθούν τα συνδυαστικά διαγράμματα απώλειας νερού (WL) και πρόσληψης στερεών (SG), αλλά και της ενεργότητας νερού (a_w).



Σχήμα 6.37 Απώλεια νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας και αγγουριού μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 60% γλυκερόλης στους 35°C με αναλογία 1:3.



Σχήμα 6.38 Πρόσληψη στερεών (g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους) τομάτας και αγγουριού μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 60% γλυκερόλης στους 35°C με αναλογία 1:3.



Σχήμα 6.39 Ενεργότητα νερού τομάτας και μετά από εμβάπτιση σε διάλυμα 60% γλυκερόλης στους 35°C με αναλογία 1:3.

Προκύπτει ότι η ωσμωτική προκατεργασία οδηγεί σε σημαντική απώλεια υγρασίας από τα δείγματα της τομάτας και του αγγουριού. Συγκεκριμένα, για τις βέλτιστες συνθήκες που επιλέχθηκαν, στα δείγματα αγγουριού παρατηρήθηκε απώλεια υγρασίας της τάξεως του 17% ενώ στην τομάτα 14%. Το αγγούρι παρουσιάζει μεγαλύτερη απώλεια νερού από την τομάτα, πράγμα το οποίο ήταν αναμενόμενο γιατί περιέχει περισσότερο νερό από την τομάτα. Συγκεκριμένα στις βέλτιστες συνθήκες, η απώλεια νερού στα δείγματα αγγουριού ήταν 17,07 gH₂O/g αρχικού βάρους ενώ στην ντομάτα 5,85 gH₂O/g αρχικού βάρους. Επίσης η πρόσληψη στερεών κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα στα δείγματα τομάτας και αγγουριού.

Οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού και στερεών που υπολογίζονται μέσω του μοντέλου μεταφοράς μάζας κατά το 2^ο νόμο του Fick για την τομάτα είναι $3,74 \cdot 10^{-9}$ και $4,18 \cdot 10^{-9} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $9,64 \cdot 10^{-9}$ και $1,05 \cdot 10^{-8} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ για το αγγούρι αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χρήσιμο εργαλείο για την πρόρρηση της ποσότητας του νερού που απομακρύνεται και των στερεών που προσλαμβάνονται από τα λαχανικά σε επιλεγμένες συνθήκες της διεργασίας.

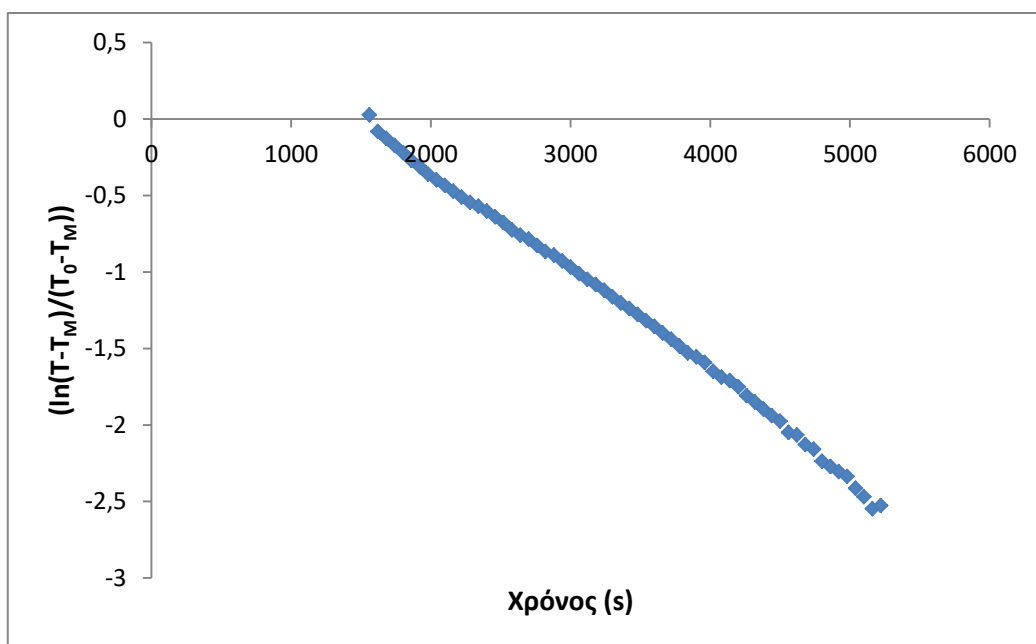
6.2 Δεύτερη Θεματική Ενότητα : Ξήρανση ωσμωτικά προκατεργασμένων δειγμάτων τομάτας και αγγουριού.

6.2.1 Σκοπός

Στην Δεύτερη Θεματική ενότητα των Πειραμάτων, έγινε ξήρανση σε ωσμωτικά προκατεργασμένα δείγματα τομάτας και αγγουριού και σε δείγματα μάρτυρες (control), με σκοπό την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών επεξεργασίας με ξήρανση έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του χρόνου ξήρανσης σε όσο το δυνατόν ηπιότερες συνθήκες επεξεργασίας.

6.2.2 Υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής στον ξηραντήρα

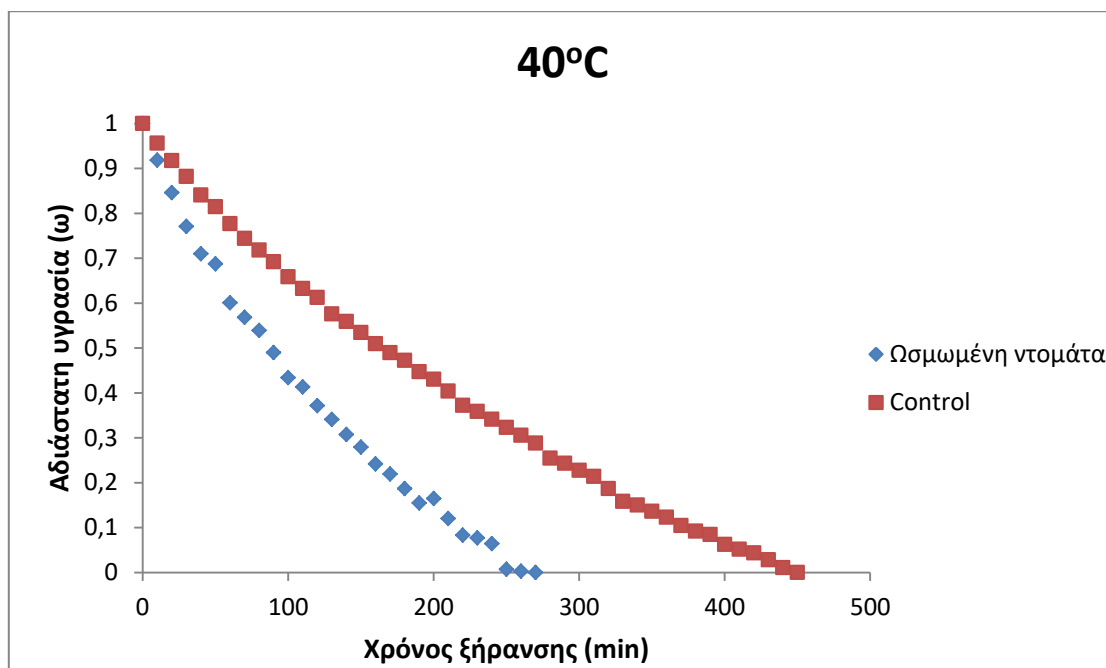
Στα δεδομένα αύξησης της θερμοκρασίας της πλάκας αλουμινίου στον ξηραντήρα, έγινε γραμμική προσαρμογή στην εξίσωση (5.16). Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μορφή της εξίσωσης αυτής, όπως προκύπτει από την καταγραφή των δεδομένων θερμοκρασίας. Από την κλίση του διαγράμματος καθώς και από τις γνωστές φυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες της πλάκας, ο συντελεστής συναγωγής υπολογίστηκε ίσος με $h=11.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.



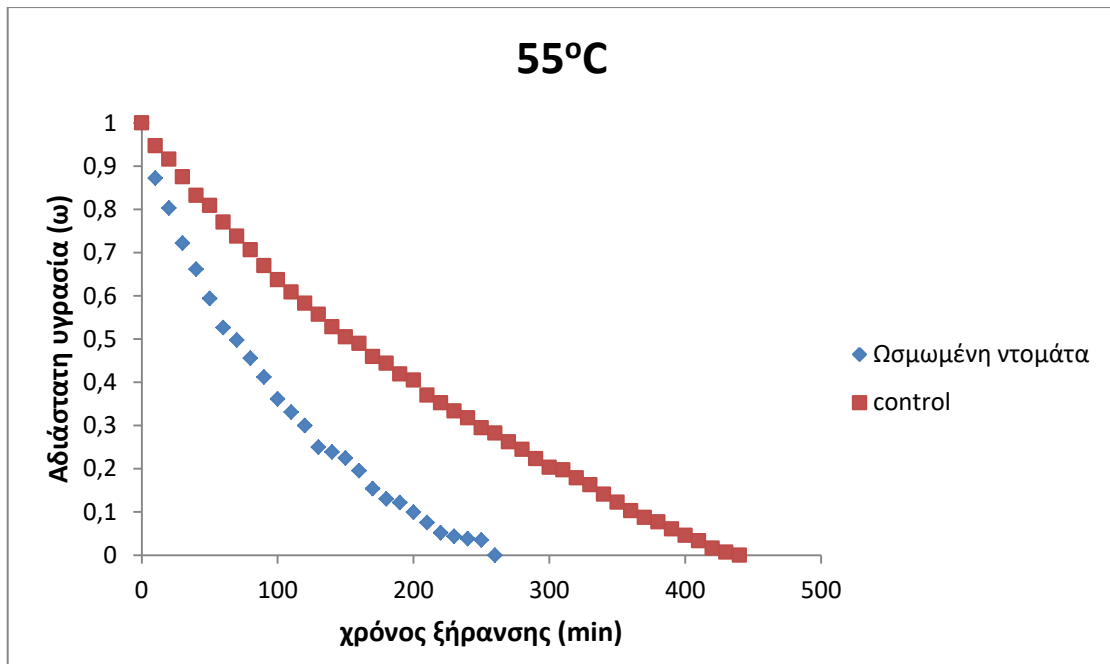
Διάγραμμα 6.40 Μεταβολή του λογαρίθμου της αδιάστατης θερμοκρασίας της πλάκας αλουμινίου με το χρόνο σε σταθερή θερμοκρασία ξηραντήρα 55°C.

