



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

*Προκατεργασία φυτικών ιστών και εμπλουτισμός με λειτουργικά συστατικά με χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης και παλμικών ηλεκτρικών πεδίων για τη βελτίωση των ποιοτικών και διατροφικών χαρακτηριστικών τους*



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**  
**ΤΑΟΥΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2017**



## Πρόλογος

*Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Πέτρο Ταούκη για την εμπιστοσύνη με την οποία με περιέβαλε και για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγηση που μου προσέφερε.*

*Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τη Δρ. Ευφημία Δερμεσονλούογλου για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη. Το αμείωτο ενδιαφέρον της και οι χρήσιμες συμβουλές της ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.*

*Οφείλω ακόμη ένα μεγάλο ευχαριστώ στην υποψήφια διδάκτορα Βαρβάρα Ανδρέου για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε. Επίσης ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Δημόπουλο για τις χρήσιμες υποδείξεις του κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς και όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για τη φιλική ατμόσφαιρα .*

*Τέλος, ευχαριστώ βαθιά την οικογένειά μου και τους καλούς μου φίλους για τη στήριξη και τη συμπαράσταση σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.*

*Ελένη Παρασκευοπούλου  
Αθήνα, 2017*



## Περίληψη

Τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά αποτελούν σημαντικό κομμάτι της διατροφής του ανθρώπου εξαιτίας της υψηλής διατροφικής τους αξίας. Ωστόσο, λόγω της ευαισθησίας που παρουσιάζουν είναι απαραίτητη η εύρεση κατάλληλης μεθόδου συντήρησης, προκειμένου να αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους. Η σύγχρονη τάση για ηπιότερες μεθόδους επεξεργασίας για την παραγωγή τελικών προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων συντήρησης.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγμα κολοκύθας και ο συνδυασμός της με την τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και της ξήρανσης με αέρα για τη δημιουργία καινοτόμων αφυδατωμένων προϊόντων κολοκύθας μεσαίας και χαμηλής υγρασίας. Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει ως στόχο την επέκταση της διατηρησιμότητας των φρέσκων προϊόντων αλλά και τη βελτίωση των οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων του προϊόντος πριν την ξήρανση.

Αρχικά, μελετήθηκε σε δείγματα φρέσκια κολοκύθας η επίδραση της ωσμωτικής επεξεργασίας στην τιμή της ενεργότητας νερού και στα φαινόμενα μεταφοράς νερού και στερεών. Η επιλογή ενός καινοτόμου πολυσυστατικού ωσμωτικού υλικού αποτέλεσε βασικό στόχο κατά τον πειραματικό σχεδιασμό και δόθηκε έμφαση στη μελέτη εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών όπως είναι οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (GOS) και ο όξινος ορός στραγγιστού γιαουρτιού. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν αφορούν τη θερμοκρασία (35-45-55°C), τον χρόνο επεξεργασίας (0-240 min), τη συγκέντρωση ωσμωτικού υλικού σε GOS (5-10-15%w/w) και το είδος του διαλύτη του ωσμωτικού μέσου (Όξινος ορός, Νερό).

Από τα αποτελέσματα της μελέτης βρέθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας για την ωσμωτική αφυδάτωση τεμαχισμένης κολοκύθας [Ωσμωτικό διάλυμα: 40% γλυκερόλη, 32,5% όξινο ορό γιαουρτιού, 10% GOS, 10% τρεχαλόζη, 4,0% ασκορβικό οξύ, 2,0% χλωριούχο νάτριο και 1,5% χλωριούχο ασβέστιο, Χρόνος: 2 ώρες (2 h), Θερμοκρασία: 55°C, Αναλογία ωσμωτικού μέσο προς τρόφιμο: 5:1]. Σε αυτές τις συνθήκες, τα ωσμωαφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας είχαν 59,96% υγρασία  $X_w$  (αρχική  $X_w$ :95,5%) και ενεργότητα νερού  $a_w$  ίση με 0,87 (αρχική  $a_w$ : 0,98). Η κινητική των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση περιγράφηκε με τον 2ο νόμο του Fick, με βάση τον οποίο υπολογίστηκε ο συντελεστής διάχυσης για την απώλεια νερού και ο συντελεστής διάχυσης για την πρόσληψη στερεών  $3,974 \pm 0,397 * 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $5,589 \pm 0,753 * 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , αντίστοιχα.

Με βάση την κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης η χρήση GOS στο ωσμωτικό μέσο επιφέρει αντίστοιχα αποτελέσματα με εκείνα της χρήσης φρουκτο-ολιγοσακχαριτών (FOS), που έχουν μελετηθεί ως λειτουργικά ωσμωτικά υλικά. Παράλληλα, παρατηρείται εμπλουτισμός του τροφίμου με GOS- μη αφομοιώσιμους υδατάνθρακες- που παρουσιάζουν σημαντική λειτουργική δράση ως πρεβιοτικά. Η χρήση όξινου ορού στο ωσμωτικό διάλυμα έναντι νερού ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Στο δεύτερο μέρος μελετήθηκε η διατηρησιμότητα των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας (στις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης) με χρήση όξινου ορού και νερού προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η χρήση του όξινου ορού προκαλεί διαφοροποίηση στην ποιότητα και σταθερότητα του ωσμοαφυδατωμένου φυτικού ιστού κατά την αποθήκευση. Κατά τη μελέτη διατηρησιμότητας προσδιορίστηκαν οι μικροβιακές αλλοιώσεις και οι ποιοτικές και οργανοληπτικές μεταβολές της φρεσκοκομμένης κολοκύθας και των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων σε ισοθερμοκρασιακές συνθήκες (ψύξης  $T=5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  καθώς και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος,  $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Η επεξεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση, τόσο με όξινο ορό όσο και με νερό, είχε ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής των δειγμάτων κολοκύθας κατά τουλάχιστον 80 ημέρες κατά τις οποίες δεν παρατηρήθηκε σημαντική ποιοτική υποβάθμιση του ωσμοαφυδατωμένου προϊόντος (σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης). Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος ελάχιστης επεξεργασίας με σκοπό τη δημιουργία προϊόντων κολοκύθας ενδιάμεσης υγρασίας με ικανοποιητικό χρόνο ζωής. Η χρήση του όξινου ορού, ενός σημαντικού παραπροϊόντος της βιομηχανίας στραγγιστού γιαουρτιού, ως μέσο ώσμωσης φρούτων και λαχανικών μπορεί να βοηθήσει στην αξιοποίηση και αντιμετώπιση του προβλήματος της διαχείρισης του.

Στο τρίτο μέρος μελετήθηκε ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης με ξήρανση με αέρα, με σκοπό τη δημιουργία καινοτόμων προϊόντων κολοκύθας χαμηλής υγρασίας. Με σκοπό την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας μελετήθηκε η χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων προ της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία με ένταση  $2\text{ kV/cm}$  και 1500 παλμούς (συνθήκες που επιφέρουν 100% διάρρηξη των κυττάρων,  $Z_p=1$ ), έχει ως αποτέλεσμα το προϊόν της ώσμωσης στις βέλτιστες συνθήκες να έχει τελική τιμή υγρασίας ( $X_w$ ) 54,71% και ενεργότητα νερού ( $a_w$ ) 0,84. Ο συντελεστής διάχυσης νερού κατά την ξήρανση ( $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) υπολογίστηκε με βάση του 2ο νόμο του Fick, από όπου και παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση των φαινομένων μεταφοράς μάζας όταν έχει προηγηθεί ωσμωτική αφυδάτωση με την τιμή του συντελεστή διάχυσης να είναι  $1,693\pm 0,974\cdot 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ , αυξημένος κατά 47% σε σχέση με τον συντελεστή διάχυσης για τη ξήρανση χωρίς προκατεργασία.

Σαν αποτέλεσμα, για μείωση της αρχικής υγρασίας του τροφίμου κατά 80% με ξήρανση σε θερμοκρασία 55°C, η προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού χρόνου επεξεργασίας κατά 20%, ενώ ο συνδυασμός προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτικής αφυδάτωσης είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου επεξεργασίας κατά 27%. Ο συνδυασμός των μεθόδων (παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση) οδήγησε σε τελικό αφυδατωμένο προϊόν με ανώτερη ποιότητα (καλύτερο χρώμα, καλύτερη υφή και μεγαλύτερη οργανοληπτική αποδοχή) σε σύγκριση με τα αντίστοιχα αφυδατωμένα προϊόντα που προεπεξεργάστηκαν μόνο με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και αυτά που δεν είχαν υποστεί προηγούμενη επεξεργασία.

Τελικά, η ωσμωτική αφυδάτωση φρέσκιας τεμαχισμένης κολοκύθας έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική επιμήκυνση του χρόνου ζωής του προϊόντος. Παράλληλα, το ωσμοαφυδατωμένο προϊόν παρουσιάζει σημαντικά βελτιωμένα διατροφικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Η χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων προ της ώσμωσης επιτρέπει την μείωση του χρόνου επεξεργασίας. Ο συνδυασμός της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και της ωσμωτικής αφυδάτωσης προ της συμβατικής ξήρανσης με αέρα, προκαλεί σημαντική μείωση του απαραίτητου χρόνου ξήρανσης και προστατεύει το τρόφιμο από ποιοτική υποβάθμιση κατά την ξήρανση.





***Pretreatment and enrichment with functional ingredients of plant tissues  
using osmotic dehydration and pulsed electric fields  
to improve quality and nutritional value***

**Abstract**

Fresh fruits and vegetables are an important part of human diet because of their high nutritional value. However, due to their sensitivity, it is necessary to find an effective preservation method to increase their shelf life. The modern trend for mild processing methods in order to produce products of high nutritional value, has led to the research of alternative dehydration methods.

The aim of this diploma thesis was the study of osmotic dehydration in pumpkin samples and its combination with the pulse electric field technology and air drying to create innovative dehydrated pumpkin products of intermediate and low water activity. The application of osmotic dehydration aims to extend the shelf life of fresh products and to improve the sensory and functional properties of the product before drying.

Initially, the effect of osmotic treatment on water activity value and mass transfer phenomena of water and solids, was studied on fresh-cut pumpkin samples. The choice of an innovative multicomponent osmotic solution was a key objective in the experimental design. Attention was focused on the study of alternative osmotic agents such as galacto-oligosaccharides (GOS) and acid yoghurt whey. The parameters studied were the processing temperature (35-45-55°C), the processing time (0-240min), the concentration of GOS in the osmotic solution (5-10-15% w/w GOS) and the type of osmotic solvent (acid whey, water).

Based on the results of the study, the optimal processing conditions for osmotic dehydration of sliced pumpkin were selected: Osmotic solution: 40.0% glycerol, 32.5% acid whey, 10.0% GOS, 10.0% trehalose, 4.0% ascorbic acid, 2.0% sodium chloride and 1.5% calcium chloride; Time: 2 hours (2 h); Temperature: 55 °C; Osmotic solution to food ratio: 5:1. Under these conditions, the osmo-dehydrated pumpkin samples had 59.96% humidity  $X_w$  (initial  $X_w$ : 95.5%) and water activity  $a_w$  equal to 0.87 (initial  $a_w$ : 0.98). The mass transfer during osmotic dehydration was described by Fick's 2<sup>nd</sup> law. The diffusion coefficients for water loss and solid gain were calculated as  $3.974 \pm 0.397 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  and  $5.589 \pm 0.753 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , respectively.

Based on the kinetic study of the osmotic dehydration, the use of GOS in the osmotic agent has similar results to those of fructo-oligosaccharides (FOS), which have been studied as functional osmotic agents. At the same time, the sample is enriched with GOS, i.e. non-digestible carbohydrates, which have significant functional activity as prebiotics. The use of yoghurt acid whey against water in the osmotic solution enhances the mass transfer phenomena.

In the second part, the shelf life of osmo-dehydrated pumpkin samples (in optimal conditions of osmotic dehydration) was studied using acid whey and water to determine if the use of the acid whey affects the quality and stability of the osmo-dehydrated plant tissue during storage. In the shelf life determination, the microbial, the physicochemical and organoleptic changes of the fresh-cut pumpkin and the osmo-dehydrated products were determined at isothermal conditions ( $T = 5, 10, 15$  °C as well as ambient temperature,  $T = 25$  °C). Treatment with osmotic dehydration, for both acid whey and water pre-treated samples, resulted in shelf life extension of pumpkin samples by at least 80 days, in which no significant quality degradation of the osmo-dehydrated product was observed (at all storage temperatures). It can be concluded that osmotic dehydration can be used as a minimal processing method in order to produce intermediate moisture pumpkin products with extended shelf life. The use of acid whey, a by-product of the Greek yoghurt industry, as an osmotic agent of fruit and vegetables could promote its exploitation and help address its management problem.

In the third part, the combination of osmotic dehydration and air drying was studied in order to produce innovative low moisture pumpkin products. In order to enhance mass transfer phenomena, the use of pulsed electric fields was studied as a pretreatment to osmotic dehydration. Pretreatment with pulsed electric fields at 2 kV/cm and 1500 pulses (conditions causing 100% permeabilization of cell membranes,  $Z_p = 1$ ) results in an osmo-dehydrated product with final humidity of 54.71% and water activity of 0.84 (in optimal conditions of osmotic dehydration). The water diffusion coefficient of drying was calculated using Fick's 2<sup>nd</sup> law, by which a significant increase in mass transport phenomena was observed when pretreatment with osmotic dehydration has applied, with the diffusion coefficient being  $1,693 \pm 0,974 * 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, increased by 47% relative to the diffusion coefficient for drying without pretreatment. Indicatively, in order to reduce the initial moisture content of the food by 80% with drying at 55°C, pretreatment with osmotic dehydration resulted in a reduction in the total processing time by 20%, while the combination of pretreatment with pulsed electric fields and osmotic dehydration resulted in reduced processing time by 27%. The combination of methods (pulsed electric fields and osmotic dehydration) resulted in a finely dehydrated product of superior quality (better colour, better texture and greater organoleptic acceptance) compared to the dehydrated products from samples pretreated only by pulsed electric fields or from untreated samples.

In conclusion, the osmotic dehydration of fresh-cut pumpkin results in a significant extension of products shelf-life, while the osmo-dehydrated product has improved nutritional and functional characteristics. The use of pulsed electric fields towards osmotic dehydration results in the reduction of the processing time. The combination of pre-treatment with pulsed electric fields and osmotic dehydration prior to conventional air drying, causes a significant reduction in the required drying time and protects the plant tissue from any unwanted quality changes during drying.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Ωσμωτική Αφυδάτωση .....	3
1.1. Εισαγωγή .....	3
1.2. Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	4
1.3. Παράμετροι που Επηρεάζουν την Ωσμωτική Αφυδάτωση.....	5
1.3.1. Ωσμωτικό Μέσο.....	5
1.3.2. Τρόφιμο προς Ώσμωση.....	6
1.3.3. Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης .....	6
1.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	7
1.5. Νέες Τάσεις στην Ωσμωτική Αφυδάτωση.....	8
1.5.1. Εναλλακτικά Ωσμωτικά Μέσα και Διαλύματα .....	8
1.5.2. Εφαρμογή Καινοτόμων Μεθόδων Επεξεργασίας Συνδυασμένες με την Ωσμωτική Αφυδάτωση .....	9
1.6. Εφαρμογές της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	10
1.6.1. Η Ώσμωση ως Προκατεργασία της Ξήρανσης.....	10
1.6.2. Η Ώσμωση ως Προκατεργασία της Κατάψυξης .....	12
1.6.3. Βιομηχανική Εφαρμογή .....	13
1.7. Ωσμωτική Αφυδάτωση σε Φυτικούς Ιστούς.....	14
1.7.1. Ωσμωτική Αφυδάτωση Κολοκύθας.....	15
Κεφάλαιο 2: Εμπλουτισμός Τροφίμων με Λειτουργικά Συστατικά .....	19
2.1. Εισαγωγή .....	19
2.2. Ώξινοσ Ορός Γιαουρτιού .....	19
2.2.1. Συστατικά Ώξινου Ορού .....	19
2.2.2. Αξιοποίηση Ώξινου Ορού.....	20
2.3. Μη-Αφομοιώσιμοι Ολιγοσακχαρίτες.....	21
2.3.1. Φυσικοχημικές Ιδιότητες .....	22
2.3.2. Εφαρμογές στη Βιομηχανία Τροφίμων .....	24
2.3.3. Εφαρμογές στην Ωσμωτική Αφυδάτωση .....	25
2.4. Γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (GOS) .....	25
Κεφάλαιο 3: Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία .....	27
3.1. Εισαγωγή .....	27
3.2. Αρχή Λειτουργίας PEF.....	28
3.3. Παράμετροι Λειτουργίας.....	29

3.4.	Η Επίδραση της Τεχνολογίας PEF στην Κυτταρική Μembrάνη .....	32
3.4.1.	Δείκτης Κυτταρικής Διάρρηξης, Z.....	34
3.4.2.	Παράγοντες που Επηρεάζουν τη διαπερατότητα της Μembrάνης.....	36
3.5.	Η Τεχνολογία PEF ως Μέθοδος Προεπεξεργασίας .....	37
3.5.1.	PEF και Ωσμωτική Αφυδάτωση.....	37
3.5.2.	PEF και Ξήρανση .....	38
3.6.	Μειονεκτήματα και Περιορισμοί.....	39
	Κεφάλαιο 4: Μέθοδοι Και Υλικά.....	43
4.1.	Εισαγωγή .....	43
4.2.	Πειραματικός Σχεδιασμός .....	44
4.2.1.	Πρώτη Θεματική Ενότητα: Ωσμωτική Αφυδάτωση Κολοκύθας.....	44
4.2.2.	Δεύτερη Θεματική Ενότητα: Μελέτη Διατηρησιμότητας Ωσμωμένων Δειγμάτων Κολοκύθας.....	47
4.2.3.	Τρίτη Θεματική Ενότητα: Εφαρμογή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων και Ξήρανσης με Αέρα σε Ωσμωμένα Δείγματα Κολοκύθας .....	47
4.3.	Αναλυτικές Μέθοδοι .....	50
4.3.1.	Μέτρηση Περιεχόμενου Νερού και Ολικών Στερεών .....	50
4.3.2.	Μέτρηση Ενεργότητας Νερού .....	50
4.3.3.	Μέτρηση pH.....	50
4.3.4.	Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (HPLC).....	51
4.3.5.	Μέτρηση Χρώματος.....	52
4.3.6.	Προσδιορισμός Χαρακτηριστικών Υφής .....	53
4.3.7.	Προσδιορισμός Βιταμίνης C.....	54
4.3.8.	Μικροβιολογικός Έλεγχος.....	55
4.3.9.	Οργανοληπτική Αξιολόγηση .....	55
4.4.	Επεξεργασία Μετρήσεων .....	56
4.4.1.	Απώλεια Νερού και Πρόσληψη Στερεών .....	56
4.4.2.	Υπολογισμός Συντελεστών Διάχυσης Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	57
4.4.3.	Κινητικό μοντέλο Υποβάθμισης της Ποιότητας κατά την Αποθήκευση – Μελέτη Διατηρησιμότητας .....	59
4.4.4.	Κινητικό μοντέλο Ξήρανσης.....	61
4.4.5.	Υπολογισμός Μοριακού Βάρους.....	62
4.4.6.	Στατιστική Επεξεργασία .....	62
	Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και Συζήτηση .....	63
5.1.	Πρώτη Θεματική ενότητα: Ωσμωτική Αφυδάτωση και Εξαγωγή Κινητικών Μοντέλων .	63
5.1.1.	Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (με χρήση GOS): Επιλογή Βέλτιστης Θερμοκρασίας .....	63

5.1.2.	Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (με χρήση GOS): Επιλογή Βέλτιστης Συγκέντρωσης.....	69
5.1.3.	Ωσμωτικό Διάλυμα και Γαλακτο-Ολισακχαρίτες κατά την Ωσμωτική Αφυδάτωση	72
5.1.4.	Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (με χρήση FOS): Επιλογή Βέλτιστης Θερμοκρασίας .....	74
5.2.	Δεύτερη Θεματική Ενότητα: Προσδιορισμός της Διατηρησιμότητας του Ωσμωμένου Προϊόντος Υπό Διαφορετικές Συνθήκες Ψύξης .....	81
5.2.1.	Μικροβιολογικές Αλλοιώσεις .....	81
5.2.2.	Μελέτη pH .....	87
5.2.3.	Μεταβολή Χρώματος.....	89
5.2.4.	Μεταβολή Υφής.....	91
5.2.5.	Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Βιταμίνης C .....	95
5.2.6.	Οργανοληπτική Αξιολόγηση .....	99
5.2.7.	Διάρκεια Ζωής Ωσμωμένης Κολοκύθας.....	114
5.3.	Ενότητα Τρίτη: Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία και Ξήρανση.....	119
5.3.1.	Προσδιορισμός Δείκτη Κυτταρικής Διάρρηξης .....	119
5.3.2.	Εφαρμογή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (PEF) ως Προεπεξεργασία Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (ΩΑ) Κολοκύθας.....	120
5.3.3.	Ωσμωτική Αφυδάτωση με ή χωρίς Εφαρμογή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (PEF) και Ξήρανση Κολοκύθας.....	122
	Κεφάλαιο 6: Σύνοψη Αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα .....	129
	Βιβλιογραφία .....	135



## Εισαγωγή

Τα φρέσκα φρούτα και τα λαχανικά είναι βασικά συστατικά της διατροφής του ανθρώπου εξαιτίας της υψηλής διατροφικής τους αξίας. Τα τελευταία χρόνια οι καταναλωτές αναζητούν λειτουργικά προϊόντα, που συνδυάζουν τα πολλαπλά διατροφικά οφέλη με την ευκολία στην προετοιμασία. Μια τέτοια κατηγορία προϊόντων είναι τα ελάχιστα επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά, τα οποία έχουν υποβληθεί σε διεργασίες όπως το ξεφλούδισμα, η κοπή και η συσκευασία, χωρίς να έχουν υποστεί θερμική κατεργασία, διατηρώντας έτσι τα φρέσκα χαρακτηριστικά τους.