6.2.3 Τομάτα: Προσδιορισμός καμπυλών ξήρανσης και φαινόμενων συντελεστών διάχυσης

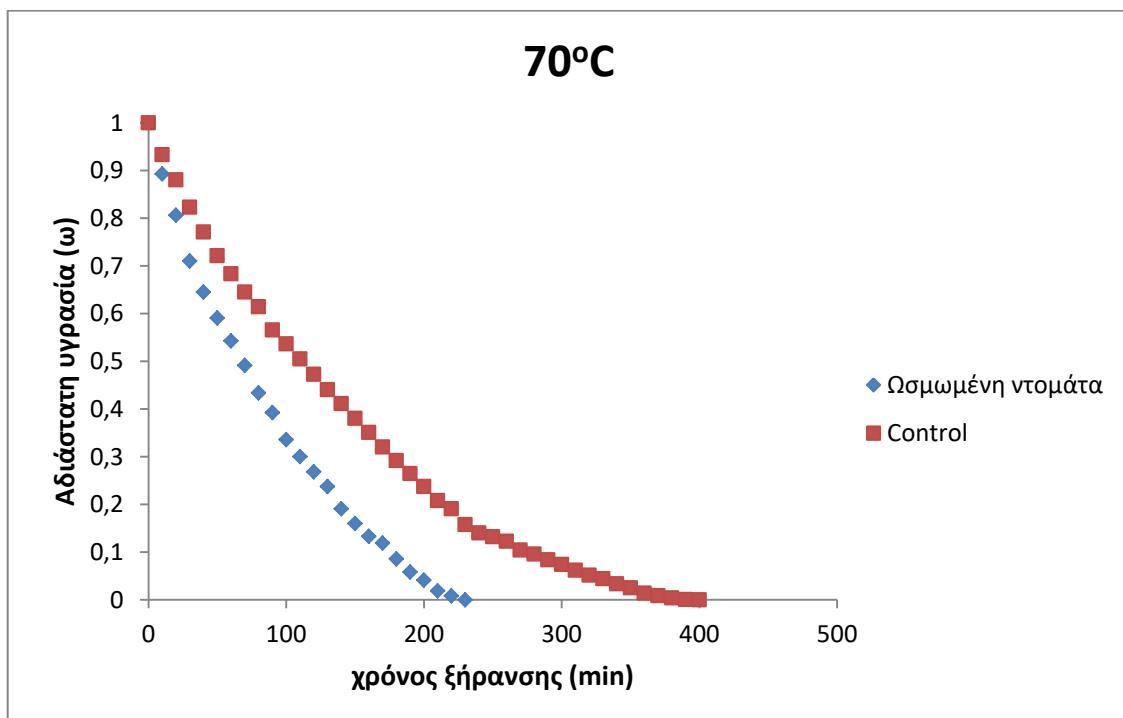
Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες ξήρανσης της τομάτας σε θερμοκρασίες από 40°C, 55°C και 70°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα (Σχήματα 6.34-6.37). Οι καμπύλες ξήρανσης κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια της εξίσωσης (5.12).



Σχήμα 6.41 Καμπύλες ξήρανσης στους 40°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.



Σχήμα 6.42 Καπύλες ξήρανσης στους 55°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.



Σχήμα 6.43 Καπύλες ξήρανσης στους 70°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

Παρατηρείται ότι και στις τρεις θερμοκρασίες ο ρυθμός ξήρανσης των ωσμωτικά επεξεργασμένων δειγμάτων τομάτας είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τον ρυθμό των ανεπεξέργαστων δειγμάτων (Control). Γενικά, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως

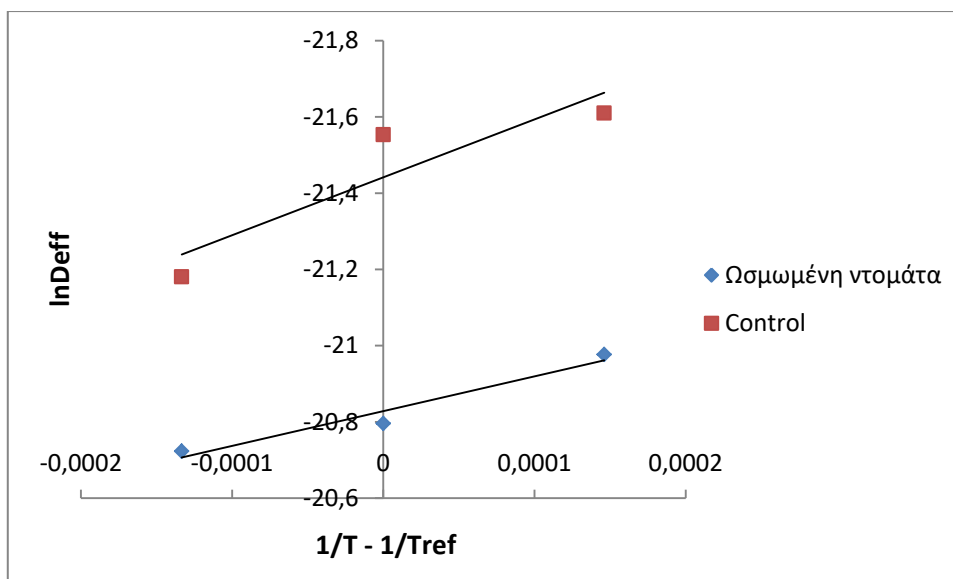
αποτέλεσμα μεγαλύτερο ρυθμό ξήρανσης της ωσσωμένης τομάτας. Ένας παραγόντας που εμποδίζει την αύξηση του ρυθμού ξήρανσης των ανεπεξέργαστων δειγμάτων είναι το 'case hardening'. Η σκλήρυνση του φλοιού της τομάτας εμποδίζει την διάχυση της περιεχόμενης υγρασίας με αποτέλεσμα μειωμένο ρυθμό ξήρανσης των ανεπεξέργαστων δειγμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι φαινόμενοι συντελεστές διάχυσης D_{eff} από τον 2^ο νόμο του Fick και οι ενέργειες ενεργοποίησης E_a από τον νόμο του Arrhenius (Εξίσωση 5.14) για τα ανεπεξέργαστα και ωσσωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας για όλες τις θερμοκρασίες ξήρανσης.

Πίνακας 6.5. Φαινόμενοι συντελεστές διάχυσης για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσσωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας

$D_{eff} (m^2 \cdot s^{-1})$			
	40°C	55°C	70°C
Ωσσωμένη τομάτα	$7,76 \cdot 10^{-10} \pm 6,58 \cdot 10^{-11}$	$9,30 \cdot 10^{-10} \pm 5,78 \cdot 10^{-11}$	$1,00 \cdot 10^{-9} \pm 8,44 \cdot 10^{-11}$
Control	$4,12 \cdot 10^{-10} \pm 3,20 \cdot 10^{-11}$	$4,36 \cdot 10^{-10} \pm 3,28 \cdot 10^{-11}$	$6,33 \cdot 10^{-10} \pm 4,44 \cdot 10^{-11}$

Παρατηρείται ότι ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης D_{eff} της τομάτας είναι μεγαλύτερος στα ωσσωμένα δείγματα τομάτας από ότι στα ανεπεξέργαστα. Επίσης ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης παρουσιάζει σημαντική αύξηση με αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης.



Σχήμα 6.44 Διάγραμμα Arrhenius για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας

Πίνακας 6.6 Ενέργεια ενεργοποίησης E_a του φαινόμενου συντελεστή διάχυσης D_{eff} και συντελεστής συσχέτισης για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

	E_a (kJ/mol)	R^2
Ωσμωμένη τομάτα	7,59	0,9542
Control	12,62	0,8275

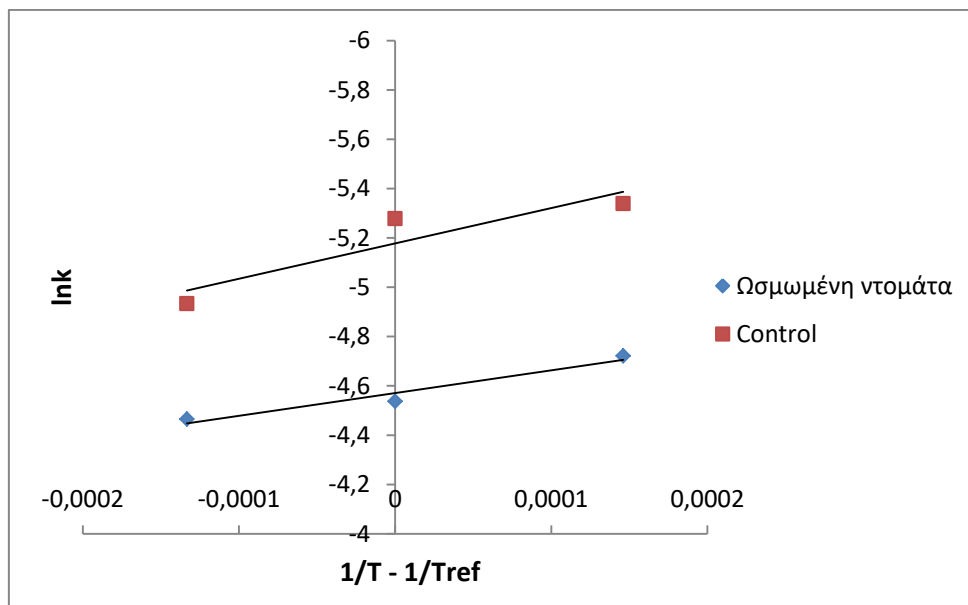
Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ενέργεια ενεργοποίησης του φαινόμενου συντελεστή διάχυσης D_{eff} είναι σημαντικά μικρότερη στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας από ότι στα ανεπεξέργαστα δείγματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι σταθερές ρυθμού ξήρανσης από το εκθετικό μοντέλο 1^{ης} τάξης και οι ενέργειες ενεργοποίησης E_a από τον νόμο του Arrhenius (Εξίσωση 5.10) για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

Πίνακας 6.7 Σταθερές ρυθμού ξήρανσης Arrhenius για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

$k \text{ (min}^{-1}\text{)}$			
	40°C	55°C	70°C
Ωσμωμένη τομάτα	0,0089 ± 0,0004	0,0107 ± 0,0003	0,0115 ± 0,0004
Control	0,0048 ± 0,0002	0,0051 ± 0,0002	0,0072 ± 0,0002

Παρατηρείται ότι η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης k παρουσιάζει τις ίδιες μεταβολές με τον φαινόμενο συντελεστή διάχυσης D_{eff} της τομάτας. Η σταθερά ξήρανσης της τομάτας είναι μεγαλύτερη στα ωσμωμένα δείγματα τομάτας από ότι στα ανεπεξέργαστα. Επίσης παρουσιάζει σημαντική αύξηση με αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης.



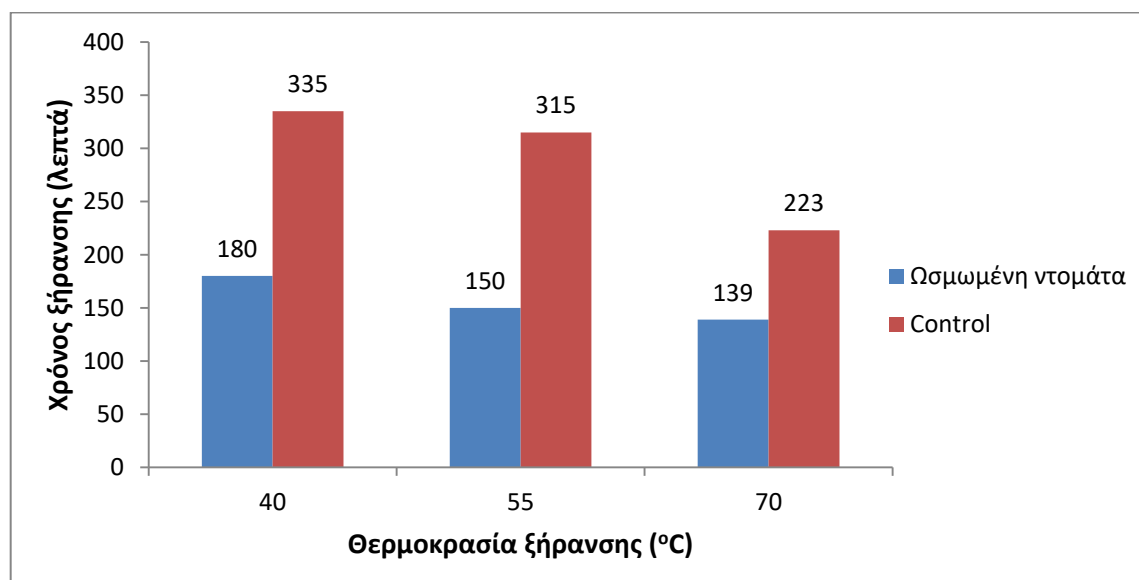
Σχήμα 6.45 Διάγραμμα Arrhenius για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

Πίνακας 6.8. Ενέργεια ενεργοποίησης E_a της σταθεράς ρυθμού ξήρανσης και συντελεστής συσχέτισης για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

	E_a (kJ/mol)	R^2
Ωσμωμένη τομάτα	7,67	0,952
Control	11,93	0,8404

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ενέργεια ενεργοποίησης της σταθεράς του ρυθμού ξήρανσης είναι σημαντικά μικρότερη στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας από ότι στα ανεπεξέργαστα δείγματα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο χρόνος ξήρανσης, για 20% εναπομένουσα υγρασία, για ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας και για ανεπεξέργαστα δείγματα. Ο χρόνος ξήρανσης υπολογίστηκε από την εξίσωση (4.3) $-kt=\ln(\omega)$. Η αδιάστατη υγρασία ω στους υπολογισμούς ήταν σταθερή και ίση με 0,2.



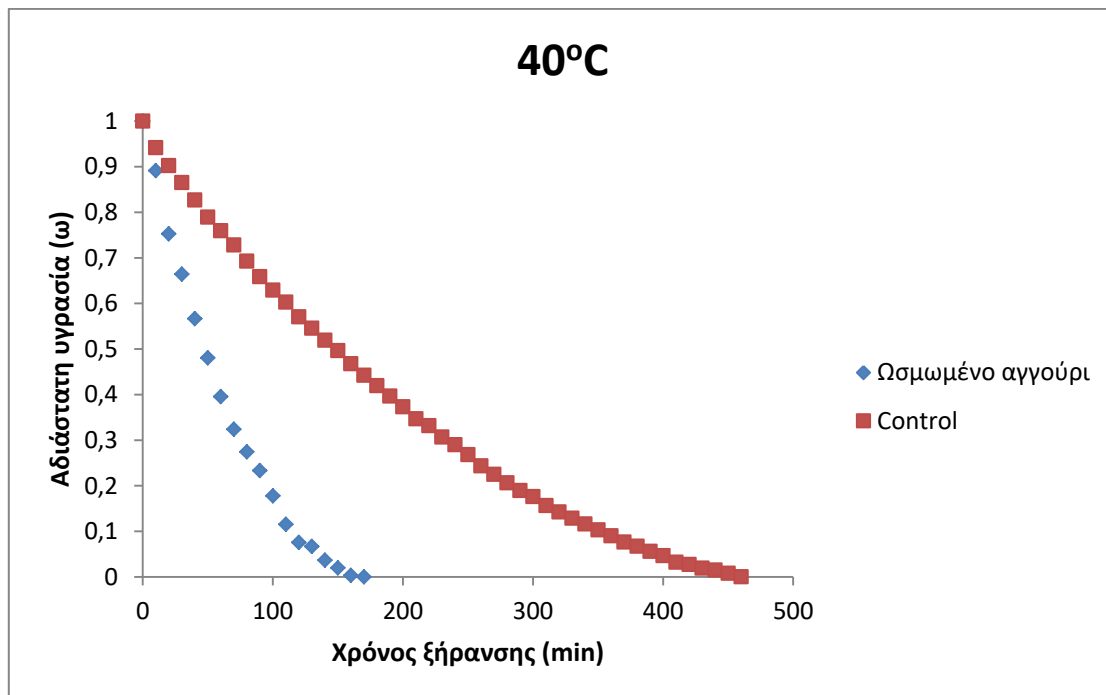
Σχήμα 6.46 Χρόνοι ξήρανσης για ανεπεξέργαστα (20% εναπομένουσα υγρασία) και για ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

Παρατηρώντας το διάγραμμα του χρόνου ξήρανσης δειγμάτων τομάτας συναρτήσκει της θερμοκρασίας ξήρανσης συμπεραίνεται ότι για κάθε θερμοκρασία ξεχωριστά ο χρόνος ξήρανσης των δειγμάτων μειώνεται σημαντικά όταν τα δείγματα έχουν

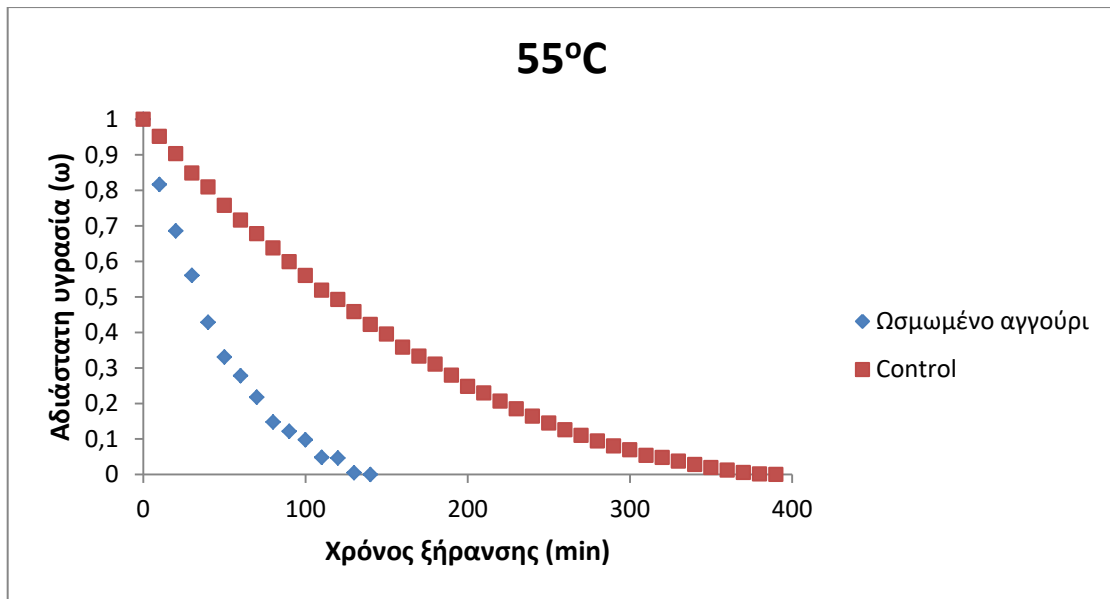
υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση. Επίσης παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ξήρανσης τόσο μειώνεται ο χρόνος ξήρανσης των δειγμάτων τομάτας. Συγκεκριμένα ο χρόνος ξήρανσης στους 40°C μειώνεται κατά 155 λεπτά, στους 55°C κατά 165 λεπτά και στους 70°C κατά 84 λεπτά.