Ωστόσο, τα τεμαχισμένα φρούτα και λαχανικά είναι πιο ευαλλοίωτα σε σχέση με τα ολόκληρα, αφού η επεξεργασία που έχουν υποστεί οδηγεί σε καταστροφή του κυτταρικού ιστού, που σε συνδυασμό με την υψηλή ενεργότητα νερού και το μη επαρκώς όξινο pH τους, επιτρέπουν την ταχεία μικροβιακή ανάπτυξη. Η ταχεία αλλοίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των φρέσκων φρούτων και λαχανικών, οδηγούν στην ανάγκη εύρεσης μιας αποτελεσματικής μεθόδου συντήρησης για την εμπορική βιωσιμότητα των τεμαχισμένων φρούτων και λαχανικών τόσο ως τελικών προϊόντων όσο και ως πρώτων υλών για χρήση σε σύνθετα τρόφιμα π.χ. έτοιμες σούπες ή σαλάτες.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα φρεσκοκομμένων λαχανικών ελάχιστης επεξεργασίας, αποτελεί η κολοκύθα. Η κολοκύθα (*Cucurbita pepo*) ανήκει στην οικογένεια των κολοκυθοειδών (*Cucurbitaceae*) και είναι σημαντική πηγή καροτενοειδών, ενώ κάποιες ποικιλίες είναι πλούσιες σε προβιταμίνη Α, κυρίως α-καροτένιο και β-καροτένιο. Η ζήτηση της κολοκύθας τα τελευταία χρόνια αυξάνεται ραγδαία ακολουθώντας την τάση των καταναλωτών για υγιεινές τροφές με σημαντικά διατροφικά οφέλη. Ωστόσο, το δύσμορφο σχήμα της, και η δυσκολία καθαρισμού της, αποτελούν τροχοπέδη στην κατανάλωση της. Η φρέσκια κομμένη κολοκύθα αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον εμπορικά προϊόν της βιομηχανίας φρεσκοκομμένων λαχανικών, διευκολύνοντας του καταναλωτές. Ωστόσο, η εποχικότητα της κολοκύθας και ο μικρός χρόνος ζωής των κομμένων προϊόντων, καθιστούν σημαντική την εύρεση αποτελεσματικής μεθόδου για την επέκταση του χρόνου ζωής της κολοκύθας. Η μερική αφυδάτωση των λαχανικών μέσω της ώσμωσης θα μπορούσε να αποτελέσει μια τέτοια μέθοδο επεξεργασίας.

Η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, δεδομένου ότι παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση των επιπτώσεων της θερμότητας στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, κυρίως τη γεύση και το χρώμα, η αναστολή της ενζυμικής αμαύρωσης και η ελαχιστοποίηση του κόστους της ενέργειας. Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια χρήσιμη διαδικασία για τη μερική αφυδάτωση φρέσκων φρούτων και λαχανικών, και λειτουργεί είτε ως

στάδιο προκατεργασίας σε άλλες μεθόδους συντήρησης (κατάψυξη, ξήρανση με αέρα) είτε ως ήπια επεξεργασία πριν τη διανομή τους.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκαν τα αποτελέσματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε τεμάχια κολοκύθας με εναλλακτικά ωσμωτικά μέσα και εκτιμήθηκαν τα πλεονεκτήματα του ωσμωμένου προϊόντος ως προς τον χρόνο ζωής του και τις λειτουργικές του ιδιότητες. Για τη μελέτη των εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών με σκοπό τον εμπλουτισμό του τελικού προϊόντος, επιλέχθηκαν γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες, μη αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες που παρουσιάζουν εξαιρετική δράση ως διαιτητικές ίνες και ως πρεβιοτικά. Ταυτόχρονα, μελετήθηκε η δυνατότητα χρήσης όξινου ορού γιαουρτιού ως διαλύτη στο ωσμωτικό μέσο έναντι του νερού. Ο όξινος ορός παραπροϊόν της βιομηχανίας στραγγιστού γιαουρτιού, και παρότι μέχρι σήμερα απορρίπτεται, έχει σημαντική διατροφική αξία.

Παράλληλα, μελετήθηκε η επίδραση της προκατεργασίας της κολοκύθας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων χρησιμοποιείται εναλλακτικά των θερμικών μεθόδων επεξεργασίας χωρίς τη θερμική επιβάρυνση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τις φυσικές ιδιότητες των τροφίμων. Σε μικρότερη ένταση πεδίου επιφέρει σημαντική αύξηση της διαπερατότητας των φυτικών ιστών. Ο συνδυασμός των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων με τη μέθοδο της ώσμωσης αποτελεί σημαντικό πεδίο έρευνας αφού επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της μεθόδου, οδηγώντας σε μείωση του χρόνου επεξεργασίας και έχοντας μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

Τέλος, μελετήθηκε ο συνδυασμός της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση με ξήρανση σε αέρα, προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανάπτυξης ενός καινοτόμου προϊόντος, χαμηλής υγρασίας, το οποίο διατηρεί τα φρέσκα χαρακτηριστικά της κολοκύθας και παρουσιάζει βελτιωμένες διατροφικές ιδιότητες.



## Κεφάλαιο 1: Ωσμωτική Αφυδάτωση

### 1.1. Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί το βασικότερο συστατικό των τροφίμων και μπορεί να βρεθεί σε αυτά είτε σε διαθέσιμη είτε σε δεσμευμένη κατάσταση. Το διαθέσιμο νερό διατίθεται για χημικές αντιδράσεις, για την ανάπτυξη μικροοργανισμών και μπορεί να λειτουργήσει ως μέσω μεταφοράς των ενώσεων. Σε δεσμευμένη κατάσταση, το νερό δεν είναι διαθέσιμο για συμμετοχή στις αντιδράσεις αυτές, αφού είναι δεσμευμένο είτε σε υδατοδιαλυτές ενώσεις είτε από την επιφανειακή επίδραση του υποστρώματος.

Ως αποτέλεσμα της δέσμευσης, μειώνεται η τάση ατμών του υποστρώματος των τροφίμων σύμφωνα με τον νόμο του Raoult. Ως ενεργότητα νερού,  $a_w$ , ορίζεται ο λόγος της τάσης ατμών του νερού στο τρόφιμο προς την τάση ατμών του καθαρού νερού. Υψηλή τιμή ενεργότητας νερού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά την αποθήκευση των τροφίμων όπως ανάπτυξη μικροβίων και γενικότερα υποβάθμιση της σταθερότητας και της ποιότητάς του. Η ενεργότητα νερού αποτελεί σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού για διεργασίες όπως η αφυδάτωση ή η ξήρανση (Rahman & Labuza, 2007).

Η απομάκρυνση ενός μέρος του διαθέσιμου νερού, και κατ' επέκταση η μείωση της ενεργότητας του, μέσω της αφυδάτωσης έχει ως στόχο την προστασία του τροφίμου από την ανάπτυξη μικροοργανισμών και την ποιοτική του υποβάθμιση. Βασικός στόχος της αφυδάτωσης είναι η επέκταση της διάρκειας ζωής του τροφίμου. Η αφυδάτωση συνήθως περιλαμβάνει την απομάκρυνση νερού με θερμότητα, ενώ μπορεί να επιτευχθεί και αφυδάτωση με κατάψυξη. Ωστόσο, οι μέθοδοι αυτοί απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας ενώ σε πολλές περιπτώσεις επηρεάζουν τόσο τη δομή όσο και την υφή του τελικού προϊόντος.

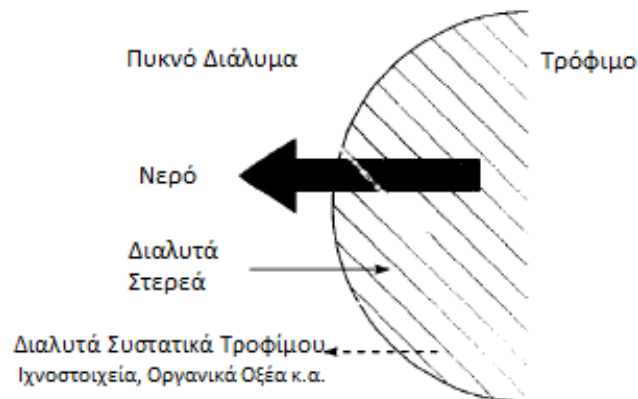
Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια εναλλακτική μέθοδος αφυδάτωσης, κατά την οποία η αφαίρεση του νερού βασίζεται στην αρχή της ώσμωσης ενώ δεν απαιτείται θέρμανση. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δεν υπάρχει αλλαγή φάσης οπότε και αποτελεί μια ενεργειακά συμφέρουσα λύση. Η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προκατεργασία άλλης μεθόδου (π.χ. ξήρανση) είτε ως βασική μέθοδος ελάχιστης επεξεργασίας (Pekosławska & Lenart, 2009). Το πλεονέκτημα της έναντι άλλων αντίστοιχων μεθόδων έγκειται στη μη αλλοίωση των οργανοληπτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου ταυτόχρονα με τη διασφάλιση της ασφάλειας αυτού. Εφαρμόζεται συχνά σε φρούτα και λαχανικά και ο στόχος της είναι να μειώσει την ενεργότητα νερού των προϊόντων προκειμένου να περιοριστεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η δράση των ενζύμων και να αυξηθεί η διάρκεια ζωής των προϊόντων (Castro-Giraldez et al. 2010, Fellows P., 2000).

## 1.2. Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιείται κατά την εμβάπτιση ενός στερεού τροφίμου πλούσιου σε νερό, σε ένα υδατικό διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση αλάτων ή σακχάρων (υπερτονικό διάλυμα). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τριών τύπων μεταφοράς μάζας:

- Σημαντική εκροή νερού από το προϊόν στο διάλυμα
- Μεταφορά διαλυτής ουσίας από το υδατικό διάλυμα προς το προϊόν. Η μεταφορά αυτή επιτρέπει την εισαγωγή στο προϊόν επιθυμητών συστατικών με σκοπό τον εμπλουτισμό του τροφίμου και τη βελτίωση των οργανοληπτικών και θρεπτικών του ιδιοτήτων.
- Εκροή διαλυτών συστατικών εκ του προϊόντος (σάκχαρα, οργανικά οξέα, βιταμίνες κλπ.). Αν και η μεταφορά αυτή είναι αμελητέα σε σχέση με τις προηγούμενες δύο, επηρεάζει σημαντικά τα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (A.L. Raoult-Wack, 1994).

Η απομάκρυνση του νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση γίνεται μέσω της διάχυσης και της τριχοειδούς ροής ενώ η μεταφορά διαλύτη και διαλυμένων ουσιών πραγματοποιείται μόνο με διάχυση (Rahman, 2007). Τα φαινόμενα μεταφοράς που συμβαίνουν κατά την ώσμωση παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα:



**Σχήμα 1.1.** Φαινόμενα μεταφοράς μάζας που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση.

Η κινητήρια δύναμη χάρη στην οποία απομακρύνεται το νερό, είναι η βαθμίδα συγκέντρωσης ανάμεσα στο διάλυμα και το ενδοκυττάριο υγρό. Βασική προϋπόθεση κατά τη διάρκεια της ώσμωσης αποτελεί η ενεργότητα του ωσμωτικού διαλύματος ( $a_{ws}$ ) να διατηρείται πολύ μικρότερη από εκείνη του προϊόντος ( $a_{wp}$ ), δηλαδή  $a_{ws} \ll a_{wp}$  (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996).

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κυρίως πραγματοποιούνται κατά τις πρώτες ώρες της ώσμωσης (1-2h). Έπειτα από το στάδιο αυτό, η απώλεια νερού σταδιακά

μειώνεται και τείνει να μηδενιστεί, ενώ η πρόσληψη στερεών αυξάνεται σταθερά. Έτσι, η εκτεταμένη ώσμωση (>6h) έχει ως αποτέλεσμα το προϊόν να προσλαμβάνει μεγάλες ποσότητες στερεού και να ανακτά βάρος (Raoult–Wack., 1994). Γενικά είναι επιθυμητό το στάδιο πρόσληψης στερεών να ελέγχεται και να περιορίζεται σε συγκεκριμένα πλαίσια, αφού έπειτα από ένα σημείο μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (Fathi et al. 2011).

### **1.3. Παράμετροι που Επηρεάζουν την Ωσμωτική Αφυδάτωση**

#### **1.3.1. Ωσμωτικό Μέσο**

Το είδος του ωσμωτικού μέσου αποτελεί καθοριστική παράμετρο για τη διαδικασία της ώσμωσης. Με συνηθέστερες τις περιπτώσεις διαλυμάτων σακχαρόζης ή χλωριούχου νατρίου, τα υπερτονικά διαλύματα αποτελούνται κυρίως από άλατα ή υδατάνθρακες. Στην πραγματικότητα οποιαδήποτε διαλυμένη ουσία ή διαλύτης που είναι πλήρως αναμίξιμος με το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί (π.χ. δεξτρόζη, αιθανόλη, ασκορβικό οξύ κλπ.). Η διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης επηρεάζεται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες, το μοριακό βάρος, τη διαλυτότητα και την ιοντική κατάσταση της διαλυμένης ουσίας (Lazarides, 1994, Lenart et al. 1992).

Οι διαλυμένες ουσίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως υποκινητές είτε της εκροής νερού από το τρόφιμο είτε της εισροής στερεού σε αυτό, και συνήθως οι δράσεις αυτές είναι αλληλοσυγκρουόμενες. Για παράδειγμα, ο εμπλουτισμός του τροφίμου πραγματοποιείται από μόρια χαμηλού μοριακού βάρους, ενώ αντίθετα η εκροή νερού είναι μεγαλύτερη με ουσίες υψηλού μοριακού βάρους. Γι' αυτό συνήθως προτιμάται μίγμα δύο ή περισσότερων διαλυμένων ουσιών (Raoult–Wack A.L., 1994). Πέρα από το μοριακό βάρος, η διεργασία της ώσμωσης επηρεάζεται επίσης από το pH του διαλύματος, με τις ενδιαμέσες τιμές (3.0-6.0) να συμβάλουν στη διατήρηση της υφής και της δομής του τροφίμου (Contreras & Smyrl, 1981).

Για την επιλογή κατάλληλου ωσμωτικού μέσου είναι επίσης απαραίτητο να εξεταστεί η συμβατότητα των ωσμωτικών υλικών με τα συστατικά του τροφίμου. Το ωσμωτικό μέσο επηρεάζει σημαντικά τις θρεπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Κατά τη διάρκεια της ώσμωσης πραγματοποιείται εμπλουτισμός του τροφίμου με μεταφορά επιθυμητών ουσιών από το διάλυμα προς το τρόφιμο. Έτσι, με την επιλογή κατάλληλου ωσμωτικού υλικού μπορούμε να προσδώσουμε στο τελικό προϊόν επιθυμητές διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες. Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξετασθούν ορισμένα καινοτόμα συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ωσμωτική αφυδάτωση.

Τέλος, η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου παίζει καθοριστικό ρόλο στη διεργασία της ώσμωσης. Η επιλογή κατάλληλης συγκέντρωσης για την εκάστοτε διαλυμένη ουσία του ωσμωτικού μέσου, αποτελεί βασική παράμετρο ολόκληρης της διαδικασίας. Διαλύματα με αυξημένη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών, και κατ'

επέκταση μειωμένη ενεργότητα νερού, οδηγούν σε μεγαλύτερο ρυθμό ωσμωτικής αφυδάτωσης και απώλειας νερού (Tortoe, 2010). Βασική προϋπόθεση αποτελεί η ενεργότητα νερού του ωσμωτικού μέσου να είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή του τροφίμου.

### 1.3.2. Τρόφιμο προς Ώσμωση

Παραλλαγές στο είδος, την ποικιλία και το επίπεδο ωριμότητας των φρούτων και λαχανικών που χρησιμοποιούνται, έχουν διαφορετική απόκριση στην ώσμωση (Lazarides, 2001). Επίσης, διαφορές στη χημική σύσταση (πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες, ιχνοστοιχεία κλπ.), και στις δομικές ιδιότητες (προσανατολισμός των ινών, πορώδες) επηρεάζουν την κινητική της μεταφοράς μάζας στο τρόφιμο (Rahman, 2007). Για παράδειγμα, η μεταβολή της πρόσληψης στερεών και της εκροής νερού σε διαφορετικά φρούτα, επηρεάζεται κυρίως από τη συνεκτικότητα του ιστού, την αρχική συγκέντρωση σε διαλυτά ή μη διαλυτά στερεά, την ενζυμική δραστηριότητα και την ενδοκυτταρική δομή.

Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας κατά την ώσμωση επηρεάζεται επίσης από το σχήμα και το μέγεθος του προϊόντος, εξαιτίας της διακύμανσης της αναλογίας επιφάνεια προς πάχος (Tortoe, 2010). Τυπικά, για τη διεργασία της ώσμωσης προτείνεται το δείγμα να έχει σχήμα κύβου, παραλληλόγραμμου ή δακτυλίου, με μέγεθος 3-10mm.

### 1.3.3. Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Η θερμοκρασία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό μεταφοράς μάζας κατά την ώσμωση (Tortoe, 2010). Η αύξηση της θερμοκρασίας επεξεργασίας επιταχύνει την απώλεια νερού, ενώ επηρεάζει λιγότερο την πρόσληψη στερεών (Khan, 2012, Tortoe, 2010). Αυτό συμβαίνει γιατί η διάχυση του νερού μέσω της κυτταρικής μεμβράνης γίνεται πιο εύκολα σε σχέση με αυτή των διαλυμένων ουσιών και γι' αυτό η προσέγγιση της ισορροπίας επιτυγχάνεται από την ροή νερού από το κύτταρο. Αυτός ο τύπος ισορροπίας έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη πρόσληψη στερεών από το τρόφιμο (Rahman M.S. 2007). Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι για θερμοκρασίες άνω των 50°C, η πρόσληψη στερεών αυξάνεται, γεγονός που πιθανά οφείλεται στην παραμόρφωση της κυτταρικής μεμβράνης, η οποία επηρεάζει τη διαπερατότητά της (Farkas & Lazar 1969, Heng et al. 1990, Vial et al. 1991, Lenart & Flink 1984). Ως μειονέκτημα της υψηλής θερμοκρασίας εμφανίζονται αντιδράσεις υποβάθμισης του προϊόντος, που σχετίζονται τόσο με τις οργανοληπτικές του ιδιότητες (π.χ. αντίδραση Maillard) όσο και με τις διατροφικές του (π.χ. αλλοίωση θερμοευαίσθητων συστατικών). Παρά τις γενικές παρατηρήσεις, η βέλτιστη θερμοκρασία της ώσμωσης καθορίζεται από το είδος του τροφίμου (Biswal et al. 1991).

Η αναλογία τροφίμου προς διάλυμα αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τόσο η πρόσληψη στερεών όσο και η αποβολή νερού αυξάνουν με την αύξηση της αναλογίας ωσμωτικού μέσου /τροφίμου (J. Flink, T. P. Labuza, 1972, J. D. Ponting et al, 1966). Η μεγάλη αναλογία μεταξύ των δύο έχει ως αποτέλεσμα να μην παρατηρείται σημαντική μείωση της ωσμωτικής πίεσης κατά τη διάρκεια της διεργασίας (Manroudīs et al., 1998). Ωστόσο, υπάρχει μια αναλογία στην οποία παρατηρείται η βέλτιστη μεταφορά μάζας, και περαιτέρω αύξηση δεν μεταβάλλει τον ρυθμό των φαινομένων μεταφοράς. Η τιμή αυτή δεν είναι σταθερή για κάθε τρόφιμο γι' αυτό για πρακτικούς λόγους προτείνεται η αναλογία δείγματος προς διάλυμα 1:3 ή 1:5.