6.2.4 Αγγούρι: Προσδιορισμός καμπυλών ξήρανσης και φαινόμενων συντελεστών διάχυσης

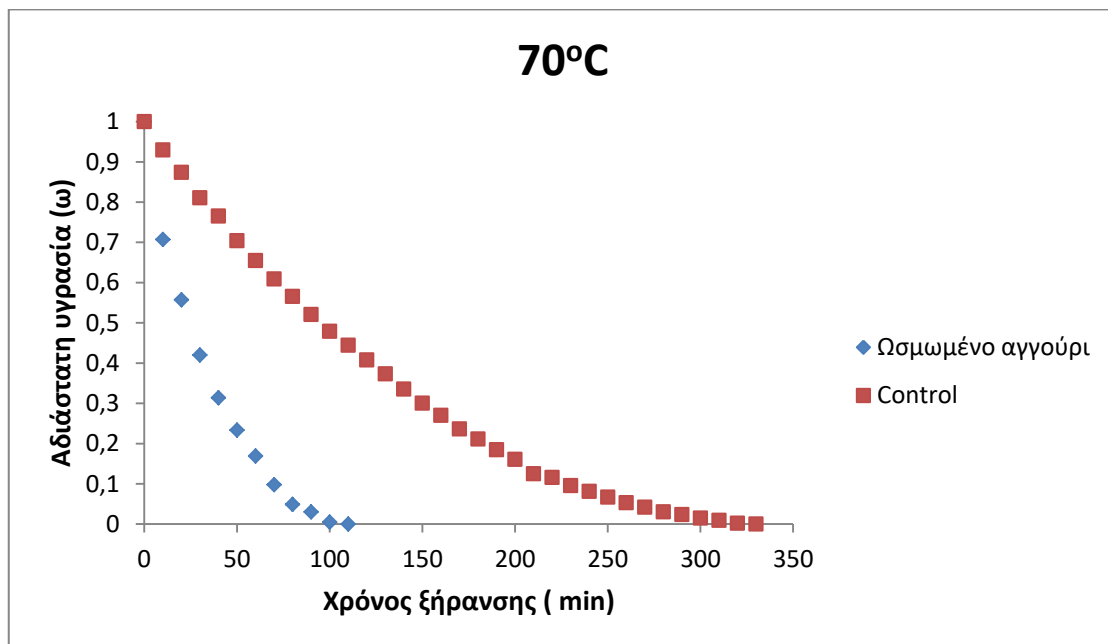
Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες ξήρανσης του αγγουριού σε θερμοκρασίες από 40°C, 55°C και 68°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα (Σχήματα 6.4-6.40). Οι καμπύλες ξήρανσης κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια της εξίσωσης (5.12).



Σχήμα 6.47 Καμπύλες ξήρανσης στους 40°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.



Σχήμα 6.48 Καύλες ξήρανσης στους 55°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.



Σχήμα 6.49. Καύλες ξήρανσης στους 70°C για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.

Παρατηρείται ότι και στις τρεις θερμοκρασίες ο ρυθμός ξήρανσης των ωσμωτικά επεξεργασμένων δειγμάτων αγγουριού είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τον ρυθμό των ανεπεξέργαστων δειγμάτων (Control). Γενικά, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο ρυθμό ξήρανσης του ωσμωμένου αγγουριού. Όπως και στην

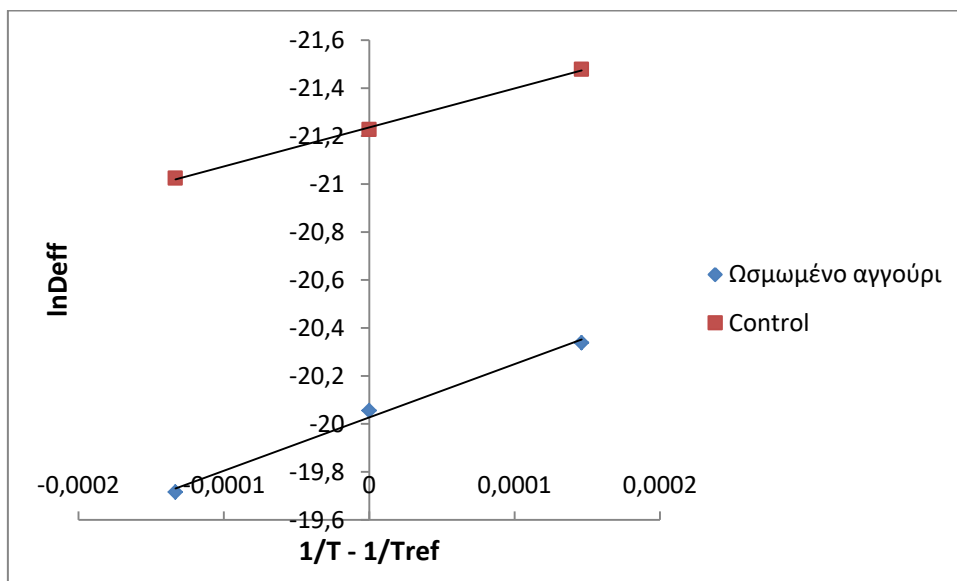
τομάτα , η σκλήρυνση του φλοιού του αγγουριού εμποδίζει την διάχυση της περιεχόμενης υγρασίας με αποτέλεσμα μειωμένο ρυθμό ξήρανσης των ανεπεξέργαστων δειγμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι φαινόμενοι συντελεστές διάχυσης D_{eff} από τον 2^ο νόμο του Fick και οι ενέργειες ενεργοποίησης E_a από τον νόμο του Arrhenius (Εξίσωση 5.10) για τα ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού για όλες τις θερμοκρασίες ξήρανσης.

Πίνακας 6.9. Φαινόμενοι συντελεστές διάχυσης για τα ανεπεξέργαστα και τα ωσμωτικά δείγματα αγγουριού

$D_{eff} (m^2 \cdot s^{-1})$			
	40°C	55°C	70°C
Ωσμωμένο αγγούρι	$1,47 \cdot 10^{-9} \pm 1,65 \cdot 10^{-10}$	$1,95 \cdot 10^{-9} \pm 1,88 \cdot 10^{-10}$	$2,74 \cdot 10^{-9} \pm 2,23 \cdot 10^{-10}$
Control	$4,70 \cdot 10^{-10} \pm 3,26 \cdot 10^{-11}$	$6,04 \cdot 10^{-10} \pm 4,95 \cdot 10^{-11}$	$7,40 \cdot 10^{-10} \pm 6,24 \cdot 10^{-11}$

Παρατηρείται ότι ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης D_{eff} του αγγουριού είναι μεγαλύτερος στα ωσμωμένα δείγματα αγγουριού από ότι στα ανεπεξέργαστα. Επίσης ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης παρουσιάζει σημαντική αύξηση με αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης.



Σχήμα 6.50 Διάγραμμα Arrhenius για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.

Πίνακας 6.10 Ενέργεια ενεργοποίησης E_a του φαινόμενου συντελεστή διάχυσης D_{eff} και συντελεστής συσχέτισης για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.

	E_a (kJ/mol)	R^2
Ωσμωμένο αγγούρι	18,49	0,9937
Control	13,52	0,9988

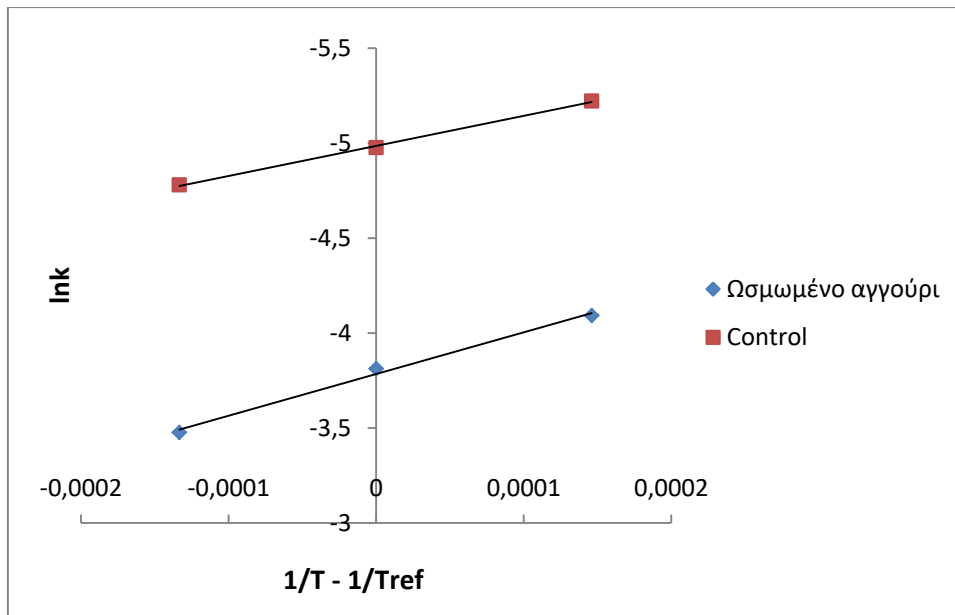
Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ενέργεια ενεργοποίησης του φαινόμενου συντελεστή διάχυσης D_{eff} είναι μεγαλύτερη στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας από ότι στα ανεπεξέργαστα δείγματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι σταθερές ρυθμού ξήρανσης από το εκθετικό μοντέλο 1^{ης} τάξης και οι ενέργειες ενεργοποίησης E_a από τον νόμο του Arrhenius (Εξίσωση 5.10) για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.