Για να ενισχυθούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, μπορεί να εφαρμοστεί ανάδευση. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, χρησιμοποιούνται συχνά διαλύματα υψηλού ιξώδους, με μεγάλη συγκέντρωση σακχάρων, τα οποία δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στη διεργασία όπως η επίπλευση των κομματιών του δείγματος, παρεμποδίζοντας έτσι την επαφή μεταξύ του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος, προκαλώντας μείωση των ρυθμών μεταφοράς μάζας (Moreira et al, 2007, Phisut, 2012). Η ανάδευση του ωσμωτικού μέσου κοντά στο δείγμα, μπορεί να ενισχύσει τη διεργασία της ώσμωσης, αυξάνοντας τη μεταφορά μάζας και οδηγώντας σε μείωση του χρόνου που απαιτείται για να φτάσει το προϊόν σε συγκεκριμένα επίπεδα υγρασίας (Phisut, 2012).

#### **1.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης**

Η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάπτυξη νέων προϊόντων, καθώς επηρεάζει τις διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των φρούτων και των λαχανικών (Khan, 2012, Phisut, 2012, Tortoe, 2010). Επίσης, για τους ίδιους λόγους συχνά χρησιμοποιείται ως προκατεργασία άλλης μεθόδου όπως ξήρανσης ή κατάψυξης. Στην περίπτωση των φρεσκοκομμένων λαχανικών η χρησιμοποίησή της θα μπορούσε να επιμηκύνει τον χρόνο ζωής των λαχανικών, προσδίδοντας παράλληλα επιθυμητές διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Το κυριότερο πλεονέκτημα που προσφέρει η ώσμωση στα τρόφιμα έγκειται στη βελτίωση της ποιότητας του τροφίμου, τόσο οργανοληπτικά όσο και θρεπτικά. Η ποιοτική αυτή αναβάθμιση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επιλογή κατάλληλου ωσμωτικού διαλύματος, ενός παράγοντα που θα μελετηθεί εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα.

Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα της ώσμωσης έναντι άλλων μεθόδων, είναι η χαμηλή ενεργειακή της απαίτηση. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αφυδάτωσης, π.χ. ξήρανση με αέρα ή με κατάψυξη, η ωσμωτική αφυδάτωση έχει πολύ μικρές ενεργειακές απαιτήσεις. Ταυτόχρονα η μη απαίτηση ειδικού εξοπλισμού την καθιστά

αρκετά οικονομική μέθοδο επεξεργασίας. Παράλληλα, η μείωση τόσο του βάρους όσο και του όγκου των αγαθών, διευκολύνει την αποθήκευση και διανομή τους, και συμβάλει στη μείωση του κόστους των εργασιών αυτών.

Άλλο πλεονέκτημα που προσφέρει η ωσμωτική αφυδάτωση είναι ο περιορισμός της χρήσης πρόσθετων χημικών ή συντηρητικών ουσιών. Για παράδειγμα, λόγω της συνεχούς εμφάνισης του τροφίμου στο ωσμωτικό μέσο, ο ιστός του τροφίμου δεν έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο και έτσι αποφεύγουμε τη χρήση διοξειδίου του θείου, μιας ουσίας που χρησιμοποιείται για την αποφυγή του οξειδωτικού και του ενζυμικού μαυρίσματος (Lazarides, 2001). Γενικότερα, η μειωμένη ενεργότητα νερού που παρουσιάζουν τα τρόφιμα μετά την ωσμωτική επεξεργασία, οδηγεί σε χαμηλή δραστηριότητα των αντιδράσεων αλλοίωσης που συμβαίνουν φυσιολογικά στο τρόφιμο. Όταν η ενεργότητα νερού είναι χαμηλή, τότε περιορίζεται η ανάπτυξη μικροοργανισμών και μειώνεται ο ρυθμός των χημικών και ενζυμικών αντιδράσεων. (Rahman M.S. 2007)

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, η ωσμωτική αφυδάτωση έχει ορισμένα προβλήματα που αφορούν κυρίως τη μεταφορά της σε βιομηχανική κλίμακα. Πρωταρχικό πρόβλημα αποτελεί ο σχεδιασμός και έλεγχος της διαδικασίας. Οι περισσότερες έρευνες σχετικά με την ωσμωτική αφυδάτωση αφορούν εργαστηριακή κλίμακα. Στην περίπτωση της βιομηχανίας ο σχεδιασμός που απαιτείται είναι εκτενής με πρόβλεψη των βασικών παραμέτρων όπως το είδος της διεργασίας (συνεχής/διαλείπωντος, με ανάδευση), ο χρόνος επεξεργασίας σε μεγάλη κλίμακα, ο συνεχής έλεγχος της προόδου της ώσμωσης και τελικά η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος.

## **1.5. Νέες Τάσεις στην Ωσμωτική Αφυδάτωση**

### **1.5.1. Εναλλακτικά Ωσμωτικά Μέσα και Διαλύματα**

Η ζάχαρη ή/και τα κοινά άλατα είναι οι πιο δημοφιλείς διαλυτές ουσίες για την ωσμωτική αφυδάτωση φρούτων και λαχανικών. Τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιούνται έρευνες με σκοπό την εύρεση κατάλληλων υποκατάστατων της σακχαρόζης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και να παράγουν ένα προϊόν με παρόμοια ή καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, την ανάγκη για την αντικατάσταση της σακχαρόζης εντείνει το γεγονός ότι η σακχαρόζη δεν είναι κατάλληλη για διαβητικούς ασθενείς, και άρα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ανάγκες και αυτής της ειδικής καταναλωτικής ομάδας (Nambiar et al. 2016).

Η μερική αντικατάσταση της σακχαρόζης με πολυεδρικές αλκοόλες ή υβερτοποιημένο σάκχαρο μπορεί να βελτιώσει την υφή και την ποιότητα των αποξηραμένων προϊόντων. Η σορβιτόλη και η γλυκερόλη (κοινά υγροσκοπικά μέσα)

προωθούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών), συγκριτικά με τα κοινά διαλύματα σακχαρόζης.

Η γλυκερόλη χρησιμοποιείται ως πλαστικοποιητής στα τρόφιμα για τη βελτίωση της υφής τους, είναι ένα υγροσκοπικό μέσο με αντιμικροβιακές ιδιότητες (Moreira et al, 2007), ενώ η θερμιδική αξία του είναι 4,3 kcal/g. Η γλυκερόλη έχει χρησιμοποιηθεί στην ωσμωτική αφυδάτωση κάστανου (Moreira et al. 2007), παπάγιας (Thalerngnawachart & Duangmal 2016), μανταρινιού (Therdthai et al. 2011) και πεπονιού (Sritongtae et al. 2011), και αποδείχθηκε να έχει καλύτερα αποτελέσματα στην επιβράδυνση του μαυρίσματος.

Ένα άλλος υδατάνθρακας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αποτελεσματικό ωσμωτικό μέσο είναι η τρεχαλόζη. Οι Vicente et al. (2012) μελέτησαν την επίδραση της γλυκόζης και της τρεχαλόζης στη δομή, τις ρεολογικές ιδιότητες και την κατάσταση της υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μήλου, και προέκυψε ότι το είδος της διαλυμένης ουσίας έχει ισχυρή επίδραση στη ρεολογική συμπεριφορά και στο φυτικό ιστό. Οι Aktas et al. (2013) απέδειξαν ότι η τρεχαλόζη μείωσε σημαντικά το χρόνο ξήρανσης, προστάτεψε το τρόφιμο από το μη – ενζυμικό μαύρισμα, καθώς και παρείχε καλύτερη ποιότητα στο προϊόν, συγκριτικά με τη σακχαρόζη. Οι J.M. Aguilera et al.(2008), απέδειξαν ότι η μαλτόζη και η τρεχαλόζη είχαν προστατευτική επίδραση στη μεμβράνη του κυτταροπλάσματος της επιδερμίδας του κρεμμυδιού, διατηρώντας τις προστατευτικές τις ιδιότητες.

Πρόσφατα, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τα πολυσύνθετα ωσμωτικά διαλύματα. Το μίγμα άλατος και ζάχαρης σε ένα τριαδικό διάλυμα αναφέρεται ως μία πλεονεκτική μέθοδος για την ωσμωτική αφυδάτωση σε διάφορες εφαρμογές, οδηγώντας σε υψηλότερη απώλεια νερού και πρόσληψης διαλυτών ουσιών, χωρίς να προκαλεί έντονη γλυκιά ή αλμυρή γεύση στο προϊόν (Rodrigues & Fernandes, 2007, Mercali et al. 2012). Οι μελέτες σχετικά με τη χρήση των τριμερών διαλυμάτων, που στοχεύουν στον καλύτερο έλεγχο των κύριων μαζικών ροών (απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών), αποτελούν κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον στον τομέα της ωσμωτικής αφυδάτωσης με στόχο τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, ανάλογα με τη χρήση του τελικού επεξεργασμένου προϊόντος. Στο πλαίσιο αυτό, ανάλογα με τον κύριο σκοπό της ώσμωσης (αφυδάτωση, αλάτισμα, ζαχάρωμα, κλπ.), είναι πολύ σημαντική η συγκέντρωση και το είδος της ωσμωτικής διαλυμένης ουσίας.

### **1.5.2. Εφαρμογή Καινοτόμων Μεθόδων Επεξεργασίας Συνδυασμένες με την Ωσμωτική Αφυδάτωση**

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια αργή μέθοδος επεξεργασίας, και για το λόγο αυτό προτείνεται ο συνδυασμός με άλλες μεθόδους, με σκοπό τη μεγαλύτερη κυτταρική διάρρηξη και την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας. Πολλές μέθοδοι έχουν πραγματοποιηθεί πριν ή ταυτόχρονα με την ωσμωτική αφυδάτωση,

όπως οι υπέρηχοι, η υπερυψηλή πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία κ.α., προκειμένου να μεγιστοποιήσουν και να επιταχύνουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) ενισχύουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς διαρρηγνύουν την κυτταρική μεμβράνη. Αυτή η ενίσχυση της μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση έχει μελετηθεί σε μια ποικιλία τροφίμων, όπως είναι η φράουλα, το μήλο (Taiwo et al. 2003), το ακτινίδιο (Dermesonliouglou et al. 2016) και οι κόκκινες πιπεριές (Ade-Omowaye et al. 2003). Η ωσμωτική αφυδάτωση βελτιώνεται με τους υπέρηχους, καθώς τα φαινόμενα σπηλαίωσης ενισχύουν τη μεταφορά μάζας (Chemat et al. 2011). Στη συνδυασμένη αυτή μέθοδο υπέρηχων – ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιούνται διαλύματα χαμηλότερων θερμοκρασιών για την επίτευξη μεγαλύτερων ποσοστών απώλειας υγρασίας και πρόσληψης στερεών. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και η μικρότερη διάρκεια κατά την ωσμωτική αφυδάτωση συμβάλουν στη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων, όπως το άρωμα, το χρώμα και η θρεπτική (Chemat et al. 2011). Μια σημαντική τροποποίηση που επιτυγχάνεται με γ-ακτινοβολία είναι η αύξηση της διαπερατότητας του φυτικού ιστού, η οποία οδηγεί σε σημαντική αύξηση του ρυθμού μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ώσμωσης (Ahmed et al. 2016).

Η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει την ενεργότητα νερού ( $a_w$ ) του τροφίμου, συμβάλλοντας σημαντικά στη σταθερότητά του, χωρίς ωστόσο να παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Έτσι, η ωσμωτική αφυδάτωση συχνά συνδυάζεται με άλλες μεθόδους, όπως η υψηλή υδροστατική πίεση (HHP) (Ciurzyńska et al. 2016). Πολλές μελέτες έχουν πρόσφατα δημοσιευθεί σχετικά με την εφαρμογή αυτής της συνδυασμένης μεθόδου, η οποία πραγματοποιείται σε δύο διαδοχικά στάδια. Αρχικά λαμβάνει χώρα η εφαρμογή της υψηλής υδροστατικής πίεσης και ακολουθεί η ώσμωση, εστιάζοντας στην αύξηση της μεταφοράς μάζας (Rastogi et al. 2002). Ένας άλλος στόχος της συνδυασμένης μεθοδολογίας είναι να μεταβάλει τα λειτουργικά, τα θρεπτικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, παράγοντας ένα πιο σταθερό τρόφιμο.

## **1.6. Εφαρμογές της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης**

### **1.6.1. Η Ώσμωση ως Προκατεργασία της Ξήρανσης**

Τα αποξηραμένα φρούτα χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων όπως προϊόντα ζαχαροπλαστικής, αρτοποιίας κ.α. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος ξήρανσης, στη βιομηχανία τροφίμων, είναι η ξήρανση με θερμό αέρα, η οποία συνδυάζει τη μεταφορά θερμότητας και μάζας με την αλλαγή φάσης (Barbanti, Mastrocola, & Severini, 1994). Η ξήρανση τροφίμων και λαχανικών, με την αφαίρεση νερού και τη μείωση της ενεργότητας νερού, μειώνει την



πιθανότητα ανάπτυξης μικροβιακού φορτίου, ενώ παράλληλα τα αφυδατωμένα προϊόντα μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταφερθούν με μεγαλύτερη ευκολία.

Ωστόσο, η απομάκρυνση του νερού σε υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλης διάρκειας ξήρανση, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλοιώσεις στα διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, επηρεάζοντας κυρίως το χρώμα, το άρωμα και τα θρεπτικά συστατικά του ξηραμένου προϊόντος (Lenart, 1996; Lin, Durance, & Scaman, 1998). Ένας τρόπος παραγωγής αφυδατωμένων προϊόντων υψηλής ποιότητας, είναι η χρήση προκατεργασίας, όπως η ωσμωτική αφυδάτωση, η οποία μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και οδηγεί σε ένα προϊόν βελτιωμένης ποιότητας (Torreggiani, 1993; Sereno, Moreira, & Martinez, 2001).

Υπάρχουν πολλές μελέτες σχετικά με την ξήρανση διαφόρων φρούτων και λαχανικών, με συνδυασμό της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ξήρανσης με θερμό αέρα. Οι έρευνες αυτές, αποδεικνύουν πως η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της συμβατικής ξήρανσης συμβάλλει στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος και αυξάνει την απόδοση της συνολικής διεργασίας.

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 συμβατικά φρούτα και λαχανικά. Επιπλέον, η πρόσληψη σακχάρων αυξάνει τη σταθερότητα των χρωστικών ουσιών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της επακόλουθης περιόδου αποθήκευσης (Kim, 1990) και περιορίζει ή απαλλάσσει από την ανάγκη χρήσης SO<sub>2</sub> (Pointing et al. 1966, Crivelli et al. 1989, Maltini et al. 1991).

Πολλοί μελετητές αναφέρουν ότι η ποιότητα (χρώμα, γεύση και υφή) των ξηραμένων φρούτων και λαχανικών βελτιώθηκε όταν προηγήθηκε της ξήρανσης προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση (Dixon, Jenn, & Paynter, 1976; Flink, 1975). Οι Krokida, Karathanos, & Maroulis (2000) αναφέρουν ότι τα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα μπανάνας και μήλου μαύρισαν λιγότερο κατά τη διάρκεια της ξήρανσης σε σχέση με τα ανεπεξεργαστα δείγματα. Οι Bchir et al. (2012), μελέτησαν την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προεπεξεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα σε σπόρους ροδιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο οι ενζυμικές όσο και μη ενζυμικές αντιδράσεις (Maillard) δεν είχαν καμία επίδραση στο χρώμα του τροφίμου. Επομένως, η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία συντελεί στη σταθερότητα χρώματος.

Μελέτες (Lenart & Grodecka, 1989, Lenart, 1991, 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. Η μετανάστευση του νερού σε ένα προϊόν μπορεί να περιγραφεί μέσω εμπειρικών μοντέλων (Da Silva et al. 2014), αλλά σύμφωνα με πολλούς συγγραφείς, η ωσμωτική 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, Da Silva et al. 2013).

Οι Garcia et al. (2007) μελέτησαν την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της ξήρανσης κολοκύθας, και έδειξαν ότι ο συντελεστής διάχυσης υγρασίας αυξάνεται όταν έχει προηγηθεί επεξεργασία. Σύμφωνα με τους Ribeiro et al. (2016), η συμβατική ξήρανση ωσμωτικά επεξεργασμένων αχλαδιών, είχε ως αποτέλεσμα μείωση του χρόνου ξήρανσης κατά 42%. Σύμφωνα με τους 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).

#### **1.6.2. Η Ώσμωση ως Προκατεργασία της Κατάψυξης**

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.

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 στην αντιμετώπιση προβλημάτων που αφορούν σε μη επιθυμητές μεταβολές που συμβαίνουν κατά 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, 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 και ρύθμιση της συνεκτικότητας του τροφίμου με επιλογή κατάλληλων ωσμωτικών μέσων (Huxsoll 1982, Lerici et al. 1985, 1988, Pinnavaia et al. 1988, Torreggiani 1995, Torreggiani & Bertolo, 2001, Ramalo et al. 2010 και Xin et al. 2015, Dermesonlouoglou 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 Dermesonlouoglou 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 ωσμωνμένων δειγμάτων φράουλας. Για την ωσμωτική προκατεργασία τοματών, διαπιστώθηκε ότι κατεψυγμένες ντομάτες έχουν βελτιωμένη σταθερότητα ποιότητας κατά τη διάρκεια της μετέπειτα κατάψυξης (Dermesonlouoglou et al. 2006).

### **1.6.3. Βιομηχανική Εφαρμογή**

Τα ωσμοαφυδατωμένα προϊόντα, είναι προϊόντα ενδιάμεσης υγρασίας, έτοιμα προς κατανάλωση. Ο βασικός σκοπός της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι να προσφέρει σταθερότητα στο προϊόν. Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως στις βιομηχανίες γαλακτοκομικών, ζαχαρωτών, αρτοποιίας καθώς και στην παραγωγή συμπυκνωμάτων φρούτων και λαχανικών και μαρμελάδων (García-Martínez et al. 2002, Khan, 2012).

Ωστόσο, αν και η μέθοδος της ωσμωτικής αφυδάτωσης βρίσκεται πολλά χρόνια σε ερευνητικό επίπεδο, η εφαρμογή της στη βιομηχανία είναι ακόμα περιορισμένη καθώς τα προβλήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό σε μεγάλη κλίμακα είναι δύσκολο να επιλυθούν (Raoult-Wack A.L. 1994, Mavroudis N.E., Lee K.M., Sjöholm I. & Hallstrom B. 2001). Η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος, αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση για τις βιομηχανίες. Η συγκέντρωση και σύνθεση του διαλύματος, η ανακύκλωση, η προσθήκη διαλυτών ουσιών, η διάθεση αποβλήτων και η επαναχρησιμοποίηση αποτελούν τα βασικά προβλήματα που απαιτούν επίλυση πριν τη χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μεγάλη κλίμακα. Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του ωσμωτικού μέσου δεν είναι πάντα εφικτή, ενώ απαιτείται εξυγίανση και καθαρισμός, μικροβιολογικός έλεγχος και παστερίωση σε συνδυασμό με την προσθήκη διαλυτών ουσιών πριν από κάθε χρήση.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει διάφορες μελέτες με σκοπό την επίλυση των προβλημάτων διαχείρισης του ωσμωτικού διαλύματος. Σύμφωνα με τους Tortoe (2010) το αραιωμένο διάλυμα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με αντίστροφη ώσμωση και εξάτμιση. Σε άλλες μελέτες έχει εξετασθεί η επαναχρησιμοποίηση των ωσμωτικών διαλυμάτων σακχαρόζης, στην παραγωγή μαρμελάδων, σαν σιρόπι για την κονσερβοποίηση φρούτων και για την παραγωγή αρωματικών ουσιών (Shukla, 1991). Τα τελευταία χρόνια μελετώνται οι δυνατότητες παραγωγής προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας από χρησιμοποιημένο ωσμωτικό διάλυμα. Οι Ayyappan et al. (2009), μελέτησαν την ενζυμική μετατροπή χρησιμοποιημένων ωσμωτικών διαλυμάτων σακχαρόζης σε φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες, μη αφομοιώσιμους υδατάνθρακες με πρεβιοτική δράση. Συγκεκριμένα, έδειξαν τις δυνατότητες αξιοποίησης του ωσμωτικού διαλύματος σακχαρόζης 60 °Bx, που είχε χρησιμοποιηθεί για την ωσμωτική αφυδάτωση κύβων καρότου, για την παραγωγή φρούκτο-ολιγοσακχαριτών (FOS) με βελτιωμένες διατροφικές ιδιότητες. Τελικά, μια οικονομική, τεχνολογικά καινοτόμα και εύκολα εφαρμόσιμη λύση θα μπορούσε να συμβάλει στην αντιμετώπιση ενός κρίσιμου προβλήματος της βιομηχανικής εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης όπως είναι η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος.