Πίνακας 6.11 Σταθερές ρυθμού ξήρανσης Arrhenius για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.

	k (min ⁻¹)		
	40°C	55°C	70°C
Ωσμωμένο αγγούρι	0,0167 ± 0,0009	0,0221 ± 0,0008	0,0309 ± 0,0012
Control	0,0054 ± 0,0002	0,0069 ± 0,0003	0,0084 ± 0,0003

Παρατηρείται ότι η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης k παρουσιάζει τις ίδιες μεταβολές με τον φαινόμενο συντελεστή διάχυσης D_{eff} του αγγουριού. Η σταθερά ξήρανσης του αγγουριού είναι μεγαλύτερη στα ωσμωμένα δείγματα αγγουριού από ότι στα ανεπεξέργαστα. Επίσης παρουσιάζει σημαντική αύξηση με αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης.



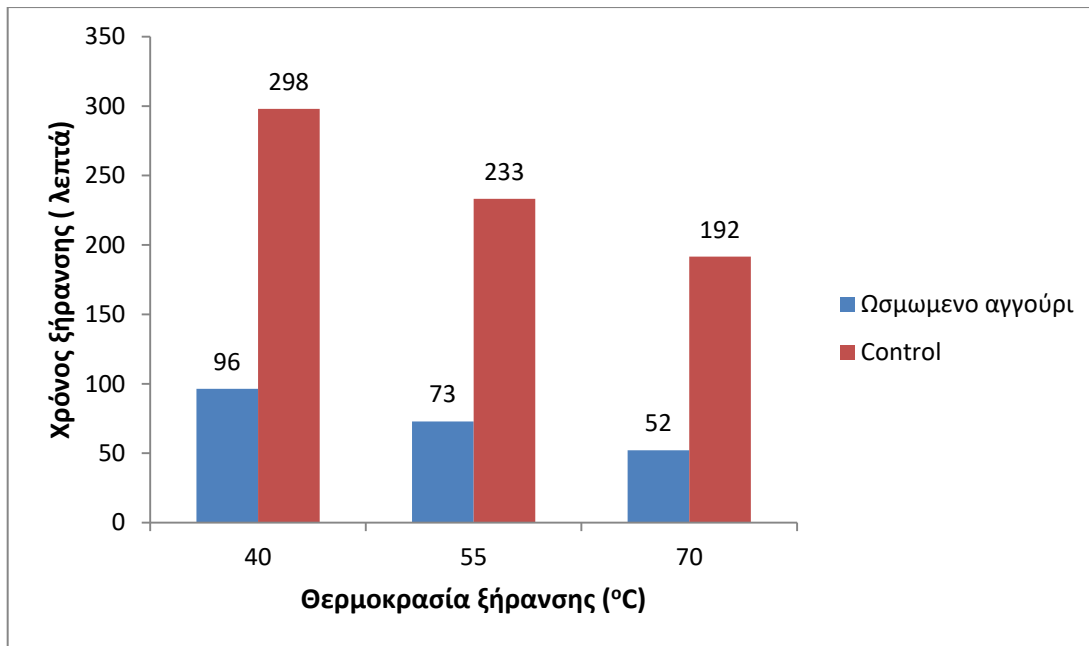
Σχήμα 6.51 Διάγραμμα Arrhenius για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας.

Πίνακας 6.12 Ενέργεια ενεργοποίησης E_a της σταθεράς ρυθμού ξήρανσης και συντελεστής συσχέτισης για ανεπεξέργαστα και ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.

	E_a (kJ/mol)	R^2
Ωσμωμένο αγγούρι	18,20	0,9939
Control	13,15	0,9986

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ενέργεια ενεργοποίησης της σταθεράς του ρυθμού ξήρανσης είναι μεγαλύτερη στα ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού από ότι στα ανεπεξέργαστα δείγματα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο χρόνος ξήρανσης, για 20% εναπομένουσα υγρασία, για ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού και για ανεπεξέργαστα δείγματα. Ο χρόνος ξήρανσης υπολογίστηκε από την εξίσωση (4.3) $-kt = \ln(\omega)$. Η αδιάστατη υγρασία ω στους υπολογισμούς ήταν σταθερή και ίση με 0,2.



Σχήμα 6.52 Χρόνοι ξήρανσης για ανεπεξέργαστα (20% εναπομένουσα υγρασία) και για ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα αγγουριού.

Παρατηρώντας το διάγραμμα του χρόνου ξήρανσης δειγμάτων αγγουριού συναρτήσεως της θερμοκρασίας ξήρανσης συμπεραίνεται ότι για κάθε θερμοκρασία ξεχωριστά ο χρόνος ξήρανσης των δειγμάτων μειώνεται σημαντικά όταν τα δείγματα έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση. Επίσης παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ξήρανσης τόσο μειώνεται ο χρόνος ξήρανσης των δειγμάτων αγγουριού. Συγκεκριμένα ο χρόνος ξήρανσης στους 40°C μειώνεται κατά 202 λεπτά, στους 55°C κατά 160 λεπτά και στους 70°C κατά 140 λεπτά.

Ο συνδυασμός της ωσμωτικής προκατεργασίας και της επεξεργασίας με ξήρανση είχε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Ο χρόνος της ξήρανσης μειώθηκε σημαντικά στα δείγματα της τομάτας και του αγγουριού, με αποτέλεσμα μικρότερες απαιτήσεις χρόνου και ενέργειας. Επίσης η διατηρησιμότητα των δειγμάτων αυξήθηκε, αφού η μείωση της ενεργότητας εμποδίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

6.2.5 Ανάλυση κόστους διεργασίας

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση κόστους για τα δείγματα τομάτας και αγγουριού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και ξήρανση. Πιο συγκεκριμένα για τα επεξεργασμένα με ωσμωτική αφυδάτωση δείγματα, σύμφωνα με την τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τους και λαμβάνοντας υπόψη τις υπολογιζόμενες τιμές για την μεταφορά μάζας που επιτυγχάνεται κατά την διεργασία, το κόστος του ωσμωτικού υλικού για την παραγωγή μιας παρτίδας ανέρχεται στα 0,083 €/kg λαχανικού. Όσον αφορά την διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος, θεωρώντας ότι επανασύσταται μετά από κάθε χρήση με κατάλληλη ποσότητα υδατανθράκων, το συνολικό κόστος ανέρχεται σε 0,115 €/kg λαχανικών.

Αντίστοιχα το κόστος της ξήρανσης των ωσμωτικά προκατεργασμένων λαχανικών εξαρτάται από την σχετική υγρασία, το χρόνο και τη θερμοκρασία ξήρανσης. Σύμφωνα με τους παραπάνω παράγοντες το κόστος της διεργασίας ανέρχεται στα 0,5 €/kg λαχανικών, συμπεριλαμβανομένου του παγίου κόστους κτήσεως μιας τέτοιας συσκευής με χρόνο αποπληρωμής περίπου 5 χρόνια.

Συνεπώς, το συνολικό κόστος με την συνδυαστική χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης και συμβατικής ξήρανσης με αέρα, ανέρχεται στα 0,60 €/kg λαχανικών, το οποίο θεωρείται αποδεκτό λαμβάνοντας υπόψη την σημαντική αύξηση του χρόνου διατήρησης που επιτυγχάνεται και τη μείωση του χρόνου ξήρανσης των ωσμωμένων λαχανικών.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα λαχανικά είναι απαραίτητα συστατικά της ανθρώπινης διατροφής και έχουν πολλά οφέλη στην υγεία και στην διατροφή του καταναλωτή. Όμως αποτελούν μία ομάδα τροφίμων εξαιρετικά ευαίσθητη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο τη μελέτη της επίδρασης της τεχνολογίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της συμβατικής ξήρανσης σε προϊόντα τομάτας και αγγουριού. Η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο ξήρανσης των δειγμάτων, με αποτέλεσμα μικρότερες απαιτήσεις χρόνου και ενέργειας. Πιο αναλυτικά:

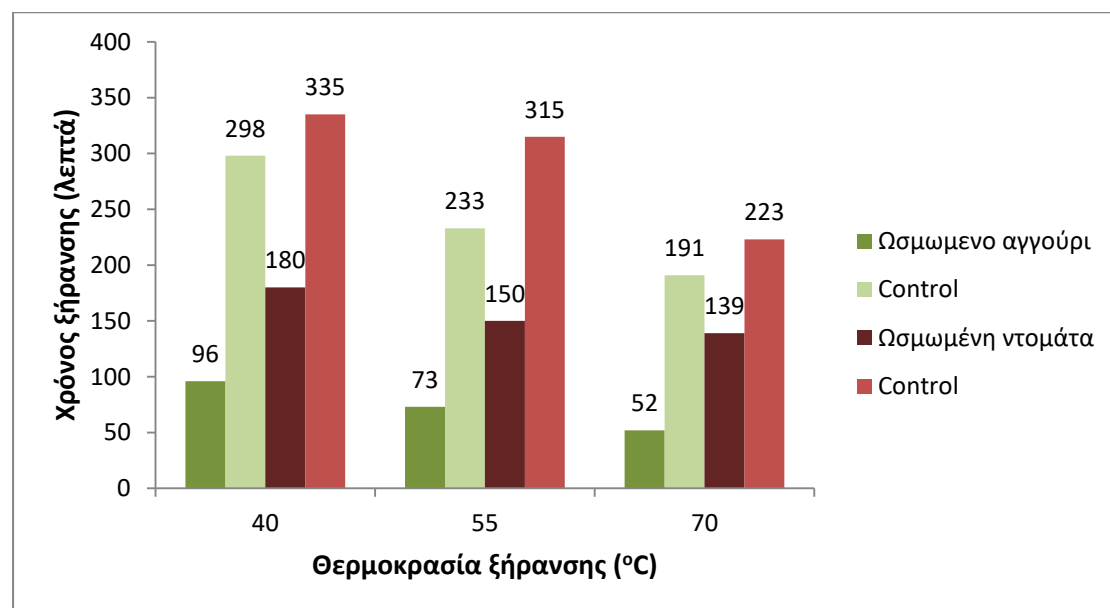
Κατά την **Πρώτη Θεματική Ενότητα** πραγματοποιήθηκε σε φρέσκα δείγματα τομάτας και αγγουριού ωσμωτική αφυδάτωση σε διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας (συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος 50-60% γλυκερόλη, χρόνος προκατεργασίας από 15-120min, θερμοκρασίας 35-55°C και αναλογίας τροφίμου-ωσμωτικού μέσου 1:3 και 1:5). Οι συνθήκες επεξεργασίας που θεωρήθηκαν οι βέλτιστες ήταν η ωσμωτική προκατεργασία σε ωσμωτικό διάλυμα 60% (w/w) γλυκερόλης για 60min σε θερμοκρασία 35°C και σε αναλογία τροφίμου-ωσμωτικού διαλύματος 1:3. Κατά το διάστημα αυτό, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ήταν σε υψηλά επίπεδα, οδηγώντας σε ένα επίπεδο απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών WL/SG που επιτρέπει στο προϊόν να διατηρεί τη βέλτιστη κατάστασή του με τις ελάχιστες μεταβολές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του (WL= 5,85 g H₂O/g αρχικού βάρους, SG=2,113 g στερεών/g αρχικού βάρους, WL/SG=2,7785 g H₂O/ g στερεών και WL= 17,07 g H₂O/g αρχικού βάρους, SG=1,710 g στερεών/g αρχικού βάρους, WL/SG=9,98 g H₂O/ g στερεών για τη τομάτα και το αγγούρι αντίστοιχα). Στις επιλεγμένες συνθήκες προεπεξεργασίας τα δείγματα τομάτας είχαν τελικά 81% υγρασία και 0,86 ενεργότητα νερού και τα δείγματα αγγουριού 79% υγρασία και 0,85 ενεργότητα νερού. Οι αντίστοιχες αρχικές τιμές ήταν 95% υγρασία και 0,96 ενεργότητα νερού για τα δείγματα τομάτας και για δείγματα αγγουριού 96% υγρασία και 0,98 ενεργότητα νερού. Υπολογίστηκαν οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια και την πρόσληψη στερεών μέσω του μοντέλου μεταφοράς μάζας κατά το 2^ο νόμο του Fick για τη τομάτα και το αγγούρι.

Προσαρμόστηκε ένα συνδυαστικό μαθηματικό μοντέλο με σκοπό τον υπολογισμό των τιμών των συντελεστών διάχυσης D_{ew} και D_{es} για την απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, συναρτήσει της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος, τη συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου και την αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο. Το μαθηματικό μοντέλο παρουσιάζεται παρακάτω (Εξίσωση 6.8).

$$D = (a_1 \cdot G + b_1) \cdot \exp \left[\left(\left(\left(\frac{(a_2 \cdot (G - G_{ref}) + b_2)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) + \right) \right) \right) \cdot (C - C_{ref}) \right) \right]$$

(Εξίσωση 6.8)

Κατά την **Δεύτερη Θεματική Ενότητα** έγινε μελέτη της επίδρασης που έχει η ξήρανση στις βέλτιστες συνθήκες προκατεργασίας με ωσμωτική αφυδάτωση (60% γλυκερόλης για 60min σε 35°C με αναλογία τροφίμου-ωσμωτικού διαλύματος 1:3). Υπολογίστηκε ο συντελεστής συναγωγής του ξηραντήρα ίσος με $h=11,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ και ο χρόνος ξήρανσης, για 20% εναπομένουσα υγρασία σε ωσμωτικά προκατεργασμένα και ανεπεξέργαστα δείγματα τομάτας και αγγουριού (Σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1 Χρόνοι ξήρανσης για ανεπεξέργαστα (20% εναπομένουσα υγρασία) και για ωσμωτικά επεξεργασμένα δείγματα τομάτας και αγγουριού.

Παρατηρήθηκε ότι ο χρόνος ξήρανσης στους 40°C μειώνεται κατά 155 λεπτά, στους 55°C κατά 165 λεπτά και στους 70°C κατά 84 λεπτά για τα δείγματα τομάτας και στους 40°C μειώνεται κατά 202 λεπτά, στους 55°C κατά 160 λεπτά και στους 70°C κατά 140 λεπτά στα δείγματα αγγουριού.

Προκύπτει ότι η ωσμωτική προκατεργασία οδηγεί σε σημαντική απώλεια υγρασίας από τα δείγματα της τομάτας και του αγγουριού. Συγκεκριμένα, για τις βέλτιστες συνθήκες που επιλέχθηκαν, στα δείγματα αγγουριού παρατηρήθηκε απώλεια υγρασίας της τάξεως του 17% ενώ στην τομάτα 14%. Το αγγούρι παρουσιάζει μεγαλύτερη απώλεια νερού από την τομάτα, πράγμα το οποίο ήταν αναμενόμενο γιατί περιέχει περισσότερο νερό από την τομάτα. Επίσης η πρόσληψη στερεών κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα στα δείγματα τομάτας και αγγουριού. Οι τιμές των συντελεστών διάχυσης για την απώλεια νερού και στερεών που υπολογίζονται μέσω του μοντέλου μεταφοράς μάζας κατά το 2^ο νόμο του Fick για την τομάτα είναι $3,74 \cdot 10^{-9}$ και $4,18 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ και $9,64 \cdot 10^{-9}$ και $1,05 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ για το αγγούρι αντίστοιχα.

Ο συνδυασμός της ωσμωτικής προκατεργασίας και της επεξεργασίας με ξήρανσης είχε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Ο χρόνος της ξήρανσης μειώθηκε σημαντικά στα δείγματα της τομάτας και του αγγουριού, με αποτέλεσμα μικρότερες απαιτήσεις χρόνου και ενέργειας.

Τέλος, όσον αφορά το κόστος για την συνδυαστική χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ξήρανσης, υπολογίστηκε κοντά στα 0,60 ευρώ/kg έτοιμου προϊόντος, το οποίο θεωρείται αποδεκτό λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση του χρόνου της ξήρανσης και τη σημαντική αύξηση του χρόνου διατήρησης που επιτυγχάνεται.

Είναι πολύ σημαντικό ότι με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής δίνεται η δυνατότητα παρασκευής προϊόντων λαχανικών μεγάλης διάρκειας ζωής. Το καταναλωτικό κοινό αναζητά προϊόντα ποιοτικά και ασφαλή, χωρίς την προσθήκη συντηρητικών ή άλλων ουσιών, έτσι οι βιομηχανίες τροφίμων στρέφονται σε ηπιότερες μεθόδους επεξεργασίας και συντήρησης. Ιδιαίτερα για την επεξεργασία του αγγουριού, αυτή

η συνδυαστική μέθοδος επεξεργασίας δίνει την δυνατότητα παραγωγής ενός καινοτόμου αφυδατωμένου προϊόντος.

Τα νέα προϊόντα τομάτας και αγγουριού που παρήχθησαν, σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση και ξήρανση φέτας δημιούργησαν ένα καινοτόμο αφυδατωμένο προϊόν. Μία χωριάτικη σαλάτα έτοιμη προς κατανάλωση, υψηλής διατροφικής αξίας, χωρίς συντηρητικά, που αποθηκεύεται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία εμποδίων, όπως η χαμηλή ενεργότητα νερού και η σύνθεση χαμηλού pH, σε συνδυασμό με την ξήρανση με αέρα. Το συγκεκριμένο προϊόν έλαβε μέρος στο διαγωνισμό 'ECOTROPHELIA', στον οποίο οι φοιτητές καλούνται να αναπτύξουν καινοτόμα προϊόντα διατροφής, που παρουσιάζουν απαραίτητως στοιχεία οικολογικής καινοτομίας και κατέλαβε τη 2^η θέση. Η επιτυχία αυτής της ιδέας αποδεικνύει τη σύγχρονη τάση για ηπιότερες ενεργειακά και αποτελεσματικότερες μεθόδους επεξεργασίας λαχανικών, για την παραγωγή προϊόντων με υψηλά οργανοληπτικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτείνονται τα ακόλουθα:

- Μελέτη της διάρκειας ζωής, των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών δειγμάτων τομάτας και αγγουριού, που έχουν υποστεί ωσμωτική προκατεργασία και συμβατική ξήρανση με αέρα
- Μελέτη της τεχνολογίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε βιομηχανική κλίμακα, καθώς υπάρχουν ακόμη κάποιοι περιορισμοί που θα πρέπει να ξεπεραστούν, όπως είναι το υψηλό ιξώδες του ωσμωτικού διαλύματος που δεν επιτρέπει αυξήσεις στα επίπεδα ανάδευσης πέρα από ένα όριο
- Μελέτη του κόστους του ωσμωτικού διαλύματος και εύρεση μιας κατάλληλης μεθόδου ανακύκλωσής του,
- Μελέτη της μικροβιακής ανάπτυξης στο ωσμωτικό διάλυμα

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abadias M., Usall J. Anguera M., (2008). Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments, *International Journal of food microbiology*, 123:121-129.
2. Abushita, A.A., Daood, H.G., Biacs, P.A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48:2075-2081.
3. Achanta, S. and Okos, M.R. (1996). Predicting the quality of dehydrated foods and biopolymers – research needs and opportunities. *Drying Technol.* 14(6):1329–1368.
4. Ahmed, I., Qazi, M.I., Jamal S., (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 34:29-43.
5. Amami, E., Fersi, A., Khezami, L., Vorobiev, E., Kechaou N., (2007). Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT Food Science and Technology*, 40:1156–1166.
6. Azoubel, P.M, Murr F.E.X (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 61:291–295.
7. Barbosa-Cánovas G.V., Vega-Mercado H., (1996). *Dehydration of foods*, Chapman & Hall International Thomson Publishing, New York, p.265-266.
8. Belitz, H.-D., Grosch, W. (2000). In: *Food Chemistry 2nd Ed.* Translation from the 4th German Ed. By M.M. Burghagen, D. Hadziyev, P.Hessel, S. Jordan, C.Sprinz. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, USA.
9. Biswal, R.N., Bozorgmehr, K., Tompkins, F.D., Liy, X., (1991). Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science*, 56:1008-1012.
10. Bogner A., Wolf W., (2002). For storage stability and quality of frozen foods. *Focus on nutrition*, p.143-149.