Ένας ακόμη σημαντικός λόγος που η διεργασία δεν έχει βρει βιομηχανική εφαρμογή είναι η πολύπλοκη δομή του κυτταρικού ιστού, η οποία αποτελεί εμπόδιο στον έλεγχο των φαινομένων μεταφοράς που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και κατ' επέκταση στον έλεγχο της διεργασίας (Le Maguer M. 1997).

### **1.7. Ωσμωτική Αφυδάτωση σε Φυτικούς Ιστούς**

Τα φρούτα και τα λαχανικά είναι πλούσια σε υδατάνθρακες και φτωχά σε πρωτεΐνες. Το pH τους κυμαίνεται σε τιμές από 7.0 έως ελαφρά όξινες και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά υψηλή ενεργότητα νερού (Del Nobile et al. 2008, Gómez-López et al. 2005, Selma et al. 2008). Τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθιστούν τα προϊόντα ευπαθή στην ανάπτυξη βακτηρίων, ζυμών και μυκήτων, με αποτέλεσμα την απώλεια του χρώματος, την αποσταθεροποίηση δομής και την απώλεια της υφής, την αλλοίωση της γεύσης και του αρώματός τους.

Πολλές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τη χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης με σκοπό τη δημιουργία τροφίμων ή συστατικών όπως τα ελάχιστα επεξεργασμένα ή τα ενδιάμεσης υγρασίας φρούτα (Alzamora, Gerschenson, Vidales, & Nieto, 1997). Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση συμβαίνει ταυτόχρονη απομάκρυνση νερού και πρόσληψη στερεών, οπότε και δημιουργείται ένα προϊόν με βελτιωμένες διατροφικές, λειτουργικές και οργανοληπτικές ιδιότητες. Έτσι, η ωσμωτική αφυδάτωση προτείνεται ως μέθοδος δημιουργίας ελάχιστα επεξεργασμένων φρούτων και λαχανικών λόγω της μεγάλης ομοιότητας των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών μεταξύ του ωσμωαφυδατωμένου και του φρέσκου προϊόντος.

Παράλληλα, συμβάλλει στη μείωση της θερμικής καταστροφής των διατροφικών συστατικών, περιορίζει το ενζυμικό μαύρισμα και μειώνει τα κόστη (Ishfaq Ahmed et al. 2016). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.1) παρουσιάζονται ορισμένες μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης φυτικών ιστών.

### 1.7.1. Ωσμωτική Αφυδάτωση Κολοκύθας

Η κολοκύθα (*Cucurbita pepo*) ανήκει στην οικογένεια των κολοκυθοειδών (*Cucurbitaceae*) και αποτελεί σημαντική πηγή καροτενοειδών, ενώ κάποιες ποικιλίες είναι πλούσιες σε προβιταμίνη Α, κυρίως α-καροτένιο και β-καροτένιο. (Arima & Rodriguez-Amaya, 1988). Τα καροτενοειδή είναι υπεύθυνα για το ελκυστικό χρώμα πολλών φρούτων και λαχανικών, ενώ έχει αναγνωριστεί ο ρόλος τους στην προστασία της υγείας του ανθρώπου. Η κολοκύθα είναι επίσης πηγή άλλων βιταμινών όπως Β6, Κ, θειαμίνη και ριβοφλαβίνη, όπως επίσης και ιχνοστοιχείων όπως κάλιο, φώσφορος, μαγνήσιο, σίδηρος και σελήνιο.

Η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να αποτελέσει μια χρήσιμη τεχνική συντήρησης τεμαχίων κολοκύθας καθώς και δημιουργίας καινοτόμων προϊόντων κολοκύθας. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κολοκύθα αποτελεί ένα καλό δείγμα φυτικού ιστού για μελέτες ώσμωσης, εξαιτίας της ομοιογένειας της (Mayor et al. 2008).

Μέχρι σήμερα λίγες έρευνες έχουν γίνει σχετικά με την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας. Βασικά συμπεράσματα των ερευνών αναφέρονται παρακάτω. Οι Lenart, Lewicki, και Karandys (1993) χρησιμοποίησαν διάφορα σάκχαρα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας (*Cucurbita Maxima*). Ανεξάρτητα με το χρησιμοποιούμενο σάκχαρο, η απώλεια νερού ήταν μεγαλύτερη από την πρόσληψη στερεών. Επίσης, βρέθηκε ότι η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε όταν το μοριακό βάρος των σακχάρων μειώθηκε. Οι Kowalska and Lenart (2001) χρησιμοποίησαν διαλύματα σακχαρόζης για την ωσμωτική αφυδάτωση μήλου, καρότου και κολοκύθας. Μεταξύ των φρούτων αυτών, η κολοκύθα εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές απώλειας νερού και τις χαμηλότερες τιμές πρόσληψης στερεών.

Οι Chang, Han, and Kim (2003) ανέμιξαν σακχαρόζη με αλάτι, κατά την αφυδάτωση πράσινης κολοκύθας (*Cucurbita Spp. L.*) όπου και έδειξαν ότι ο βαθμός αφυδάτωσης αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος. Οι Mayor, Moreira, Chenlo, Sereno (2006) μελέτησαν την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας, μεταβάλλοντας τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος, οπότε και βρέθηκε ότι τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας πραγματοποιούνται κατά τις πρώτες 3 ώρες επεξεργασίας.

Η ξήρανση της κολοκύθας (με τη χρήση ή μη ωσμωτικής αφυδάτωσης) έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές. Χαρακτηριστικά συμπεράσματα ερευνών

αναφέρονται παρακάτω. Οι Garcia et al. (2007) μελέτησαν την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωση στην ξήρανση με θερμό αέρα σε φέτες κολοκύθας. Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης αυξάνεται η διάχυση του νερού. Ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας ήταν μεγαλύτερος για τα δείγματα που υπέστησαν προεπεξεργασία.

Οι Arévalo-Pinedo and Murr (2007) μελέτησαν τον συνδυασμό ωσμωτικής αφυδάτωσης και ξήρανσης υπό κενό· οι Kumar et al. (2001) μελέτησαν τον συνδυασμό ξήρανσης με κατάψυξη και ξήρανσης με θερμό αέρα· ο Alibas (2007) μελέτησε την αφυδάτωση κολοκύθας με μικροκύματα. Οι Shafafi Zenoosian et al. (2008) διερεύνησαν την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε κολοκύθα με σκοπό να βρεθεί το βέλτιστο μαθηματικό μοντέλο που να περιγράφει την αφυδάτωση. Οι Narwirska et al. (2009) συνέκριναν τη χρήση διαφορετικών μεθόδων ξήρανσης (συμβατική, μικροκύματα υπό κενό, κενό και ξήρανση υπό κατάψυξη) στην κινητική και στην ποιότητα του προϊόντος κολοκύθας, και έδειξαν ότι η χρήση ξήρανσης με μικροκύματα υπό κενό παράγει προϊόντα με πιο ελκυστικό χρώμα και είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με τη συμβατική ξήρανση. Οι Lee, J. S. και Lim, L. S. (2011) απέδειξαν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση με τη χρήση διαλυμάτων σακχαρόζης βελτιώνει την ποιότητα των ξηραμένων με αέρα δειγμάτων κολοκύθας, η οποία σχετίζεται με το χρώμα, τη συρρίκνωση, την υφή, το άρωμα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ξηραμένου προϊόντος.

Παράλληλα, ο φυτικός ιστός της κολοκύθας επιτρέπει τη μεταφορά βιοδραστικών συστατικών από το ωσμωτικό μέσο στο τρόφιμο, όπως βιταμίνες και ιχνοστοιχεία. Οι Escalada Pla et al. (2009) έδειξαν ότι οι μεσόκαρποι ιστοί της κολοκύθας (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) είναι κατάλληλοι να αποτελέσουν μήτρα εμπλουτισμού με σίδηρο, ύστερα από εμφάνιση του τροφίμου σε ωσμωτικό μέσο πλούσιο σε  $Fe^{2+}$ .

Από την παραπάνω βιβλιογραφική έρευνα φαίνεται ότι η ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας αποτελεί μια ενδιαφέρουσα διεργασία αφού τα προϊόντα της μπορούν να έχουν σημαντικό ενδιαφέρον για τους καταναλωτές. Παράλληλα, η μελέτη ενός πολυσυστατικού ωσμωτικού διαλύματος αποτελεί ένα ζήτημα που δεν έχει μελετηθεί και παρουσιάζει ερευνητικό ενδιαφέρον. Τέλος, ο συνδυασμός της ξήρανσης καθώς και νέων τεχνολογιών με την ωσμωτική αφυδάτωση αξίζει να ερευνηθεί με σκοπό τη δημιουργία καινοτόμων προϊόντων κολοκύθας, με βελτιωμένες οργανοληπτικές ιδιότητες.

**Πίνακας 1.1.** Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φυτικούς ιστούς.

Φρούτο / Λαχανικό	Ωσμωτικό Μέσο & Συγκέντρωση	T (°C)	Αναλογία Μέσο : Τρόφιμο	Αναφορές
<b>Αγγούρι</b>	Γλυκόζη, Ολιγοσακχαρίτες Μαλτοδεξτρίνη κ.α.	15-55	5	Dermesonlouoglou et al. (2018)
<b>Ακτινίδιο</b>	Γλυκόζη 20-60%, Σακχαρόζη 30-50%	20-60	-	Panagiotou et al. (1999)
	Γλυκερόλη, Ερυθριτόλη κ.α.	25-45	5	Dermesonlouoglou et al. (2016,a)
<b>Ανανάς</b>	Σακχαρόζη 40-70%	30-50	25	Rastogi & Raghavarao (2004)
	Σακχαρόζη 60%	30-50	-	Ramolla et al. (2004)
	Σακχαρόζη 45-65 °B	30-50	-	Lombard et al. (2008)
	Σακχαρόζη 40-50%, Ca	27	10	Silva et al. (2014)
<b>Αχλάδι</b>	Σακχαρόζη 45 °B, CaCl <sub>2</sub>	25	4	Ribeiro et al. (2016)
	Σακχαρόζη 50-70%	30-60	5	Khoyi & Hesari (2007)
<b>Βερούκοκο</b>	Σακχαρόζη, Γλυκόζη, Μαλτοδεξτρίνη, Σορβιτόλη, 40-70%	25-45	25	Ispir & Togrul (2009)
<b>Καρότο</b>	NaCl/ Σακχαρόζη: 0-15/45-60%	20	3	Amani et al. (2007)
	Σακχαρόζη 50 °B, NaCl 5-15%	35-55	4-6	Singh et al. (2007)
<b>Καρύδα</b>	Σακχαρόζη 40-70 °B	25-45	5	Rastogi & Raghavarao (1994)
	Σακχαρόζη 35 °B	40	20	Silva et al. (2014)
<b>Κολοκύθα</b>	Σακχαρόζη 40-60%	27	-	Garcia et al. (2007)
	Σακχαρόζη 45%	25	-	Mayor et al. (2008)
	Σακχαρόζη, Γλυκόζη, Σιρόπι αμύλου	30	4	Kowalska et al. (2008)
	Σακχαρόζη, NaCl	-	-	Mayor et al. (2011)
<b>Λεμόνι</b>	Ταγκατόζη, Ισομαλτόζη, Ολιγοφρουκτόζη, Διάλυμα Στέβιας	-	20	Rubio- Arraez et al. (2015)
<b>Μάνγκο</b>	Σακχαρόζη 35–65%	30	-	Giraldo et al. (2003)
<b>Μήλο</b>	Γλυκόζη 20-60%, Σακχαρόζη 30-50%	20-60	-	Panagiotou et al. (1999)
	Σακχαρόζη 40-60%, NaCl 15-26.5%	5-65	40	Sereno et al. (2001)
	Σακχαρόζη 30-45%	-	-	Mandala et al. (2005)
	Σακχαρόζη, Σορβιτόλη 60°B	60	4	Assis et al. (2017)
<b>Μπανάνα</b>	Γλυκόζη 20-60%, Σακχαρόζη 30-50%	20-60	-	Panagiotou et al. (1999)
	Σακχαρόζη 45-65%	30-50	20	Atares et al. (2011)
	Γαλακτικό Νάτριο, Κιτρικό οξύ,	30, 50	10	Rodrigues et al. (2003)
<b>Παπάγια</b>	Σακχαρόζη 50-70°B	50-70	4	Fernandes et al. (2006)
	Σακχαρόζη 44-56%	34-46	10	Aouar et al. (2006)
	Σακχαρόζη 40 °B	-	60	García et al. (2010)
<b>Πατάτα</b>	Μαλτοδεξτρίνη, NaCl	25-45	40	Goula et al. (2017)
<b>Πεπόνι</b>	Σακχαρόζη, Ολιγοφρουκτόζη 60°B	20	25	Angilelli et al. (2015)
<b>Ροδάκινο</b>	Σακχαρόζη 100-500g/L	25	4	Jian Lyu et al. (2017)
<b>Ρόδι</b>	Σακχαρόζη 55 °B	40, 50, 60		Bchir et al. (2012)
<b>Τομάτες</b>	NaCl, NaCl-Σακχαρόζη (3:2) 10,25%	25	10	Moreira Azoubel et al. (2004)
	NaCl, Ελαϊκό αιθυλεστέρα	-	-	Mayor et al. (2011)
	Γλυκερόλη, Ερυθριτόλη κ.α.	35	5	Dermesonlouoglou et al. (2017)
<b>Φράουλα</b>	Σακχαρόζη 65 °B	30	-	Moreno et al. (2000)
	Σακχαρόζη	-	4	Raghavan & Silveira (2006)
	Σακχαρόζη 40 °B	-	4	Nuñez-Mancilla et al. (2011)
	Γλυκόζη, Ολιγοσακχαρίτες, Μαλτοδεξτρίνη κ.α.	35	5	Dermesonlouoglou et al. (2016,b)





## **Κεφάλαιο 2: Εμπλουτισμός Τροφίμων** **με Λειτουργικά Συστατικά**

### **2.1. Εισαγωγή**

Η διαρκής επιθυμία των ανθρώπων να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής τους αποτελεί σημαντικό κίνητρο για την έρευνα και ανάπτυξη νέων προϊόντων που προάγουν τη σωματική και πνευματική υγεία των καταναλωτών. Αυτή η τάση οδηγεί στην κατανάλωση τροφών εμπλουτισμένων με δραστικά συστατικά όπως βιταμίνες, διαιτητικές ίνες, έλαια, φυτικές στερόλες και προβιοτικά (Betoret et al. 2003)

Τα τελευταία χρόνια, η ωσμωτική αφυδάτωση έχει χρησιμοποιηθεί με σκοπό τον εμπλουτισμό τροφίμων με βιοδραστικές ουσίες, όπως βιταμίνες, ανόργανα άλατα και προβιοτικά, με στόχο την ενίσχυση της διατροφικής αξίας του τροφίμου. Η επιλογή πολυσυστατικών ωσμωτικών μέσων, όπως περιγράφονται σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1.5.1), μας επιτρέπει τη δημιουργία ωσμωτικών μέσων που βελτιώνουν την κινητική της αφυδάτωσης ενώ ταυτόχρονα έχουν υψηλή διατροφική αξία.

### **2.2. Όξινος Ορός Γιαουρτιού**

Ο ορός είναι το υγρό που απομένει μετά την πήξη του γάλακτος και την αποστράγγιση του σχηματιζόμενου πήγματος. Ο γλυκός ορός προκύπτει ως παραπροϊόν κατά την παρασκευή σκληρών τυριών, όπως Cheddar, ενώ ο όξινος αποτελεί παραπροϊόν της παρασκευής όξινων τύπων γαλακτοκομικών, όπως το στραγγιστό γιαούρτι. Ο γλυκός ορός έχει τιμή pH μεγαλύτερη ή ίση με 5,6 σε αντίθεση με τον όξινο που έχει τιμή pH το πολύ 4,5.

Ο όξινος ορός είναι κύριο παραπροϊόν του στραγγιστού ή αλλιώς ελληνικού τύπου (Greek-style) γιαουρτιού. Είναι ένα λεπτό, ρευστό παραπροϊόν το οποίο δεν μπορεί να απορριφθεί απλά στο περιβάλλον, καθώς η αποσύνθεση του ορού είναι τοξική για το περιβάλλον και απαιτεί τεράστια ποσά οξυγόνου.

#### **2.2.1. Συστατικά Όξινου Ορού**

Ο ορός είναι ένα πολυσύνθετο διάλυμα που περιλαμβάνει πολλά από τα ευδιάλυτα συστατικά του γάλακτος. Η ξηρή μάζα του ορού αποτελείται κυρίως από υδατάνθρακες (λακτόζη), πρωτεΐνες (διαφόρων χημικών συστάσεων πρωτεΐνες ορού), διάφορα άλατα και λίπη. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα συστατικά του όξινου και γλυκού ορού.

**Πίνακας 2.1.** Ανάλυση σύστασης όξινου και γλυκού ορού (Fischer & Kleinschmidt 2015)

Συστατικά	Όξινος Ορός	Γλυκός Ορός
Συνολικά σάκχαρα ( $g \cdot L^{-1}$ )	39,1 ± 1,17	38,7 ± 0,75
Γλυκόζη ( $g \cdot L^{-1}$ )	Δεν ανιχνεύθηκε	0,30 ± 0,02
Γαλακτόζη ( $g \cdot L^{-1}$ )	1,10 ± 0,09	0,43 ± 0,05
Λακτόζη ( $g \cdot L^{-1}$ )	38,0 ± 1,08	38,0 ± 0,68
Συνολική πρωτεΐνη ( $g \cdot L^{-1}$ )	3,02 ± 0,03	5,56 ± 0,08
Πρωτεΐνη ορού ( $g \cdot L^{-1}$ )	2,42 ± 0,70	5,11 ± 0,07
Καζεΐνη ( $g \cdot L^{-1}$ )	0,60 ± 0,18	0,45 ± 0,09
NPN ( $g \cdot L^{-1}$ )	1,63 ± 0,05	0,71 ± 0,02
Τέφρα ( $g \cdot L^{-1}$ )	7,42 ± 0,01	4,33 ± 0,01
Γαλακτικό οξύ ( $g \cdot L^{-1}$ )	8,11 ± 0,08	0,50 ± 0,01
Λίπη ( $g \cdot L^{-1}$ )	0,18 ± 0,01	0,47 ± 0,01
Na <sup>+</sup> (mM)	18,6 ± 0,25	16,5 ± 0,35
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mM)	10,4 ± 0,25	2,41 ± 0,05
K <sup>+</sup> (mM)	45,2 ± 0,59	29,6 ± 0,95
Mg <sup>2+</sup> (mM)	4,90 ± 0,09	2,81 ± 0,09
Ca <sup>2+</sup> (mM)	25,5 ± 0,70	8,44 ± 0,22
Cl <sup>-</sup> (mM)	42,6 ± 0,56	21,5 ± 0,53
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mM)	0,33 ± 0,02	0,81 ± 0,04
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mM)	17,6 ± 0,37	8,35 ± 0,19
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mM)	0,64 ± 0,02	1,14 ± 0,18

\*Ποσότητες επί του συνόλου του ορού

Πέρα από τη σημαντικά χαμηλότερη τιμή pH και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε γαλακτικό οξύ, ο όξινος ορός παρουσιάζει και υψηλότερη περιεκτικότητα σε ασβέστιο και φωσφόρο, η οποία προκύπτει από τη διαλυτοποίηση του φωσφορικού ασβεστίου των καζεϊνικών μικυλλίων. Αντίθετα, στην περίπτωση του γλυκού ορού, η απομάκρυνση του ασβεστίου από τα καζεϊνικά μικύλλια δεν πραγματοποιείται κατά την πήξη σε τιμή pH 6 ή υψηλότερη, με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του ασβεστίου του γάλακτος να διατηρείται στο προϊόν και να μην παραλαμβάνεται στον γλυκό ορό. Οι διαφορές στην οξύτητα και την περιεκτικότητα ασβεστίου φαίνεται να είναι οι κύριοι λόγοι που διαφοροποιούν τους δύο τύπους ορού ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες.

### 2.2.2. Αξιοποίηση Όξινου Ορού

Για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, οι βιομηχανίες απέρριπταν τον ορό σε υδάτινους πόρους. Αυτή η μέθοδος διαχείρισης ήταν ανεκτή για ένα διάστημα, όμως οι απαιτήσεις του ορού σε Βιολογικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand-BOD) και Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand-COD), οι οποίες ξεπερνούν τα 35000 ppm και τα 60000 ppm αντίστοιχα, ώθησε την καθιέρωση αυστηρής περιβαλλοντικής νομοθεσίας, η οποία πλέον απαγορεύει τη διάθεση ανεπεξέργαστου ορού στο περιβάλλον (Mawson, 1994). Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των αποβλήτων. Το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο είναι η ποσότητα του οξυγόνου

που απαιτείται από μικροοργανισμούς προκειμένου να αποικοδομήσουν βιολογικά τα απόβλητα. Τα κύρια συστατικά του ορού που μπορούν να αποικοδομηθούν είναι η λακτόζη και η πρωτεΐνη και γι' αυτόν τον λόγο οι απαιτήσεις σε BOD και COD οφείλονται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητα του ορού σε λακτόζη και πρωτεΐνη.

Όπως γίνεται κατανοητό, τα περιβαλλοντικά προβλήματα από την ανεπεξέργαστη απόθεση του ορού είναι έντονα και γι' αυτό πλέον υπάρχουν αυστηροί σχετικοί κανονισμοί. Όμως, έχει αρχίσει να αναδύεται μια νέα προοπτική σχετικά με τον ορό, η οποία σχετίζεται με την αξιοποίηση των συστατικών του, τα οποία έχουν αξιόλογες φυσικές, χημικές, θρεπτικές και βιολογικές ιδιότητες (Smithers, 2015).

Μερικές προοπτικές για την αξιοποίηση του όξινου ορού στραγγιστού γιαουρτιού περιλαμβάνουν την απομόνωση πολύτιμων δευτερευόντων συστατικών όπως πρωτεΐνες και πεπτίδια με τη χρήση τεχνολογιών προσρόφησης όπως χρωματογραφία με πορώδες και ανθεκτικές σε οξέα ρητίνες (Woonton et al. 2013), την απομόνωση λακτόζης υψηλής καθαρότητας με τη χρήση μεθόδου ιοντο-αποκλεισμού (Hourigan et al. 2013) και την παραγωγή γαλακτο-ολιγοσακχαριτών (Γαλάνη, 2016), για εφαρμογές ως πρεβιοτικές ίνες, είτε άμεσα από τον όξινο ορό είτε από την απομονωμένη λακτόζη (Fischer & Kleinschmidt, 2014).

### **2.3. Μη-Αφομοιώσιμοι Ολιγοσακχαρίτες**

Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι η μικροχλωρίδα του παχέος εντέρου έχει σημαντική επίδραση στην υγεία του ανθρώπου (Steer, Carpenter, Tuohy, & Gibson, 2000). Η σύνθεση της εντερικής μικροχλωρίδας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η οξύτητα, η σύνθεση του εντερικού υγρού, και η αλληλεπίδραση μεταξύ βακτηρίων και θρεπτικών συστατικών. Έτσι, ότι οι διαφορές στη σύσταση των τροφών, προκαλούν μεταβολές στη σύνθεση των βακτηρίων στον εντερικό σωλήνα.

Υπάρχει μια κατηγορία συστατικών τροφίμων, η οποία έχει ανθεκτικότητα στα γαστρικά οξέα, στην ενζυμική υδρόλυση και τη γαστρεντερική απορρόφηση, τα πρεβιοτικά (prebiotics). Ως πρεβιοτικά ορίζονται τα «επιλεκτικά ζυμωμένα συστατικά που επιφέρουν συγκεκριμένες αλλαγές, στη σύνθεση ή/και στη δραστηριότητα της γαστρεντερικής μικροχλωρίδας, και παρέχουν υγεία και ευεξία στον οργανισμό δέκτη» (Gibson, 2004).

Ως πρεβιοτικά ταξινομούνται όλα τα συστατικά που είναι σε θέση να αντέξουν την πεπτική διαδικασία πριν φτάσουν στο παχύ έντερο και κατά προτίμηση να μπορούν να παραμείνουν στο παχύ έντερο ώστε να τα οφέλη να είναι αισθητά. Παράλληλα, η εκλεκτική αύξηση της ανάπτυξης ή/και της δραστηριότητας των εντερικών βακτηρίων που ενδεχομένως συνδέονται με την καλή υγεία και την ευεξία,

έχει απαιτηθεί ως ένα από τα κριτήρια χαρακτηρισμού ενός συστατικού ως πρεβιοτικό.

Τα κυριότερα πρεβιοτικά είναι οι μη-αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες (Non Digestible Oligosaccharides –NDOs). Οι ενώσεις αυτές παρουσιάζουν σημαντικές φυσικοχημικές και φυσιολογικές ιδιότητες, που ευνοούν την υγεία των καταναλωτών. Σε αυτές τις ιδιότητες περιλαμβάνονται η ικανότητα διέγερσης της ανάπτυξης των βακτηρίων στο κόλον (*bifidobacteria, lactobacilli*), η μείωση της πιθανότητας μόλυνσεων, διάρροιας, και η βελτίωση της απόκρισης του ανοσοποιητικού συστήματος. Επιπλέον, λόγω της μείωσης του εντερικού pH που προκαλείται από την ζύμωση των NDOs, προκαλείται μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών στη μικροχλωρίδα του εντέρου. Για όλους τους παραπάνω λόγους, οι μη-αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες ταξινομούνται ως λειτουργικά συστατικά (Rivero-Urgell & Santamaria-Orleans, 2001, Roberfroid & Slavin, 2000).

Παράλληλα, τα συστατικά αυτά έχουν τη δυνατότητα να βελτιώνουν την ποιότητα πολλών τροφίμων, είτε τροποποιώντας την γεύση τους είτε βελτιώνοντας τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους (Crittenden & Playne, 1996, Rivero-Urgell & Santamaria-Orleans, 2001).

### **2.3.1. Φυσικοχημικές Ιδιότητες**

Οι υδατάνθρακες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το μέγεθος των μορίων ή τον βαθμό πολυμερισμού (αριθμός ενωμένων μονοσακχαριτών), σε μονοσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες ή πολυσακχαρίτες. Σύμφωνα με τον ονοματολογία κατά IUB-IUPAC, ολιγοσακχαρίτες ονομάζονται σακχαρίτες που περιέχουν από 3 έως 10 μονάδες σακχάρων. Συνεπώς, οι ολιγοσακχαρίτες είναι υδατάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους. Παράλληλα, ανάλογα με τη φυσιολογική τους δράση, μπορούν να ταξινομηθούν ως αφομοιώσιμοι ή μη-αφομοιώσιμοι. Η έννοια των μη-αφομοιώσιμων ολιγοσακχαριτών βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ανωμερικό άτομο άνθρακα (C1 ή C2) των μονοσακχαριτών σε ορισμένους ολιγοσακχαρίτες έχει τέτοια διαμόρφωση που κάνει τον γλυκοζιτικό δεσμό μη διασπάσιμο κατά υδρολυτική δραστηριότητα των πεπτικών ενζύμων του ανθρώπου (Roberfroid & Slavin, 2000).

Οι χημικές διαφορές μεταξύ των μη-αφομοιώσιμων ολιγοσακχαριτών εντοπίζονται στον βαθμό πολυμερισμού, στο είδος των μονοσακχαριτών, στο βαθμό διακλαδώσεων και στην καθαρότητα. Η θερμιδική τους αξία έχει υπολογιστεί περίπου 1.0-2.0kcal/g, το οποίο είναι περίπου 50-75% μικρότερο σε σχέση με τους αφομοιώσιμους υδατάνθρακες όπως η ζάχαρη. Στον πίνακα 2.2 φαίνονται τα βασικά είδη μη-αφομοιώσιμων ολιγοσακχαριτών.

**Πίνακας 2.2.** Είδη ολιγοσακχαριτών που λειτουργούν ως πρεβιοτικά (Sako, T., Matsumoto, K., & Tanaka, R., 1999).

Name	Molecular structure <sup>a</sup>	Physiological features
Lactulose	Ga-Fr	$\beta$ -1,4
Lactosucrose	Ga-Gu-Fr	$\beta$ -1,4
Raffinose	Ga-Gu-Fr	$\alpha$ -1,6
Galacto-oligosaccharides	(Ga) <sub>n</sub> -Gu	$\beta$ -1,4, $\beta$ -1,6
Fructo-oligosaccharides	(Fr) <sub>n</sub> -Gu	$\beta$ -1,2
Soybean oligosaccharides	(Ga) <sub>n</sub> -Gu-Fr	$\alpha$ -1,6
Isomalto-oligosaccharides	(Gu) <sub>n</sub>	$\alpha$ -1,6
Xylo-oligosaccharides	(Xy) <sub>n</sub>	$\beta$ -1,4
Palatinose-oligosaccharides	(Gu-Fr) <sub>n</sub>	$\alpha$ -1,6
Glycosylsucrose	(Gu) <sub>n</sub> -Fr	$\alpha$ -1,4
Malto-oligosaccharides	(Gu) <sub>n</sub>	$\alpha$ -1,4
Cyclodextrins	(Gu) <sub>n</sub>	$\alpha$ -1,4 cyclic structure
Gentio-oligosaccharides	(Gu) <sub>n</sub>	$\beta$ -1,6
Total		

<sup>a</sup>Ga: galactose; Gu: glucose; Fr: fructose; Xy: xylose.

Από φυσικοχημική πλευράς, οι ολιγοσακχαρίτες είναι διαλυτοί στο νερό και συνήθως έχουν 0,3-0,6 φορές την γλυκύτητα της ζάχαρης. Συγκεκριμένα, η γλυκύτητα εξαρτάται από τη χημική δομή, το βαθμό πολυμερισμού και τα επίπεδα μόνο- και δι-σακχαριτών στο μίγμα, ενώ όσο η γλυκύτητα αυξάνεται όσο η αλυσίδα των ολιγοσακχαριτών αυξάνεται (Crittenden & Playne, 1996, Roberfroid & Slavin, 2000).

Αυτή η σχετικά μικρή γλυκύτητα της ζάχαρης καθιστά τους ολιγοσακχαρίτες χρήσιμους στην παραγωγή των τροφίμων, αφού λειτουργούν ως συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη ποσότητα, ενισχύοντας την γεύση του προϊόντος. Παράλληλα, το υψηλό μοριακό τους βάρος έναντι των μόνο- ή δι-σακχαριτών παρέχει αυξημένο ιξώδες, που οδηγεί σε βελτιωμένο σώμα και υφή (Crittenden & Playne, 1996).

Η σταθερότητα διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων τάξεων ολιγοσακχαριτών ανάλογα με την ποσότητα απλών σακχάρων που έχει απομείνει, τη δομή και τον τύπο των δεσμών. Γενικότερα, οι  $\beta$ -δεσμοί είναι πιο ισχυροί σε σχέση με τους  $\alpha$ -δεσμούς, ενώ οι εξόζες είναι ισχυρότερα ενωμένες από τις πεντόζες. Παρ' όλα αυτά, συνολικά για τους μη-αφομοιώσιμους υδατάνθρακες ισχύει ότι σε τιμές pH μικρότερες από 4, και σε υψηλές θερμοκρασίες ή μεγάλες περιόδους αποθήκευσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι ολιγοσακχαρίτες μπορούν να υδρολυθούν με αποτέλεσμα την απώλεια της διατροφικής και φυσικοχημικής τους αξίας (Voragen, A. G. J. 1998).

Οι ολιγοσακχαρίτες μπορούν επίσης να αλλάξουν το σημείο κατάψυξης των τροφίμων καθώς και να ελέγξουν την ένταση του μη-ενζυμικού μαυρίσματος εξαιτίας της αντίδρασης Maillard, στα τρόφιμα που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία.

Επίσης, προσφέρουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, προλαμβάνοντας την εκτεταμένη αφυδάτωση, οδηγώντας παράλληλα σε χαμηλά επίπεδα ενεργότητας νερού (Crittenden & Playne, 1996).

### 2.3.2. Εφαρμογές στη Βιομηχανία Τροφίμων

Μεγάλος αριθμός μη-αφομοιώσιμων υδατανθράκων έχει χρησιμοποιηθεί ως λειτουργικό συστατικό στη βιομηχανία τις τελευταίες δεκαετίες, και οι εφαρμογές τους συνεχώς αυξάνονται. Οι κυριότερες χρήσεις τους εστιάζονται σε αναψυκτικά, σε προϊόντα γάλακτος, σε προβιοτικά γιαούρτια και σε συμβιωτικά προϊόντα (προϊόντα που περιέχουν τόσο προβιοτικά όσο και πρεβιοτικά).

Άλλες εφαρμογές τους βρίσκουμε στην παρασκευή γλυκισμάτων (ζελέ, πάστες κ.α.), σε προϊόντα ζαχαροπλαστικής (μπισκότα, καραμέλες, μαρμελάδες κ.α.), σε αρτοσκευάσματα και σε προϊόντα κρέατος. Ακόμη, σημαντική είναι η εφαρμογή τους σε παιδικές τροφές και σε τροφές για ηλικιωμένους, όπου η μεταβολή της εντερικής μικροχλωρίδας είναι απαραίτητη.

Ο ρόλος τους πολλές φορές είναι διττός, τόσο για τα οφέλη που προσφέρουν στον οργανισμό δέκτη, όσο και για τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες που συμβάλλουν στην οργανοληπτική βελτίωση του προϊόντος. Στον πίνακα 2.3 φαίνονται ορισμένες χρήσεις τους στη βιομηχανία.

**Πίνακας 2.3.** Χρήσεις των μη αφομοιώσιμων υδατανθράκων στη βιομηχανία τροφίμων. (Yanbo Wang, 2009)

Εφαρμογές	Λειτουργικές Ιδιότητες
Γιαούρτια και Γλυκά	Αντικατάσταση ζάχαρης, Υφή, «Αίσθηση στο στόμα», Διαιτητικές ίνες, Πρεβιοτικό
Αναψυκτικά και Ποτά	Αντικατάσταση ζάχαρης, «Αίσθηση στο στόμα», Σταθεροποίηση αφρού, Πρεβιοτικά
Ψωμί και Γέμιση	Αντικατάσταση ζάχαρης ή λιπαρών, Υφή, Διαιτητικές ίνες, Πρεβιοτικό
Προϊόντα Κρέατος	Αντικατάσταση λιπαρών, Υφή, Σταθεροποίηση, Διαιτητικές ίνες
Διαιτητικά Προϊόντα	Αντικατάσταση ζάχαρης ή λιπαρών, Διαιτητικές ίνες, Πρεβιοτικό
Κέικ και Μπισκότα	Αντικατάσταση ζάχαρης, Διατήρηση υγρασίας, Διαιτητικές ίνες, Πρεβιοτικό
Σοκολάτα	Αντικατάσταση ζάχαρης, Αντίσταση στη θερμότητα, Πρεβιοτικό
Προϊόντα Ζαχαροπλαστικής	Αντικατάσταση ζάχαρης, Διαιτητικές ίνες, Πρεβιοτικό
Σούπες και Σάλτσες	Αντικατάσταση ζάχαρης, Πρεβιοτικό
Παιδική Τροφή	Υφή και «Αίσθηση στο στόμα», Διαιτητικές ίνες, Σταθεροποίηση, Πρεβιοτικό

### 2.3.3. Εφαρμογές στην Ωσμωτική Αφυδάτωση

Η χρήση των ολιγοσακχαριτών ως εναλλακτικά ωσμωτικά μέσα έχει μελετηθεί τα τελευταία χρόνια, με τη έρευνα να εστιάζεται στους φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες. Οι Angilelli et al.(2015), μελέτησαν και μοντελοποίησαν την κινητική των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση φυτικού ιστού πεπονιού με διαλύματα φρουκτο-ολιγοσακχαριτών. Οι Nambiar (2016), διερεύνησαν την έγχυση με φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες σε ινδικά φραγκοστάφυλα (Indian gooseberry) και αξιολόγησαν τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες του τροποποιημένου ιστού και οι Rubio-Arrea et al. (2015), δημοσίευσαν μια συγκριτική μελέτη αναφορικά με την κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης τεμαχισμένου λεμονιού με τη χρήση καινοτόμων ωσμωτικών γλυκαντικών όπως ολιγοφρουκτόζη, ταγκατόζη και υδατικό διάλυμα εκχυλίσματος φύλλων στέβιας. Ακόμη, οι Matusek et al. (2008), μελέτησαν τη χρήση φρούκτο-ολιγοσακχαριτών έναντι σακχαρόζης στο ωσμωτικό μέσο κατά την αφυδάτωση κύβων μήλου, όπου και βρέθηκε ότι η κινητική των φαινομένων μεταφοράς κατά την ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του ωσμωτικού σακχάρου. Τέλος, μια σειρά δημοσιεύσεων έχει γίνει σχετικά με τη χρήση ολιγοφρουκτόζης στο ωσμωτικό διάλυμα ως προκατεργασία πριν της κατάψυξη με σκοπό τη βελτίωση των ωσμωκατεψυγμένων προϊόντων όπως τα κατεψυγμένα πράσινα μπιζέλια, οι τομάτες, το αγγούρι, η φράουλα και το καρπούζι (Giannakou, Taoukis, 2003, Dermesonlouoglou et al. 2007, Dermesonlouoglou et al. 2008, Dermesonlouoglou et al. 2016) Η χρήση άλλων τύπων ολιγοσακχαριτών δεν έχει ακόμη διερευνηθεί βιβλιογραφικά.

### 2.4. Γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (GOS)

Οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες είναι μη-αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες, που παράγονται βιομηχανικά από λακτόζη με τη δράση της β-γαλακτοζιδάσης, που εμφανίζει δραστηριότητα τρανσγλυκοζυλίωσης. Η σύνδεση μεταξύ των μονάδων γαλακτόζης, η αποδοτικότητα της τρανσγαλακτοζυλίωσης και τα συστατικά του τελικού προϊόντος εξαρτώνται από τα ένζυμα και τις συνθήκες της αντίδρασης. Ένα διάλυμα λακτόζης υψηλής συγκέντρωσης, που συνήθως απομονώνεται από ορό αγελαδινού γάλακτος, χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα για την αντίδραση αυτή. Τα κύρια προϊόντα της αντίδρασης αυτής είναι τρισακχαρίτες, που ονομάζονται 4'- ή 6'-γαλακτοζυλακτόζη, και μακρύτεροι ολιγοσακχαρίτες με 4 ή περισσότερα μόρια μονοσακχαρίτη.

Από φυσικοχημικής άποψης, οι εμπορικά διαθέσιμοι GOS είναι μίγμα ολιγοσακχαριτών με διαφορετικό μοριακό μέγεθος ( $\approx 55\%$ ), λακτόζης ( $\approx 30\%$ ), γλυκόζης ( $\approx 20\%$ ) και μικρό μέρος γαλακτόζης. Βασικό πλεονέκτημα τους αποτελεί η αυξημένη σταθερότητα που παρουσιάζουν σε συνθήκες χαμηλού pH (2-3) και υψηλής θερμοκρασίας (100-120°C). Παράλληλα, η συγκέντρωση τους παραμένει σταθερή κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για μεγάλο

διάστημα, ακόμα και σε όξινο περιβάλλον. Πολλές φορές η σταθερότητα τους είναι καλύτερη και από εκείνη των φρουκτο-ολιγοσακχαριτών (Voragen, 1998). Τέλος, το ιξώδες των διαλυμάτων GOS είναι ελαφρά μεγαλύτερο σε σχέση αυτό του σιροπιού φρουκτόζης (HFCS), ενώ εμφανίζουν αντίστοιχη ωσμωτική πίεση με διάλυμα σακχαρόζης σε ίδιες συγκεντρώσεις. Επίσης, έχουν αντίστοιχη ενεργότητα νερού σε σχέση με τα διαλύματα σακχαρόζης και μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας (Sako, T., Matsumoto, K., & Tanaka, R., 1999). Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν του γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες ιδανικό ωσμωτικό μέσο, που προσφέρει πολλαπλά οφέλη στο προϊόν.



## Κεφάλαιο 3: Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία

### **3.1. Εισαγωγή**

Η μεταφορά μάζας συμβαίνει κατά τη μετανάστευση μιας ουσίας μεταξύ δύο φάσεων, υπό την επίδραση της βαθμίδωσης συγκέντρωσης με σκοπό την επίτευξη της ισορροπίας (Welti-Chanes et al. 2005). Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις στην επεξεργασία τροφίμων, όπως για παράδειγμα κατά την απομάκρυνση νερού (ξήρανση) ή και τον εμπλουτισμό των τροφίμων με επιθυμητά συστατικά (ωσμωτική αφυδάτωση).