11. Bonazzi, C., Courtois, F., Geneste, C., Pons, B., Lahon, M. C. and Bimbenet, J. J. (1994). Experimental study on the quality of rough rice related to drying conditions. In: Drying '94, Rudolph, V., Keey, R. B., Mujumdar, A. S., Eds. Drying Symposium, Gold Coast, Australia. p. 1031–1036.
12. Chegini, G.R., Ghobadian, B., 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technol.* 23, 657–668.
13. Ciużyńska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., Lenart A., (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science & Technology.* 50:186-192.
14. Conceição Silva, M.A., Corrêa, J.L.G., Silva Z.E., (2010). Application of inverse methods in the osmotic dehydration of acerola. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 45(12): 2477–2484.
15. Contreras, E., Smyrl T.G., (1981). An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14:310–314.
16. Crawford L., Ruff E., (1996). A review of the safety of cold pasteurization through irradiation. *Food control*, 7: 87-97.
17. Crivelli, G., Torreggiani, D., Senesi, E., Forni, E., Bertolo, G., Maestrelli, A. (1989). Researches on the osmotic dehydration of apricots, In: IX Int. Symposium on Apricot Culture, Caserta, Italy, p.146.
18. Da Silva, W.P., Amaral, D.S., Duarte, M.E.M., Mata Mário, E.R.M.C., Silva, C.M.D.P.S., Pinheiro, R.M.M., Pessoa, T., (2013a). Description of the osmotic dehydration and convective drying of coconut (*Cocos nucifera* L) pieces: a three-dimensional approach. *Journal of Food Engineering*, 115(1):121–131.
19. Da Silva, W.P., Silva, C.M.D.P.S., Gama, F.J.A, Gomes J.P. (2014). Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 13(1):67–74.
20. Dalla Rosa M., Bressa F., Mastrocola D., Pittia P., (1995). Use of osmotic treatments to improve the quality of high moisture-minimally processed fruits. Ed. A. Lenart, P.P. Lewicki. *Osmotic dehydration of fruits and vegetables*, Warsaw Agricultural University Press, Warsaw, p. 69.

21. Dalla Rosa M., Giroux F., (2001). Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of Food Engineering*, 49:223–236.
22. Davies, J.N., Hobson, G.E. (1981). The constituents of tomato fruit – The influence of environment, nutrition, and genotype, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15:205-280.
23. Dermesonlouoglou E., Giannakourou, M., Taoukis P. (2005). Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *Journal of Food Engineering*. 78(1):272-280.
24. Dermesonlouoglou E., Giannakourou, M., Taoukis P. (2006). Kinetic modelling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage. *Food Chemistry*. 103(3):985-993.
25. Dermesonlouoglou E., Giannakourou, M., Taoukis P. (2016). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment with alternative osmotic solutes to the shelf life of frozen strawberry. *Food and Bioproducts Processing*. 99:212-221.
26. Dermesonlouoglou E., Pourgouri S., Taoukis P. (2008). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment on the shelf life of frozen cucumber. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9:542–549.
27. Dziezak, J.D., (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technol.* 42 (4), 136–151.
28. Fearherstone, S. (2016). *A complete Course in Canning and Related Processes*, 14th Ed. *Woohead Publishing Series in Food Science Technology and Nutrition*, London, UK, p.199-228.
29. Fennema, O.R., (1996). *Water and Ice*. In: O.R. Fennema Ed. *Food Chemistry*, 3rd edition. Marcel Dekker, Inc., New York, USA. P.17-94.
30. Forni, E., Sormani, E., Scalise S., Torreggiani, D., (1997). The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International*, 30(2):87-94.

31. Garcia, C.C., Mauro, M.A., Kimura M., (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of Food Engineering*, 82(3):284–291.
32. Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery. *Drying Technol.* 26(6):714–725
33. Goula A., Lazarides H., (2012). Modeling of mass and heat transfer during combined processes of osmotic dehydration and freezing (Osmo-Dehydro-Freezing). *Chemical Engineering Science*, p.52–61.
34. Gould, W.A., (1992). *Tomato production, processing and technology*, Third Edition, CTI Publications Inc. USA, p.433-447.
35. Hawlader, M.N.A., et al., (2001). On the steady-state modeling of a two-stage evaporator system. *Int. J. Energy Res.* 25, 859–880.
36. Heldman, D.R., Hartel, R.W., (1997). *Principles of Food Processing*. Chapman and Hall, New York.
37. Huxsoll, C.C., Bolin, H.R., King, A.D. Jr. (1982). Physicochemical changes and treatments for lightly processed fruits and vegetables. In: *Quality factors of fruits and vegetables. Chemistry and Technology*. J.J. Jen Ed. ACS Symposium Series 405, American Society, Washington, D.C. p.203-215.
38. Islam, M.N., Flink, J.N., (1982). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior, *Journal of Technology*, 17:387-403
39. Ispir A., Toğrul D.T (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemistry of Engineering Research and Design*, 87:166-180.
40. Jangam, S.V., (2011). An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. *Drying Technol. Int. J.* 29(12):1343–1357.
41. Kader Adel A., (1992). *Postharvest technology of horticultural crops*, 2nd Ed.

42. Kaymak-Ertekin, F., Cakaloz, T. (1996). Osmotic degydration of peas: Influence of process variables on mass transfer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20:87-104.
43. Khan M.R., (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation—A review.
44. Kim, M.H., (1990). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78:1355-1360.
45. Kowalska, H., Lenart, A., Leszczyk D., (2008). The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 86 (2008), pp. 30–38.
46. Lazarides H., Mavroudis N., (1995). Freeze/thaw effect on mass transfer rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Science*, 60(826–828):857.
47. Lazarides H.N. (1994). Osmotic pre-concentration: Developments and prospects. Ed. R.P. Singh, F.A.R. Oliveira .*Minimal processing of foods and process optimization: An interface*, CRC Press, London, UK.
48. Lazarides H.N. (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. Ed. P. Fito, A. Chiralt, J.M. Barat, W.E.L. Spiess, D. Behsnilian, *Osmotic dehydration and vacuum impregnation: Applications in food industries*, Technomic Publication Corporation, USA, p. 33–42.
49. Lenart A., (1992). Mathematical modelling of osmotic dehydration of apple and carrot.
50. Lenart, A., Lewiski, P.P (1990a). Osmotic dehydration of apples at high temperature. In: *Drying '89*, A.S. Mujumdar. Ed. Hemisphere Publishing Co., New-York, USA, p.501.
51. Lenart, A., Lewiski, P.P (1990b). Osmotic dehydration of carrot at high temperature. In: *Engineering and Foods*, W.E.L. Spies, H. Schubert. Ed. Elsevier Science Publishers, London, UK. p.516.

52. Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., Bartolucci, L., (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, 50: 1217-1219&1226.
53. Lewicki P.P., Lenart A., (2006). Osmotic dehydration of fruits and vegetables. Ed.A.S. Mujumdar, *Handbook of industrial drying* (3rd ed.), Taylor and Francis Group, Boca Raton, F.L.,p. 665–688.
54. Madhani, D.L., Salunkhe, D.K., (1998). Tomato. *Handbook of vegetable science and technology*. In: Production, Composition, Storage, and Processing. D.K. Salunkhe, S.S. Kadam. Ed. Marcel Dekker, New York, USA, p.171-201.
55. Maltini, E., Pizzocaro, F., Torreggiani, D., Bertolo, G., (1991). Effectiveness of antioxidant treatments in the preparation of sulfur free dehydrated apple cubes. In: *The 8th World Congress on Food Science and Technology*. Toronto, Canada. p.87.
56. Mavroudis, N.E., Gekas, V., Sjöholm I., (1998). Osmotic dehydration of apples – effects of agitation and raw material characteristics. *International Journal of Food Engineering*, 35:191–209.
57. Moore, J.G., (1995). Drum dryers. In: Mujumdar, A.S. (Ed.), *Handbook of Industrial Drying*, second ed., vol. 1. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 249–262.
58. Mujumdar, A.S., (2010). Drying R&D past, present and future. In: Jangam, S.V., Thorat, B.N. (Eds.), *R&D Needs, Challenges and Opportunities for Innovation in Drying Technology e-Book*.
59. Mundada, M., Hathan, B.S., Maske S., (2011). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pomegranate arils. *Journal of Food Science*, 75:31–39.
60. Nelson K.A., (1993). Reactions kinetics of food stability: comparison of glass transition and classical models for temperature and moisture dependence. Ph.D thesis, Saint Paul, Mn: Univ. of Minnesota.
61. Nieuwenhuijzen, N., Zareifard, M.R., Ramaswamy, H.S., (2001). Osmotic drying kinetics of cylindrical apple slices of different sizes. *Drying Technology*,