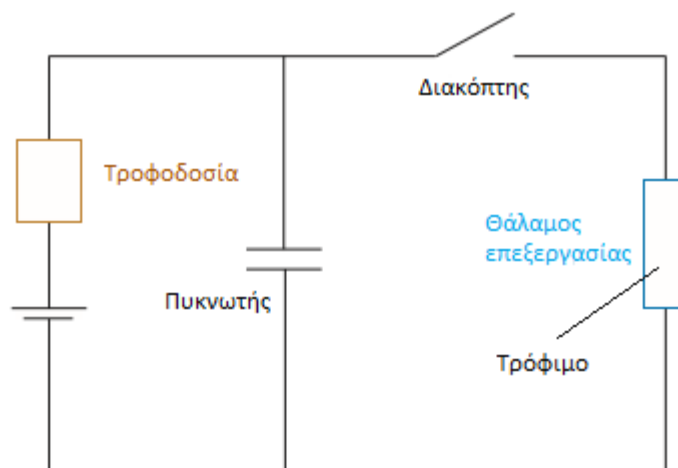
Η δομή των φυτικών προϊόντων αποτελείται από ιστούς που περιέχουν πυρήνα, κυτταρόπλασμα και υποκυτταρικά οργανίδια που περικλείονται σε μια κυτταροπλασματική μεμβράνη που καθορίζει τα όρια τους και ένα κυτταρικό τοίχωμα. Οι κυτταρικές μεμβράνες είναι διπλοστοιβάδες που περιέχουν πρωτεΐνες ενσωματωμένες σε μια λιπιδική μήτρα.

Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η διαφορά συγκέντρωσης των ουσιών μεταξύ των δύο φάσεων ή την αντίσταση που βρίσκει κατά τη μετανάστευση από τη μια φάση στην άλλη. Η παρουσία μιας ακέραιας κυτταροπλαστικής μεμβράνης, η οποία λειτουργεί ως ημιπερατό φράγμα, επηρεάζει τη μετανάστευση των ουσιών από και προς το φυτικό κύτταρο. Η μεταφορά μάζας στο τρόφιμο εξαρτάται κυρίως από τη διάχυση μέσω αυτών των μεμβρανών (Puertolas et al. 2012).

Το ενδιαφέρον της βιομηχανίας για ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς και συνεπώς τη μείωση του χρόνου της επεξεργασίας, πηγάζει από την ανάγκη για αύξηση της παραγωγικότητας, τη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών του τροφίμου και τη μείωση του κόστους της διεργασίας. Για τον σκοπό αυτό, πολλές φορές τα τρόφιμα υποβάλλονται σε μηχανική ή θερμική επεξεργασία, ώστε να αυξηθεί η διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών (Toerfl et al. 2006). Ωστόσο, οι τεχνικές αυτές έχουν μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις ενώ μπορούν να προκαλέσουν την απώλεια θρεπτικών συστατικών του τροφίμου. Η επεξεργασία του τροφίμου με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις συμβατικές αυτές μεθόδους, αφού έχει αποδειχθεί ως μια αποτελεσματική μέθοδος για τη διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών, χωρίς να αυξάνει τη θερμοκρασία και με χαμηλό λειτουργικό κόστος (Toerfl et al. 2006).

### 3.2. Αρχή Λειτουργίας PEF

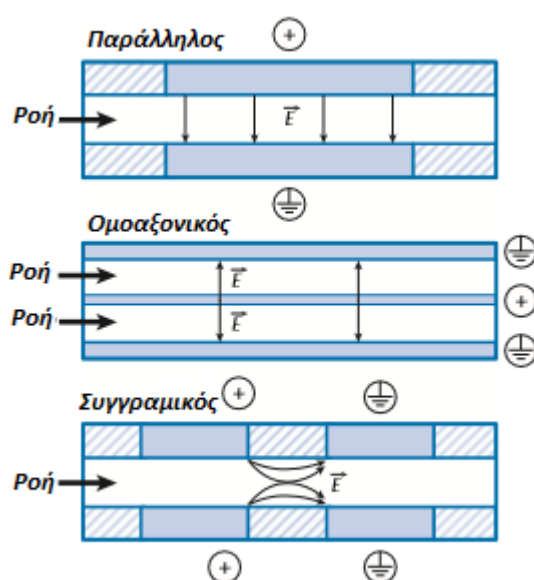
Η αρχή λειτουργίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (Pulsed Electric Field- PEF) είναι σχετικά απλή. Ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής ισχύος συλλέγεται για παρατεταμένη χρονική περίοδο και αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή. Στη συνέχεια, ο πυκνωτής αποφορτίζεται σχεδόν στιγμιαία και η ενέργεια που μεταφέρεται είναι υψηλής ισχύος. Μια διάταξη παραγωγής PEF (Εικόνα 3.1) πρέπει να διαθέτει μια γεννήτρια παλμών και έναν θάλαμο επεξεργασίας στον οποίο εισέρχεται το τρόφιμο. Η γεννήτρια παλμών περιλαμβάνει έναν φορτιστή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και φορτίζει μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. πυκνωτή). Η εκκένωση της ηλεκτρικής ενέργειας στο θάλαμο επεξεργασίας ελέγχεται από ένα διακόπτη, ο οποίος σε βιομηχανική εφαρμογή αποτελεί ένα πολύ κρίσιμο εξάρτημα, καθώς πρέπει να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί ένα κύκλωμα με υψηλή τάση και ισχυρό ρεύμα σε κλάσματα δευτερολέπτου. Εάν η τάση του πυκνωτή δεν είναι αρκετά υψηλή, τότε χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής παλμών για να την αυξήσει. (Levieveld et al. 2007, Vega-Mercado et al. 2007, Deeth et al.2007, Puertolas et al. 2012)



Εικόνα 3.1: Διάταξη συσκευής παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

Όταν το τρόφιμο εισέλθει στον θάλαμο επεξεργασίας εφαρμόζονται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα ( $\mu\text{s}$ - $\text{ms}$ ) ηλεκτρικοί παλμοί υψηλής έντασης (0,1-30 kV/cm) (Picart & Cheftel 2003, Qin et al. 1995, Puertolas et al. 2012).

Ο θάλαμος επεξεργασίας αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια τα οποία χωρίζονται από ένα μονωτικό υλικό. Συνήθως στις έρευνες που διεξάγονται για να γίνει κατανοητή η συμβολή του PEF στη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης χρησιμοποιούνται στατικοί θάλαμοι που περιέχουν παράλληλα ηλεκτρόδια. Ωστόσο, πρόσφατα έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος όσον αφορά την ανάπτυξη θαλάμων επεξεργασίας συνεχούς ροής οι οποίοι είναι απαραίτητοι στην περίπτωση της βιομηχανικής εφαρμογής (Huang K. & Wang J. 2009). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφοροι σχεδιασμοί θαλάμων επεξεργασίας, παρόλα αυτά οι τρεις σημαντικότεροι που είναι και κατάλληλοι για εμπορική εφαρμογή είναι οι θάλαμοι με παράλληλα ηλεκτρόδια, οι ομοαξονικοί σχηματισμοί και οι συγγραμικοί (Εικόνα 3.2) (Puertolas et al. 2012).



Εικόνα 3.2: Θάλαμοι επεξεργασίας για εφαρμογή PEF

Κατά την εφαρμογή του PEF σε τρόφιμα πολλά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα, όπως αδρανοποίηση μικροοργανισμών και ενζύμων, διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης, ηλεκτροδιάτρηση των κυττάρων, ηλεκτρόλυση κ.α. (Deeth et al. 2007).

### 3.3. Παράμετροι Λειτουργίας

Οι πιο χαρακτηριστικές παράμετροι της διαδικασίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων είναι: η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ( $E$ ), ο χρόνος επεξεργασίας ( $t$ ), το σχήμα του παλμού, το πλάτος παλμού ( $\tau$ ), ο αριθμός των παλμών ( $n$ ), η ειδική ενέργεια του παλμού ( $W$ ) και η συχνότητα επανάληψης παλμών ( $f$ ). Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και ο χρόνος επεξεργασίας είναι οι κύριες παράμετροι της διαδικασίας.

*Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου*

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αναφέρεται στην ένταση του πεδίου στο θάλαμο επεξεργασίας, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του δείγματος. Εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, τη γεωμετρία του θαλάμου επεξεργασίας και την κατανομή των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του υλικού μεταξύ των ηλεκτροδίων (Raso et al. 2016). Στην περίπτωση των παράλληλων ηλεκτροδίων, το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται εντός του χώρου είναι ομοιογενές και η τιμή του μπορεί να υπολογισθεί διαιρώντας την τάση (V) που μετράται στα άκρα των ηλεκτροδίων στο θάλαμο επεξεργασίας, με την απόσταση των ηλεκτροδίων (d):

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{Εξίσωση 3.1})$$

*Ο χρόνος επεξεργασίας*

Ο χρόνος επεξεργασίας με PEF (t) αποτελεί συνάρτηση της διάρκειας του παλμού (πλάτος παλμού, τ) και του αριθμού των παλμών (n) που εφαρμόζονται:

$$t = n \cdot \tau \quad (\text{Εξίσωση 3.2})$$

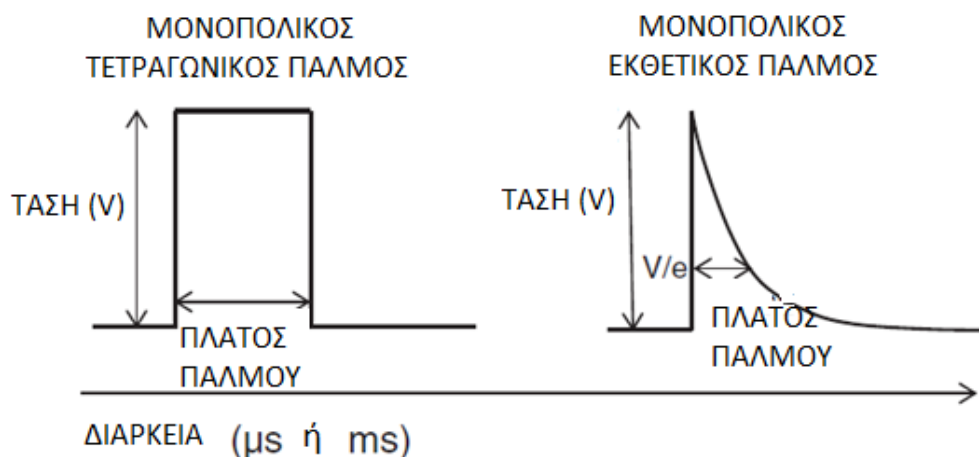
*Το σχήμα του παλμού*

Το σχήμα των παλμών που χρησιμοποιείται κατά την τεχνολογία PEF είναι αυτό της εκθετικής μείωσης, των τετραγωνικών κυματομορφών, καθώς επίσης χρησιμοποιούνται και οι διπολικόι παλμοί και οι παλμοί ταλάντωσης. Οι εκθετικές κυματομορφές χαρακτηρίζονται από μια ταχεία αύξηση στην επιθυμητή τάση, η οποία ακολουθείται από βραδεία μείωση προς το μηδέν (Leadley & Williams, 2006). Αυτή η κυματομορφή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από τους ερευνητές, είναι σχετικά απλό να δημιουργηθεί και να τροποποιηθεί. Οι τετραγωνικές κυματομορφές χρησιμοποιούνται αρκετά σε πολλές μελέτες σχετικά με την επεξεργασία PEF, αν και είναι πιο δύσκολη η παραγωγή τους. Και οι δύο μορφές παλμών είναι κατάλληλες για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών, ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι οι τετραγωνικές κυματομορφές είναι πιο αποτελεσματικές και γενικά θεωρούνται καλύτερη επιλογή εκ των δύο, διότι η μέγιστη τάση διατηρείται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ό, τι στην εκθετική μορφή και είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτικές (Leadley & Williams, 2006).

*Το πλάτος ή διάρκεια του παλμού*

Για ένα τετραγωνικό παλμό ως πλάτος ή διάρκεια παλμού ορίζεται ο χρόνος που η τάση διατηρείται στη μέγιστη τιμή της. Στην περίπτωση της εκθετικής μείωσης, το πλάτος του παλμού ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για τη μείωση της τάσης στο 37% της μέγιστης τιμής (Σχήμα 3.3).

## ΣΧΗΜΑ ΠΑΛΜΟΥ



**Σχήμα 3.3:** Οι παλμοί που χρησιμοποιούνται κυρίως στην τεχνολογία PEF

### *Η συχνότητα επανάληψης των παλμών*

Η συχνότητα δηλώνει τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται ανά μονάδα χρόνου, και μετριέται σε Hz (αριθμός παλμών/s). Ο προσδιορισμός της συχνότητας του παλμού είναι σημαντικός, δεδομένου ότι προσδιορίζει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παραδίδεται ανά μονάδα χρόνου στο προϊόν στο θάλαμο επεξεργασίας, η οποία, με τη σειρά της, επηρεάζει τη θερμοκρασιακή αύξηση του επεξεργασμένου προϊόντος λόγω του φαινομένου Joule (Raso et al. 2016).

### *Η ειδική ενέργεια των παλμών*

Η ειδική ενέργεια (W, kJ/kg/pulse) αφορά στην ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνει το προϊόν στο θάλαμο επεξεργασίας ανά παλμό και εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του προς επεξεργασία προϊόντος και από το σχήμα του παλμού (συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης τάσης και του πλάτους του παλμού). Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του προϊόντος μεταβάλλονται κατά την επεξεργασία PEF. Πιο συγκεκριμένα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται λόγω της ηλεκτροδιάτρησης της μεμβράνης και της διάχυσης ιόντων από τα κύτταρα στο νερό ή σε κάποιο άλλο μέσο χαμηλής αγωγιμότητας (Raso et al. 2016). Η ειδική ενέργεια ανά παλμό υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$W = \frac{1}{m} \int_0^{\infty} V(t) \cdot I(t) dt \quad (\text{Εξίσωση 3.3})$$

Όπου: m η μάζα του δείγματος,

V(t) η τάση στα άκρα του θαλάμου επεξεργασίας και

I(t) το ρεύμα που διαπερνά το θάλαμο επεξεργασίας τη χρονική στιγμή t.

Η συνολική ειδική ενέργεια ( $W_T$ , kJ/kg) μπορεί να υπολογισθεί πολλαπλασιάζοντας την ειδική ενέργεια ανά παλμό  $W$  με τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται:

$$W_T = W \cdot n \quad (\text{Εξίσωση 3.4})$$

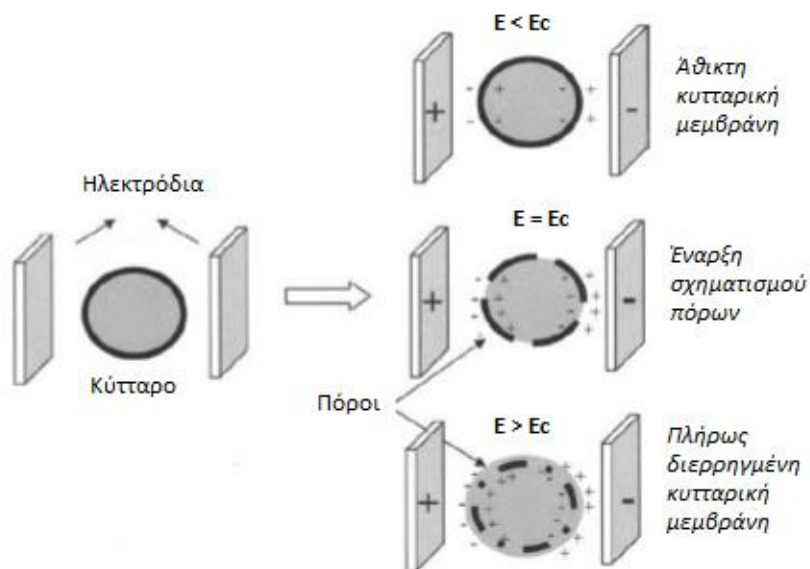
### 3.4. Η Επίδραση της Τεχνολογίας PEF στην Κυτταρική Μεμβράνη

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μια από τις χρήσεις του PEF είναι για την αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ηλεκτροδιάτρηση και είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο απενεργοποίησης μικροοργανισμών σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούνται στις θερμικές επεξεργασίες, ενώ ακόμα ενισχύει και τα φαινόμενα μεταφοράς (Teissie et al. 2002, Alvarez I. 2016).

Η επίδραση της εφαρμογής εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου σε ένα κύτταρο μπορεί να περιγραφεί από τέσσερα στάδια. Αρχικά αυξάνεται το διαμεμβρανικό δυναμικό της κυτταροπλασματικής μεμβράνης, στη συνέχεια ξεκινάει ο σχηματισμός πόρων που ακολουθείται από αλλαγές στον αριθμό και το μέγεθος των πόρων αυτών. Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η ηλεκτροδιάτρηση μπορεί να είναι αναστρέψιμη, κατά την οποία το κύτταρο επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, είτε μη αναστρέψιμη οπότε και συμβαίνει διαρροή των ενδοκυτταρικών ενώσεων ή είσοδος εξωκυτταρικών ουσιών (Saulis, 2010).

Έχουν αναπτυχθεί πολλές θεωρίες προκειμένου να εξηγηθεί το φαινόμενο της ηλεκτροδιάτρησης κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, οι οποίες αναφέρουν ότι το ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί συμπίεση της μεμβράνης με αποτέλεσμα η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται να ξεπερνάει τις δυνάμεις επαναφοράς (Zimmermann et al. 1974, Ho & Mittal 1996, Teissie et al. 2005) Πιο αναλυτικά, όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο υψηλής έντασης στα κύτταρα, ιόντα μεταφέρονται μέσω του πεδίου μέχρι να φτάσουν στη μεμβράνη όπου και συγκρατούνται με αποτέλεσμα την αύξηση του δυναμικού που παρατηρείται (Saulis G., 2010). Τα φορτία των επιφανειών της κυτταρικής μεμβράνης είναι ετερόσημα γι' αυτό και έλκονται μεταξύ τους με συνέπεια τη συνεχή μείωση του πάχους της και την αύξηση των δυνάμεων έλξεως (Jeyamkondan et al. 1999, Barbosa-Canovas et al. 1999, Deeth et al. 2007). Οι ιζωδοελαστικές ιδιότητες της κυτταρικής μεμβράνης αντιτίθενται στη συμπίεσή της λόγω των δυνάμεων έλξεως, ωστόσο σε ένα αρκετά αγώγιμο ρευστό οι δυνάμεις επαναφοράς δε συγκρίνονται με τις δυνάμεις έλξεως που αναπτύσσονται κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου (Barsotti & Cheftel 1999, De Jong & Van Heesch 1998).

Υπάρχει μια κρίσιμη τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ( $E_c$ ), η οποία για τους φυτικούς ιστούς είναι 0,05 έως 0,5 kV/cm, όπου η συμπίεση που ασκείται σπάει την κυτταρική μεμβράνη ή δημιουργεί πόρους (Εικόνα 3.4) (Asavasanti et al. 2010). Αυτό συμβαίνει διότι όταν το δυναμικό της μεμβράνης έχει την απαιτούμενη ένταση προκειμένου να ξεπεράσει τις δυνάμεις επαναφοράς τότε δημιουργούνται διαταραχές σε διάφορα σημεία της επιφάνειας της μεμβράνης. Το φαινόμενο αυτό της διάρρηξης της μεμβράνης μπορεί να είναι αντιστρεπτό ή όχι, εξαρτάται από την ένταση του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόζεται καθώς και του αριθμού των παλμών (Alvarez I. 2016). Αν η ένταση δεν είναι αρκετά υψηλή ώστε οι μεταβολές να είναι μόνιμες, τότε μόλις σταματήσει η εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου, η κυτταρική μεμβράνη έχει την τάση να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν οι τιμές της έντασης είναι γύρω από την κρίσιμη τιμή (Zimmermann U. et al. 1986, Saulis G. 2010, Puertolas E. et al. 2001). Αντίθετα, στην περίπτωση που εφαρμοστεί υψηλή τάση (1-10kV/cm) και για διάστημα μεγαλύτερο των 10-15 ms τότε οι μεταβολές στην κυτταρική μεμβράνη είναι μη αντιστρεπτές. Μη αντιστρεπτές μεταβολές απαιτούνται στην περίπτωση της απενεργοποίησης μικροοργανισμών και ενίσχυσης φαινομένων μεταφοράς γι' αυτό και στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζονται υψηλές τάσεις (Castro et al. 1993, Deeth et al. 2007, Saulis G. 2010, Puertolas E. et al. 2001).

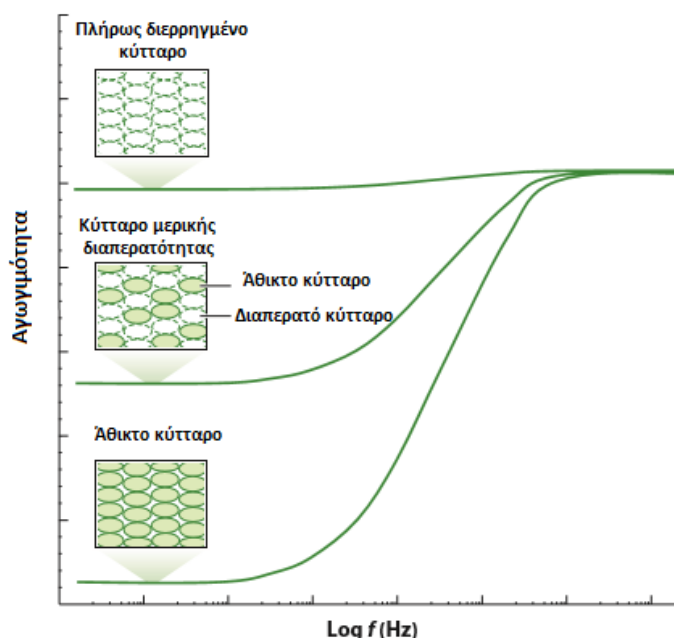


**Εικόνα 3.4:** Διάρρηξη κυτταρικής μεμβράνης ανάλογα με την εφαρμοζόμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

Οι θεωρίες που έχουν προταθεί για την ηλεκτροδιάτρηση των κυτταρικών μεμβρανών, βασίζονται σε πειράματα που έχουν εφαρμοστεί σε απλά συστήματα όπως ευκαρυωτικά κύτταρα. Ωστόσο, τα τρόφιμα αποτελούν ένα ιδιαίτερο σύστημα, με πολύπλοκη δομή. Στην περίπτωση των τροφίμων, η διανομή του ηλεκτρικού πεδίου εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες των συστατικών του τροφίμου, το πορώδες, τη δομή και μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια εφαρμογής του PEF. (Vorobiev & Lebonka 2006)

### 3.4.1. Δείκτης Κυτταρικής Διάρρηξης, Z

Μια αποτελεσματική μέθοδος για την εκτίμηση του βαθμού διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης κατά την εφαρμογή του PEF είναι η μέτρηση της μεταβολής της αγωγιμότητας του ιστού του κυττάρου. (Angersbach A., Heinz V. & Knorr D. 1999) Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ανάλυση της σχέσης μεταξύ της συχνότητας και της αγωγιμότητας των κυττάρων. Σε χαμηλές συχνότητες (1-5kHz) η αγωγιμότητα του ιστού αυξάνεται λόγω της αντιστρεπτής ηλεκτροδιάτρησης της κυτταρικής μεμβράνης. Σε μεγάλες, όμως, συχνότητες (3-50MHz) η μεταβολή της αγωγιμότητας είναι ίδια τόσο για την άθικτη κυτταρική μεμβράνη όσο και για την πλήρως διαπερατή. Αυτό συμβαίνει διότι σε πολύ υψηλές συχνότητες η μεμβράνη δεν παρουσιάζει αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα επομένως η διαπερατότητα είναι η ίδια. Η εξάρτηση αυτή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας από τη συχνότητα παρουσιάζεται στην εικόνα 3.5.



**Εικόνα 3.5:** Επίδραση συχνότητας στην αγωγιμότητα φυτικού ιστού για άθικτα, μερικώς διαπερατά και πλήρως διερρηγμένα κύτταρα για εφαρμογή συχνοτήτων από 1kHz έως 50MHz.



Με βάση όσα προαναφέρθηκαν έχει αναπτυχθεί ένας δείκτης κυτταρικής διάρρηξης ( $Z$ ) ο οποίος προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Z = 1 - \left( \frac{K_b}{K'_b} \right) \cdot \frac{(K'_b - K'_l)}{(K_b - K_l)} \quad (\text{Εξίσωση 3.5})$$

Όπου:

$K_l, K'_l$  οι ηλεκτρικές αγωγιμότητες για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με PEF δείγμα αντίστοιχα, σε χαμηλές συχνότητες (1-5 kHz)

$K_b, K'_b$  οι ηλεκτρικές αγωγιμότητες για το ανεπεξέργαστο και το επεξεργασμένο με PEF δείγμα αντίστοιχα, σε υψηλές συχνότητες (3-50 MHz)

Η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού του δείκτη κυτταρικής αποσύνθεσης ονομάζεται μέθοδος χαμηλής-υψηλής συχνότητας.

Εκτός από τη σχέση που προαναφέρθηκε, έχει προταθεί κι άλλη μια για τον δείκτη κυτταρικής διάρρηξης ελαφρώς διαφοροποιημένη, η οποία είναι η ακόλουθη:

$$Z = \frac{(K'_l - K_l)}{(K'_l^d - K_l)} \quad (\text{Εξίσωση 3.6})$$

Όπου,  $K_l, K'_l$  και  $K'_l^d$  οι ηλεκτρικές αγωγιμότητες του επεξεργασμένου σε συχνότητα 1-10kHz, του ανεπεξέργαστου και του πλήρως κατεστραμμένου δείγματος αντίστοιχα (Lebonka et al. 2002, Vorobiev E. & Lebonka 2010, Parniakov et al. 2016).

Ο δείκτης αυτός δηλώνει το ποσοστό διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης και παίρνει τιμές από 0 έως 1, όπου το 0 αντιστοιχεί στον άθικτο ιστό ενώ το 1 σε ένα πλήρως διαπερατό κύτταρο.

Ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης είναι ιδιαίτερα χρήσιμος προκειμένου να καθοριστούν οι ιδανικές συνθήκες επεξεργασίας τροφίμων για τη βελτίωση των φαινομένων μεταφοράς σε διάφορες διεργασίες όπως είναι η αφυδάτωση (Ade-Omowaye et al. 2000, Ade-Omowaye et al. 2003, Ade-Omowaye et al. 2002).

### 3.4.2. Παράγοντες που Επηρεάζουν τη διαπερατότητα της Μembrάνης

Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του PEF στην αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται κυρίως με τις συνθήκες διεργασίας όπως είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου, η διάρκεια επεξεργασίας, η ειδική ενέργεια, το σχήμα και το πλάτος παλμού, η συχνότητα και τέλος η θερμοκρασία (Puertolas E. et al. 2012, Angersbach et al. 2000, Picart & Cheftel 2003, Ferrari G. 2016).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για να πραγματοποιηθεί ηλεκτροδιάτρηση της κυτταρικής μεμβράνης απαιτείται η εφαρμογή μιας ελάχιστης τιμής έντασης του ηλεκτρικού πεδίου η οποία ονομάζεται κρίσιμη. Η κρίσιμη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, για φυτικούς ιστούς, παίρνει τιμές από 0,05 έως 0,5 kV/cm ενώ η διάρκεια εφαρμογής της είναι 100-10000μs. Σε περιπτώσεις που ζητούνται μικρότεροι χρόνοι επεξεργασίας από τα 100 μs η τιμή της εφαρμοζόμενης έντασης θα πρέπει να ξεπεράσει την κρίσιμη (Asavasanti et al. 2010).

Η ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς φαίνεται να είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου καθώς με αύξηση της τελευταίας βελτιώνονται και τα φαινόμενα μεταφοράς. Ωστόσο, υπάρχει μια τιμή πέραν της οποίας δεν παρατηρείται επιπλέον βελτίωση της μεταφοράς μάζας, επομένως η κυτταρική μεμβράνη έχει φτάσει τη μέγιστη διαπερατότητά της (Knorr & Angersbach 1998, Praporscic et al. 2004).

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει αρκετά τη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης φυτικών ιστών λόγω εφαρμογής του PEF είναι η θερμοκρασία, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι εφαρμογή ίδιας έντασης ηλεκτρικού πεδίου σε υψηλή θερμοκρασία απαιτεί λιγότερο χρόνο επεξεργασίας σε σχέση με το αν εφαρμοζόταν σε χαμηλή θερμοκρασία (Lebonka et al. 2005).

Τέλος, όσον αφορά τη διάρκεια του παλμού, δεν έχουν εξαχθεί ικανοποιητικά συμπεράσματα σχετικά με την επίδρασή του στη διαπερατότητα της μεμβράνης καθώς τα αποτελέσματα διέφεραν ανάλογα με τον φυτικό προϊόν που χρησιμοποιούταν κάθε φορά, σε ορισμένες περιπτώσεις (De Vito et al. 2008) υπήρχε αύξηση της διαπερατότητας με τη διάρκεια παλμού ενώ σε άλλες (Ersus et al. 2010) δεν υπήρχε σημαντική επίδραση.

### 3.5. Η Τεχνολογία PEF ως Μέθοδος Προεπεξεργασίας

#### 3.5.1. PEF και Ωσμωτική Αφυδάτωση

Η προκατεργασία της ώσμωσης με παλμικά ηλεκτρικά πεδία έχει αναφερθεί ότι προκαλεί μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά την αφυδάτωση και βελτιώνει την ποιότητα των αφυδατωμένων προϊόντων (Ade-Omowaye et al. 2002, Lazarides, Nickolaides, Katsanidis 1995, Rastogi et al. 1999).

Η τεχνολογία PEF έχει εφαρμοστεί με επιτυχία ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πολλά τρόφιμα, όπως μήλα, καρότα, μάνγκο, κόκκινες πιπεριές, μύρτιλλα και ακτινίδιο (Ade – Omowaye et al. 2001, 2002, 2003, Taiwo et al. 2003, Amami et al. 2006, 2007, Bobinaite et al. 2015, Dermensolouoglou et al. 2016). Οι Amami et al. (2007) μελέτησαν την επίδραση ηλεκτρικών κυμάτων υψηλής ισχύος ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε καρότα. Η προεπεξεργασία στο δείγμα διευκόλυνε τη μεταφορά μάζας, με αύξηση μέχρι και 42% στην απώλεια υγρασίας σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς. Προκειμένου να ερμηνεύσουν το μηχανισμό που διέπει τη διαδικασία, οι Amami et al. (2006) επεξεργάστηκαν δείγματα μήλου με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, και κατόπιν ακολούθησε ωσμωτική αφυδάτωση σε υδατικά διαλύματα σακχαρόζης με συγκέντρωση 44,5 – 65 °Brix. Οι συγγραφείς βρήκαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος και η προεπεξεργασία με PEF οδήγησε σε επιτάχυνση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η επίδραση της προκατεργασίας ήταν εντονότερη για την απώλεια νερού συγκριτικά με την πρόσληψη στερεών ουσιών. Ένα άλλο παράδειγμα περιορισμένης πρόσληψης στερεών έναντι της σημαντικά αυξημένης απώλειας νερού, ύστερα από προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία αναφέρεται κατά τη μελέτη κόκκινης πιπεριάς (Ade-Amowaye et al. 2002).

Ωστόσο, ο μηχανισμός επίδρασης της προκατεργασίας με PEF στους φυτικούς ιστούς δεν είναι ξεκάθαρος. Οι Teijo et al. (2002) επεξεργάστηκαν δείγματα μάνγκο με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (2,67 kV/cm, 100 pulses of 0,84 ms) και στη συνέχεια τα εμβάπτισαν σε διάλυμα σακχαρόζης 50°Brix, στους 40°C, για 5h. Τα αποτελέσματα της προκατεργασίας με PEF δεν ήταν σημαντικά στην περίπτωση της απώλειας νερού, όμως η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε.

Η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν είναι ξεκάθαρη σχετικά με τα αποτελέσματα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Οι Ade – Omowaye et al. (2001) πρότειναν ότι η προκατεργασία με PEF μπορεί να είναι μια καλή λύση αντί για την επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα το μαλάκωμα των ιστών, την ενζυμική αμαύρωση. Ωστόσο, οι Amami et al. (2014) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επεξεργασία με PEF για τα μήλα προκάλεσαν εκτεταμένη αμαύρωση, λόγω της οξειδωτικής αντίδρασης. Αντίθετα, τέτοια επίδραση δεν παρατηρήθηκε στα καρότα,

και η φωτεινότητα των δειγμάτων αυξήθηκε ελαφρά. Επίσης, για τα επεξεργασμένα δείγματα μπανάνας η φωτεινότητα ήταν υψηλότερη από ό, τι στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Οι περισσότερες έρευνες υποστηρίζουν ότι το χρώμα βελτιώθηκε με την επεξεργασία με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία.

### 3.5.2. PEF και Ξήρανση

Η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία έχει προταθεί από πολλούς ερευνητές ως προκατεργασία της ξήρανσης με αέρα προκειμένου να αυξηθεί ο ρυθμός ξήρανσης. Στην ξήρανση με θερμό αέρα η μεταφορά της υγρασίας πραγματοποιείται σε δύο διαδοχικά στάδια: 1) από το εσωτερικό του ιστού στην επιφάνεια (εσωτερική μεταφορά υγρασίας) και 2) από την επιφάνεια στον κύριο αέριο χώρο (επιφανειακή μεταφορά υγρασίας). Στο δεύτερο στάδιο της ξήρανσης η εσωτερική μεταφορά υγρασίας είναι μικρότερη από την επιφανειακή. Σε αυτό το στάδιο, η κυτταρική δομή και ο ιστός έχουν πολύ σημαντική σημασία, διότι αποτελούν ένα εμπόδιο για τη διεργασία. Η μεταφορά της θερμότητας και της μάζας δεν εξαρτάται μόνο από τις παραμέτρους της διεργασίας αλλά επίσης και από τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης (Jager et al. 2014). Ως εκ τούτου, ο σκοπός της προκατεργασίας είναι να διαταράξει την κυτταρική δομή, ώστε να μειωθεί η αντίσταση στη διάχυση. Η τεχνολογία PEF μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια προκατεργασία της συμβατικής ξήρανσης, με στόχο τη μείωση ή την εξάλειψη μερικών μειονεκτημάτων των συμβατικών μεθόδων προεπεξεργασίας, κυρίως λόγω της ικανότητάς να διαρρηγνύει τα κύτταρα των υλικών τροφίμων.

Έχει αναφερθεί ότι η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία σε δείγματα πατάτας και καρύδας, πριν από την ξήρανση με θερμό αέρα, οδηγεί σε αυξημένο ρυθμό ξήρανσης (Ade-Omowaye et al. 2001, Angersbach & Knorr, 1997). Οι Lebonka et al. (2007) διαπίστωσαν ότι η αποτελεσματική διάχυση είναι συνάρτηση του δείκτη διάσπασης των κυττάρων. Ακολούθως, ερευνήθηκε η επίδραση των μεθόδων της απόψυξης (freeze – thawing), της τεχνολογίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και της θερμικής προκατεργασίας στη διεργασία της ξήρανσης σε δείγματα πατάτας. Τελικά, μεγαλύτερη τιμή συντελεστή διάχυσης είχαν τα δείγματα της απόψυξης, ενώ η θερμική προκατεργασία εμφάνισε θετικά αποτελέσματα μόνο σε ήπιες θερμοκρασίες (50 °C). Τόσο τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, όσο και η θερμική προκατεργασία είχαν ως αποτέλεσμα την ίδια αύξηση στο συντελεστή διάχυσης κατά την ξήρανση των δειγμάτων με θερμό αέρα.

Αν και οι πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη θρεπτική αξία των ξηρών προϊόντων είναι περιορισμένη, μπορεί να αναφερθεί ότι η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C στα επεξεργασμένα δείγματα είναι αμετάβλητη σε σύγκριση με τα ανεπεξεργαστα (Ade-Omowaye et al. 2001).

Άλλα στοιχεία δείχνουν ότι η τεχνολογία PEF μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της εκχύλισης βιοδραστικών ενώσεων (π.χ. πολυφαινόλες ή καροτενοειδή) (Wiktor et al. 2015) από στερεά δείγματα. Μια τέτοια συμπεριφορά δείχνει ότι η διατήρηση αυτών των ενώσεων μετά την ξήρανση θα ήταν υψηλότερη στην περίπτωση των επεξεργασμένων υλικών με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε εν μέρει από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται από τους Ade – Omowaye et al. (2001), οι οποίοι δήλωσαν ότι η μείωση του β – καροτένιου σε ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα κόκκινης πιπεριάς, που είχαν υποστεί επεξεργασία με PEF, ήταν ελάχιστη.

### 3.6. Μειονεκτήματα και Περιορισμοί

Η μέθοδος των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η γρήγορη αδρανοποίηση μικροοργανισμών, παθογόνων και αλλοιογόνων, χωρίς την απαίτηση υψηλών θερμοκρασιών και ενέργειας. Επομένως, τα τρόφιμα προστατεύονται από τη δράση των μικροοργανισμών χωρίς όμως να επηρεάζεται σημαντικά η ποιότητά τους, το χρώμα, η γεύση και τα θρεπτικά συστατικά τους, ενώ ακόμη είναι μια διεργασία φιλική και προς θερμοευαίσθητα προϊόντα. Γι' αυτόν το λόγο αποτελεί μια ιδιαίτερα ανταγωνιστική μέθοδο ως προς τις θερμικές επεξεργασίες όπως είναι η παστερίωση. Γενικά, το PEF δίνει τη δυνατότητα για οικονομικότερη και αποτελεσματικότερη χρήση ενέργειας ενώ παράλληλα παρέχει ένα προϊόν μικροβιακά ασφαλές, ελάχιστα επεξεργασμένο, χωρίς να έχει χάσει τα θρεπτικά του συστατικά και χωρίς διαφορές από το φρέσκο. Επιπλέον, αυξάνεται και η διάρκεια ζωής του. Τέλος, είναι μια διεργασία μη τοξική και ο χρόνος επεξεργασίας είναι πολύ σύντομος (Picart & Cheftel 2003, Fellows P. 2000, Vega-Mercado et al. 2007, Deeth et al. 2007).

Ωστόσο παρατηρούνται και μερικά μειονεκτήματα σε αυτήν τη νέα μη θερμική μέθοδο επεξεργασίας. Η δράση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική σε υγρά και ομογενοποιημένα τρόφιμα καθώς είναι αυτά που αντέχουν υψηλότερα ηλεκτρικά πεδία, επομένως η χρήση του είναι περιορισμένη. Ωστόσο, μπορεί να εφαρμοστεί και σε στερεά τρόφιμα σε μια μη συνεχή λειτουργία και υπό ελεγχόμενη ένταση για να αποφευχθεί η διηλεκτρική διάσπαση. Επιπλέον, να μεν η μέθοδος αυτή αδρανοποιεί μικροοργανισμούς και ένζυμα, όμως τα σπόρια των ενζύμων παραμένουν ενεργά και για το λόγο αυτό συχνά μετά την εφαρμογή αυτή τα τρόφιμα αποθηκεύονται στην ψύξη προκειμένου να επιμηκυνθεί η διάρκεια ζωής τους. Τέλος, το αρχικό κόστος επένδυσης και εξοπλισμού της μεθόδου αυτής είναι ιδιαίτερα υψηλό. (Picart & Cheftel 2003, Vega-Mercado et al. 2007, Barbosa-Canovas et al. 1999)

Ανακεφαλαιώνοντας την βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι φυτικοί ιστοί είναι ευάλωτοι στις μικροβιολογικές αλλοιώσεις και την ποιοτική υποβάθμιση κατά την αποθήκευση τους. Η ωσμωτική αφυδάτωση προτείνεται ως μέθοδος συντήρησης των φρούτων και των λαχανικών, αφού προκαλεί χημική και μηχανική τροποποίηση των ιστών του τροφίμου, μέσω της μεταφοράς μάζας που λαμβάνει χώρα διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης. Με τον τρόπο αυτό τα τρόφιμα είναι δυνατόν να μετατραπούν σε νέα προϊόντα με διαφορετικές διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Η ωσμωτική αφυδάτωση ως μέθοδος επεξεργασίας των φρούτων και των λαχανικών συμβαδίζει με τη σύγχρονη τάση για αναζήτηση ηπιότερων και ενεργειακά αποτελεσματικότερων μεθόδων επεξεργασίας, για την παραγωγή προϊόντων με υψηλά οργανοληπτικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά. Πολλές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τη χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης με σκοπό τη δημιουργία τροφίμων ή συστατικών όπως τα ελάχιστα επεξεργασμένα ή τα ενδιάμεσης υγρασίας φρούτα (Alzamora, Gerschenson, Vidales, & Nieto 1997). Η χρήση εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών και η μελέτη της επίδρασης τους στη βελτίωση των φυσικοχημικών, διατροφικών και ποιοτικών δεικτών του τροφίμου, παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον. Ακόμη, έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζεται στη χρήση τεχνικών που μέσω της επίδρασης στην κυτταρική δομή, θα επιφέρουν εντονότερους ρυθμούς μεταφοράς μάζας και συνεπώς μικρότερους χρόνους επεξεργασίας, χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του τροφίμου (Rastogi et al. 2002).

Η ωσμωτική αφυδάτωση συχνά συνδυάζεται με περαιτέρω επεξεργασία όπως η ξήρανση ή η κατάψυξη. Η ξήρανση με αέρα ενός προϊόντος επιτρέπει τη δημιουργία καινοτόμων προϊόντων, χαμηλής ενεργότητας νερού, που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τον καταναλωτή. Βιβλιογραφικά βρίσκονται πολλές αναφορές σχετικά με τα οφέλη της ωσμωτικής αφυδάτωσης πριν την ξήρανση, στα οποία περιλαμβάνονται η αναστολή του ενζυμικού μαυρίσματος, η πρόληψη απώλειας πτητικών ενώσεων καθώς και η ελαχιστοποίηση της θερμικής υποβάθμισης του χρώματος και της γεύσης κατά την αφυδάτωση (Krokida, Maroulis, & Saravacos 2001, Pointing 1973, Saurel, Raoult-Wack, Rios, & Guilbert 1994).