- 19(3-4):525-545.
62. Nijhuis, H. H., Tiringa, E., Luyten, H., Rene, F., Jones, P., Funebo, T. and Ohlsson, T. (1996). Research needs and opportunities in the dry conservation of fruits and vegetables. *Drying Technol.* 14:1429–1457.
63. Nsozi, F., Ramaswamy, H.S. (1998). Quality evaluation of osmoconvective dried blueberries. *Drying Technology*, 16(3-5):705-723.
64. Panagiotou N.M., Karathanos V.T, Maroulis Z.B. (1998). Mass transfer modeling of the osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 33:267–284.
65. Pavasovic, V., Stefanovic, M., Stefanovic S., (1986). Osmotic dehydration of fruit. In: A.S. Mujumdar (Ed.), *Drying 86*, Vol. 2, Hemisphere Publication Co., Italic, New York, p. 761.
66. Perera, C. O. (2001). Modified atmosphere drying of fruits and vegetables. *Proceedings of the 2nd Asian-Oceania Drying Conference*. Penang, Malaysia, 2001.
67. Petrotos, K.B., Lazarides H.N., (2001). Processing of liquid foods. *Journal of Food Engineering*, 49:201-206.
68. Phisut N., (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19:7–18.
69. Pinnavaia G., Dalla Rosa, M., Lerici, C.R. (1988). Dehydrofreezing of fruit using direct osmosis as concentration process. *Acta Alimentaria Polonica*, 14(38):51-57.
70. Pointing, J.D., Walters, G.G., Forrey, R.R, Jackson, R., Stanley, W.L., (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20:125-132.
71. Pokharkar S.M., (2001). Kinetic model for osmotic dehydration of green peas prior to air-drying. *Journal of Food Science and Technology*, 38(6):557–560.

72. Quispe, A.G, Coronado J.R., Carvalho J.A., (2013). Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27:475-493.
73. Rahman, M.S. (2007). *Handbook of food preservation*, 2nd Ed. CRC press, Inc: Boca Ratou,USA, p.403-432, 571-664.
74. Rahman, M.S., Lamb, J. (1991). Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14:163-171.
75. Ramallo, L.A., Mascheroni R.H., (2010). Dehydrofreezing of pineapple. *Journal of Food Engineering*. 99(3):269–275.
76. Ramaswamy, H.S. (2005). Osmotic drying. Workshop on drying of food and pharmaceuticals. Fourth Asia Pacific Drying Conference, 12 December, Kolkata, India.
77. Raoult-Wack A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5:255–260.
78. Raso, J., Volker, H., (2006). *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry: Fundamentals and Applications*. Springer, U.S.A., p.3-10.
79. Rastogi N.K., Ragavarao K.S.M.S., Niranjana K., (2005). Developments in osmotic dehydration. Ed. D.W. Sun. *Emerging technologies for food processing*, Elsevier- Academic Press, Italy.
80. Rastogi N.K., Ragavarao K.S.M.S.,Niranjana K., Knorr D. (2002).Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*, 13:48–59.
81. Ratti, C., (2013). Freeze drying for food powder production. In: Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., Schuck, P. (Eds.), *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*.Woodhead Publishing, pp. 57–84 (Chapter 3).
82. Ribeiroa, A.S.D.C., Aguiar-Oliveirab, E., Maldonadoa, R.R., (2016). Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. *L.W.T- Food Science and Technology*, 72:407–415.

83. Robbers, M., Singh, R.P., Cunha, L.M., (1997). Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. *Journal of Food Science*, 66(9):1039-1047.
84. Rodriguez, G., Vasseur, J., Courtois, F., (1996). Design and control of drum dryers for the food industry, Part 1. Set-up of a moisture sensor and an inductive heater. *J. Food Eng.* 28,271–282.
85. Sabarez H., (2016). *Drying of Food Materials*. CSIRO Food and Nutrition, Werribee, VIC, Australia.
86. Sabarez, H.T., (2007). Tomato dehydration. In: Hui, Y.H., Clary, C., Farid, M.M., Fasina, O.O., Noomhorm, A., Welti-Chenis, J. (Eds.), *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications*. DESTech Publications, Inc. Pennsylvania, USA, pp. 603–628 (Chapter 26).
87. Settea, P., Salvatoria D., Scheborb, C., (2016). Physical and mechanical properties of raspberries subjected to osmotic dehydration and further dehydration by air and freeze-drying. *Food and Bioproducts Processing*.
88. Shi J., Xue J.S., (2009). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. Ed. C. Ratti *Advances in food dehydration*, CRC Press, USA.
89. Shi J.J., (2008). Osmotic dehydration of foods. *Food drying science and technology: Microbiology, chemistry, applications*, DES Tech Publications, Inc., Pennsylvania, U.S.A. (2008), p. 275–295.
90. Silva, W.P., Silva, C.M.C.P.S., Lins, M.A.A., (2014). Osmotic dehydration of pineapple (*Ananas comosus*) pieces in cubical shape described by diffusion models. *LWT- Food Science and Technology*, 55:1–8.
91. Singh, B., Panesar, P.S., Nanda V., (2008). Osmotic dehydration kinetics of carrot cubes in sodium chloride solution. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 43:1361–1370.
92. Slade, L., Levine, H., (1991). Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Food Science and Nutrition*, 30(2,3):115-357.

93. Souzaa, J.S., Medeirosa, M.F.D., Magalhães, M.M.A., Rodrigues, S., Fernandes F.A.N., (2007). Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*. 83(4):501–509.
94. Spiazzi E., Mascheroni, R. (1997). Mass transfer for osmotic dehydration of fruits and vegetables-I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34:387-410.
95. Sutar, P.P., Raghavan, G.V.S., Gariepy, Y., Prasad, S., Trivedi A., (2012). Optimization of osmotic dehydration of potato cubes under pulsed microwave vacuum environment in ternary solution. *Drying Technology*, 30(13):1449–1456.
96. Szymczak, J.A., Płocharski, W.L., Konopacka D., (1998). The influence of repeated use of sucrose syrup on the quality of osmo-convectively dried sour cherries. C.B. Akritidis, D. Marinos Kouris, G.D. Saravacos, A.S. Mujumdar (Eds.), *Proceedings of the 11th International Drying Symposium, IDS'98 vol. A*, Ziti Editions, Thessaloniki, p. 895.
97. Tang, J., Yang, T., (2004). Dehydrated vegetables: principles and systems. In: Hui, Y.H., et al. (Eds.), *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
98. Telis, V.R.N., Murati, R.C.B.D.L., Yamashita, F. (2004). Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *Journal of Food Engineering*, 61:253-259.
99. Timm, F., Herrmann K. (1996). *Frozen Food*. Blackwell Science Verlag.
100. Toor, R.K., Savage, G.P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38:487-494.
101. Torreggiani D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. Ed. G.V. Barbosa Carnovas, J. Welti-Chanes. *Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications*, Technomic Publishing Co, Lancaster, p.281–304.

102. Torreggiani D., (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research Institute*, 26:59–68.
103. Torreggiani D., Bertolo G., (2001). Osmotic pretreatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49:247–253.
104. Tortoe C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4:303–324.
105. Tsiraki, M.I., Savvaidis, I.N. (2016). The effects of citrus extract (Citrox©) on the naturally occurring microflora and inoculated pathogens, *Bacillus cereus* and *Salmonella enterica*, in a model food system and the traditional Greek yogurt based salad Tzatziki. *Food Microbiolog.* 53:150-155.
106. Uddin MB, Ainsworth P, Ibanoglu S (2004). Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 65: 473-477.
107. Valdez-Fragoso, A., Welti-Chanes, J., Giroux F., (1998). Properties of a sucrose solution reused in osmotic dehydration of apples. *Drying Technology*, 16:1429–1445.
108. Van het Hof, K.H., West, C.E., Weststrate, J.A., Hautvast, J.G.A.J. (2000). Dietary factors that effect the bioavailability of carotenoids. *Journal of Nutrition*, 130:503-506.
109. Vega-Mercado, H., Gongora-Nieto, M. M. and Barbosa-Canovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *J. Food Eng.* 49: 271–289.
110. Viberg, U., Sjöholm, I., (1998). Sucrose inversion during osmotic pre-treatment of strawberries. *LWT- Food Science and Technology*, 31:546-551.
111. Welti-Chanes, J., Tapia, M.S., Palou E., Lopez-Malo, A., Guerrero, S.N., Alzamora S.M., (2005). Improving the Safety of Fresh Fruit and Vegetables. A volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, p.599-630.
112. Xin, Y., Zhang M., Xu, B., Adhikari, B., Sun J., (2015). Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review. *International Journal of Refrigeration*.

57:11-25.

113. Yao, Z., LeMaguer, M., (1996) Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part I: Conceptual and Mathematical models. *Journal of Food Engineering*, 29:349-360.
114. Yetenayet, B., Hosahalli R., (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Ethiopian Journal of Applied Sciences and Technology*, 1(1):1–15.

Ελληνική Βιβλιογραφία

115. Δερμεσονλούογλου Ε. (2008). Μελέτη μη θερμικών προκατεργασιών για τη βελτίωση της ποιότητας κατεψυγμένων φυτικών προϊόντων. Διδακτορική διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
116. Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Larousse Britannica, Εκδόσεις Πάπυρος, Αθήνα 2007, τόμος 32, σελ.457-462.
117. Ταούκης Π., Ωραιοπούλου Β., (2007). Επιστήμη και μηχανική τροφίμων διεργασιών τροφίμων. Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2009.

Διαδικτυακοί Τόποι

- <http://www.statista.com>
- <https://ndb.nal.usda.gov>