Η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία πριν την ωσμωτική αφυδάτωση έχει αναφερθεί ότι ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και βελτιώνει την ποιότητα των αφυδατωμένων προϊόντων (Ade-Omowaye et al. 2002, Lazarides et al. 1995, Rastogi et al. 1999). Η χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων έχει ακόμη αναφερθεί ότι ενισχύει τον ρυθμό ξήρανσης πολλών φυτικών ιστών κατά τη συμβατική ξήρανση με αέρα (Ade-Omowaye et al. 2001, Angersbach & Knorr 1997). Ο συνδυασμός της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και της ωσμωτικής αφυδάτωσης πριν την ξήρανση προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης του χρόνου

επεξεργασίας, μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων της ξήρανσης αλλά και διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου.

Οι παραπάνω τεχνολογίες έχουν αποτελέσει στο παρελθόν πεδίο έρευνας για το εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται διπλωματικές εργασίες των τελευταίων ετών, που σχετίζονται με την ωσμωτική αφυδάτωση, την προεπεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και την ξήρανση φυτικών ιστών.

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας	Σπουδαστής	Σχετικές Δημοσιεύσεις
Μελέτη της επίδρασης παλλόμενων ηλεκτρικών πεδίων και ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βελτίωση της ποιότητας και διατηρησιμότητας κατεψυγμένου ακτινιδίου, 2016	Ζαχαρίου Ισμήνη	Dermesonlouoglou et al. (2016), «Effect of pulsed electric fields on mass transfer and Quality of osmotically dehydrated kiwi fruit», <i>Food and Bioproducts Processing</i> , 100, 535–544
Συνδυασμός ωσμωτικής προκατεργασίας και ξήρανσης με αέρα για την παραγωγή καινοτόμων αφυδατωμένων λαχανικών, 2016	Παντελεάκη – Τουρκοδημήτρη Καλλιρρόη	Pantelaiaki et al. (2016), «Design and Development of Products from Fresh-Cut Vegetables Processed by Osmosis and High Pressure or Air Drying for Increased Shelf Life», 30 <sup>th</sup> EFFoST International Conference, Vienna, Austria
Μελέτη της επίδρασης της επεξεργασίας με παλλόμενα ηλεκτρικά πεδία στο ρυθμό ξήρανσης και τα χαρακτηριστικά υψής των λαχανικών, 2016	Τσόνας Θεοφάνης	Dimopoulos G. et al. (2016), «Effect of Pulsed Electric Fields on the drying process of sweet potato», Poster presented at the 18th IUFOST Conference, Dublin, Ireland.
Μελέτη προ-επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση για την παραγωγή ξηρών προϊόντων Goji Berry, 2017	Χαλκιά Αικατερίνη	Dermesonlouoglou et al. (2016), «Improving Drying Characteristics and Quality of Goji Berry Using Non-thermal Pretreatments», Poster presented at the IFT 2016 Meeting, Chicago, IL USA.

Ειδικότερα για το φυτικό ιστό κολοκύθας, η ωσμωτική αφυδάτωση έχει μελετηθεί ερευνητικά, με τις περισσότερες αναφορές να σχετίζονται με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (Chang et al. 2003, Mayor et al. 2006, Garcia et al. 2007). Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η επίδραση ενός καινοτόμου ωσμωτικού μέσου, με εναλλακτικά υλικά όπως οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες και ο όξινος ορός γιαουρτιού, στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την επεξεργασία και στη βελτίωση της διατηρησιμότητας των τροφίμων. Η χρήση εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών έχει ερευνηθεί τα τελευταία χρόνια με σκοπό την ενσωμάτωση συστατικών υψηλής διατροφικής αξίας στα τρόφιμα (Angilelli et al. 2015, Nambiar 2016, Giannakourou, Taoukis 2003, Dermesonlouoglou et al. 2007).

Η ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας πριν την ξήρανση αναφέρεται βιβλιογραφικά ότι προκαλεί αύξηση του ρυθμού ανταλλαγής μάζας, ενώ παράλληλα βελτιώνει την ποιότητα των ξηραμένων δειγμάτων (Garcia et al. 2007, Lee et al. 2011). Ωστόσο, η εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων σε φυτικό ιστό κολοκύθας δεν έχει μελετηθεί βιβλιογραφικά, γι' αυτό και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην ωσμωτική αφυδάτωση και στην ξήρανση φυτικού ιστού κολοκύθας.





## Κεφάλαιο 4: Μέθοδοι Και Υλικά

### 4.1. Εισαγωγή

Τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι σημαντικά συστατικά της διατροφής του ανθρώπου, ωστόσο είναι ευπαθή στην ανάπτυξη μικροοργανισμών και στην αλλοίωση των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών. Η φρέσκια κομμένη κολοκύθα (*Cucurbita pepo*) διαθέτει σημαντικά διατροφικά οφέλη και η ζήτηση της αυξάνεται ραγδαία. Ωστόσο, παρουσιάζει μικρό χρόνο ζωής και για το λόγο αυτό απαιτείται κατάλληλη μέθοδος συντήρησης για την εμπορική βιωσιμότητα του τεμαχισμένου προϊόντος. Τα τελευταία χρόνια, οι καταναλωτές επιζητούν φρέσκα προϊόντα, που έχουν υποστεί ελάχιστη επεξεργασία και ταυτόχρονα είναι λειτουργικά.

Πολλές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τη χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης με σκοπό τη δημιουργία τροφίμων ή συστατικών όπως τα ελάχιστα επεξεργασμένα ή τα ενδιάμεσης υγρασίας φρούτα (Alzamora, Gerschenson, Vidales, & Nieto, 1997). Ωστόσο, μέχρι σήμερα λίγες μελέτες έχουν γίνει για την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας, τα αποτελέσματα της οποίας θα μπορούσαν να έχουν σημαντικό εμπορικό ενδιαφέρον για τους καταναλωτές. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μειώνεται η περιεκτικότητα του τροφίμου σε νερό ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται τα στερεά λόγω πρόσληψης σακχάρων από το ωσμωτικό διάλυμα. Με τη διαδικασία αυτή ενισχύεται ο ιστός των τροφίμων, βελτιώνονται τα ποιοτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά του τροφίμου και επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής των προϊόντων.

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία έχουν προταθεί από πολλούς ερευνητές ως ένας τρόπος ενίσχυσης των φαινομένων μεταφοράς που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Ade-Omowaye et al. 2002, Lazarides et al. 1995, Rastogi et.al 1999). Ωστόσο, η χρήση παλμικών πεδίων στον ιστό της κολοκύθας δεν έχει μελετηθεί, γι' αυτό και παρουσιάζει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Παράλληλα, ο συνδυασμός της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και της ωσμωτικής αφυδάτωσης με συμβατική ξήρανση αποτελεί ένα ενδιαφέρον ερευνητικό πεδίο, για τη δημιουργία προϊόντων κολοκύθας χαμηλής υγρασίας, που εμφανίζουν βελτιωμένα διατροφικά χαρακτηριστικά, και ταυτόχρονα έχουν μικρές ενεργειακές απαιτήσεις και μικρό χρόνο επεξεργασίας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης τεμαχίων κολοκύθας με σκοπό την επέκταση της διατηρησιμότητας της και τον εμπλουτισμό της με συστατικά υψηλής διατροφικής αξίας (Ολιγοσακχαρίτες, Βιταμίνη C κ.α.). Ακόμη, μελετήθηκε η χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων με σκοπό την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας που λαμβάνουν χώρα κατά την αφυδάτωση. Τέλος, διερευνήθηκε η ξήρανση των προκατεργασμένων δειγμάτων με σκοπό τη δημιουργία ενός καινοτόμου προϊόντος χαμηλής υγρασίας.

## 4.2. Πειραματικός Σχεδιασμός

Η πειραματική διαδικασία της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε τρεις θεματικές ενότητες. Στην πρώτη ενότητα μελετώνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που λαμβάνουν χώρα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Στη δεύτερη θεματική ενότητα μελετάται η διατηρησιμότητα των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων φρεσκοκομμένης κολοκύθας σε συνθήκες ψύξης. Στην τρίτη ενότητα μελετάται ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης με προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και με ξήρανση με αέρα, με σκοπό τη δημιουργία ενός αφυδατωμένου προϊόντος με βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

### 4.2.1. Πρώτη Θεματική Ενότητα: Ωσμωτική Αφυδάτωση Κολοκύθας

Κατά την πρώτη θεματική ενότητα μελετήθηκαν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε δείγματα κολοκύθας, καθώς και η επίδραση που έχει η ωσμωτική κατεργασία στην ενεργότητα του νερού ( $a_w$ ) των δειγμάτων, για διαφορετικές συνθήκες κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (θερμοκρασία, συγκέντρωση σακχάρων στο ωσμωτικό μέσο, είδος ωσμωτικού μέσου). Στόχος των πειραμάτων ήταν η επιλογή των βέλτιστων συνθηκών επεξεργασίας με ωσμωτική αφυδάτωση.

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε φρέσκο-κομμένη και συσκευασμένη ελληνική κολοκύθα (*C. pepo*), η οποία δεν είχε υποστεί άλλη μέθοδο συντήρησης. Τα κομμάτια κολοκύθας στη συνέχεια τεμαχίστηκαν, οπότε και προέκυψαν δείγματα με διαστάσεις 2,0x2,0x0,5cm και βάρος  $4\pm 0,5g$ .

Το πρώτο στάδιο της ωσμωτικής αφυδάτωσης περιλάμβανε ορισμένα προκαταρκτικά πειράματα προκειμένου να γίνει επιλογή του ωσμωτικού διαλύματος, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς από αυτό καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και κατ' επέκταση η μείωση της ενεργότητας νερού του τροφίμου. Επιπλέον, το διάλυμα δεν θα πρέπει να αλλοιώνει το προϊόν ως προς την γεύση, την υφή, την εμφάνιση και γενικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, αλλά θα πρέπει να συμβάλει στη διατήρηση των φρέσκων χαρακτηριστικών του τροφίμου (Πίνακας 4.1).

Κατά την πειραματική διαδικασία, έγινε μελέτη της επίδρασης του τύπου του ωσμωτικού μέσου στην κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η μελέτη εστιάζεται στη χρήση εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών, όπως οι μη-αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες (Γαλακτο-Ολιγοσακχαρίτες-GOS, Φρούκτο-Ολιγοσακχαρίτες-FOS) και ο όξινος ορός γιαουρτιού.

Πίνακας 4.1 Σύσταση Ωσμωτικών Διαλυμάτων (%).

Διάλυμα	1	2	3	4	5	6	7	8
Γλυκερόλη	40	40	40	40	40	40	40	40
Τρεχαλόζη	10	10	5	5	15	15	10	10
Γαλακτο- Ολιγοσακχαρίτες	10	10	15	15	5	5	-	-
Φρουκτο- Ολιγοσακχαρίτες	-	-	-	-	-	-	10	5
Χλωριούχο Νάτριο (NaCl)	2	2	2	2	2	2	2	2
Χλωριούχο Ασβέστιο(CaCl <sub>2</sub> )	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Ασκορβικό Οξύ	4	4	4	4	4	4	4	4
Ορός Γιαουρτιού	-	32,5	-	32,5	-	32,5	-	32,5
Νερό	32,5	-	32,5	-	32,5	-	32,5	-

Η γλυκερόλη (Glykerin EP 212, Oleogen SRL, U.S) είναι κοινό συστατικό ενός ωσμωτικού διαλύματος και ο κύριος σκοπός της είναι να μειώσει την ενεργότητα νερού στο τρόφιμο και να αποτρέψει την ανάπτυξη μικροοργανισμών κατά την αποθήκευση (Giannioti et al. 2001).

Η τρεχαλόζη (Trehalose 16400, Cargill, U.S) επιλέχθηκε καθώς παρουσιάζει μικρό μοριακό βάρος (MB=342,296g/mol) και έχει μικρή επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Η τρεχαλόζη δρα προστατευτικά για την κυτταρική μεμβράνη ώστε να μην καταστραφεί λόγω της ώσμωσης και προστατεύει το προϊόν κατά τη διάρκεια της κατάψυξης ή της ξήρανσης (Ferrando & Spies 2001). Η χρήση γαλακτο-ολιγοσακχαριτών (Profile™ Z970 GOS Enriched Whey, Kerry), μη αφομοιώσιμων υδατανθράκων με σημαντική πρεβιοτική δράση, ως εναλλακτικά σάκχαρα στο ωσμωτικό μέσο διερευνάται στη συγκεκριμένη διπλωματική, ενώ η χρήση φρουκτο-ολιγοσακχαριτών (Orafti powders, Südzucker AG) δρα προστατευτικά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (Dermesonliouoglou E.K. et al, 2016).

Το χλωριούχο νάτριο (NaCl) χρησιμοποιείται στο ωσμωτικό διάλυμα με σκοπό την αύξηση της απόδοσης της ωσμωτικής διεργασίας και τη βελτίωση της οργανοληπτικής αποδοχής του τελικού ωσμωτικά προκατεργασμένου προϊόντος, εξισορροπώντας την γλυκύτητα των υδατανθράκων.

Το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl<sub>2</sub>) διατηρεί την υφή του τροφίμου, περιορίζει τη σκληρότητα του, ενώ βελτιώνει και τη γεύση του φυτικού ιστού (Zaritsky 2008). Επίσης, σε συνδυασμό με το ασκορβικό οξύ εμπλουτίζουν την ποιότητα του

τροφίμου, μειώνουν τους ρυθμούς μεταβολής του χρώματος, ενώ το ασκορβικό αυξάνει και τη θρεπτική του αξία (Vial et al. 1991, Bekhit & Oey 2012).

Η συγκέντρωση των ωσμωτικών μέσων στο διάλυμα είναι 75%. Ο λόγος που η συγκέντρωση είναι τόσο υψηλή είναι διότι σε αυτή την περίπτωση μεγιστοποιούνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και δεν παρατηρείται αλλοίωση της ποιότητας των τροφίμων.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εκτιμήθηκε η χρήση όξινου ορού γιαουρτιού αντί νερού ως διαλύτης στο ωσμωτικό μέσο. Ο όξινος ορός γιαουρτιού έχει χαμηλό pH, και είναι πλούσιος σε απλά σάκχαρα. Η χρήση του όξινου ορού μπορεί να αποτελέσει μία καινοτόμο λύση για την αξιοποίηση του, επιλύοντας το πρόβλημα διαχείρισης του, και αξιοποιώντας την υψηλή διατροφική του αξία. Η χρήση του όξινου ορού στην ώσμωση δεν έχει ερευνηθεί, οπότε και αποτελεί ένα ενδιαφέρον πεδίο μελέτης. Για το σκοπό αυτό, σε κάθε πείραμα, εξετάστηκε η χρήση ωσμωτικού μέσου με νερό και με ορό γιαουρτιού.

Από τη στιγμή που έγινε επιλογή του ωσμωτικού διαλύματος, το επόμενο βήμα ήταν η επιλογή των παραμέτρων σχεδιασμού της ωσμωτικής αφυδάτωσης, οι οποίες αφορούν την αναλογία βάρους ωσμωτικού προς το βάρος δείγματος, τη θερμοκρασία και το χρόνο επεξεργασίας.

Η αναλογία βάρους διαλύματος προς τρόφιμο επιλέχθηκε 5:1 διότι μια μεγάλη αναλογία εμποδίζει τη σημαντική αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος, με αποτέλεσμα να μην μειώνεται η κινητήρια δύναμη κατά τη διεργασία. Το αρνητικό είναι ότι αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η χρησιμοποιούμενη ποσότητα διαλύματος και είναι δύσκολη η επαναχρησιμοποίησή του.

Όσον αφορά τις άλλες δύο παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης, έγινε επιλογή τριών θερμοκρασιών (35-45-55°C) και μελετήθηκε η κινητική της αφυδάτωσης. Ο χρόνος επεξεργασίας δεν ξεπέρασε τις 4h καθώς σε αυτό το σημείο έχει επέλθει ισορροπία όσον αφορά τα φαινόμενα μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα επομένως δεν κρίθηκε απαραίτητο να συνεχιστεί η διαδικασία. Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν επιβάλλεται ανάδευση διότι υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού του δείγματος.

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, ζυγίστηκαν δείγματα κολοκύθας 25g διαστάσεων 2,0x2,0x0,5cm, τοποθετήθηκαν σε προστατευτικό διάτρητο δίχτυ και στη συνέχεια σε γυάλινα δοχεία με ωσμωτικό διάλυμα σε αναλογία 1:5 κατά βάρος. Στη συνέχεια, τα δοχεία μεταφέρονται σε υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας από όπου και αφαιρείται ένα ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να παρατηρηθεί η εξέλιξη της ώσμωσης (30, 60, 120, 180, 240min). Το ωσμοαφυδατωμένο δείγμα αφαιρείται από το ωσμωτικό διάλυμα, σκουπίζεται ελαφρά και ζυγίζεται. Στη

συνέχεια, τα δείγματα εξετάζονται ως προς την ενεργότητα νερού ( $a_w$ ), τα ολικά στερεά και το περιεχόμενο νερό. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι τιμές απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών.

Επίσης, σε κάθε χρόνο φυλάσσεται δείγμα ωσμωτικού διαλύματος σε σφραγισμένους γυάλινους περιέκτες, προκειμένου να γίνει ανάλυση με υγρή χρωματογραφία και να προσδιοριστεί η μεταβολή των σακχάρων.

#### **4.2.2. Δεύτερη Θεματική Ενότητα: Μελέτη Διατηρησιμότητας Ωσμωμένων Δειγμάτων Κολοκύθας**

Κατά τη δεύτερη θεματική ενότητα, μελετήθηκε η διατηρησιμότητα της ωσμωμένης κολοκύθας σε διαφορετικές θερμοκρασίες ψύξης. Κατά τη μελέτη αυτή, παρακολουθούνται οι μικροβιολογικές αλλοιώσεις των δειγμάτων, όπως επίσης και οι πιο σημαντικοί ποιοτικοί δείκτες όπως η υφή, το χρώμα, η συγκέντρωση βιταμίνης C και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Για τη μελέτη έγιναν πειράματα σε δείγματα κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (control), σε ωσμοαφυδατωμένα δείγματα που έχει χρησιμοποιηθεί ωσμωτικό διάλυμα με νερό (Διάλυμα 1) και σε ωσμοαφυδατωμένα που έχει χρησιμοποιηθεί ωσμωτικό διάλυμα με ορό (Διάλυμα 2) και έχουν επεξεργαστεί στις βέλτιστες συνθήκες ώσμωσης όπως προέκυψαν από την πρώτη ενότητα (55°C-2h).

Μετά την επεξεργασία τους, ποσότητα 20g δείγματος τοποθετήθηκε σε απολυμασμένους γυάλινους περιέκτες υπό ασηπτικές συνθήκες, σε laminar flow hood. Μελετήθηκαν 4 διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης: 5, 10, 15 και 25°C ενώ σε κάθε θερμοκρασία τοποθετήθηκαν πέντε περιέκτες από το κάθε είδος δειγμάτων.

Τα αποθηκευμένα δείγματα υποβάλλονται σε μικροβιολογικό και ποιοτικό έλεγχο (οργανοληπτικός έλεγχος των κυριότερων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, ενόργανη μέτρηση της σκληρότητας και, του χρώματος, προσδιορισμός θρεπτικής αξίας μέσω του προσδιορισμού της περιεχόμενης βιταμίνης C).

#### **4.2.3. Τρίτη Θεματική Ενότητα: Εφαρμογή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων και Ξήρανσης με Αέρα σε Ωσμωμένα Δείγματα Κολοκύθας**

Κατά την τρίτη θεματική ενότητα μελετήθηκε η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) στην κινητική της ώσμωσης. Στη συνέχεια εξετάστηκε η ξήρανση των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων με τη χρήση ξήρανσης με αέρα. Στόχος των πειραμάτων αυτών ήταν η μελέτη του συνδυασμού τεχνολογιών προκειμένου να δημιουργηθεί ένα προϊόν με βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

### Εφαρμογή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (PEF)

Σε πρώτο στάδιο μελετήθηκε ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης με τη μέθοδο της χαμηλής-υψηλής συχνότητας όπως αυτή περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.4.1. Στην πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν η γεννήτρια συχνοτήτων Newtronics 200LTPC και ο παλμογράφος Tektronix TDS1012 (Oregon, U.S.A). Η συγκεκριμένη διάταξη απεικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 4.1). Ως χαμηλή συχνότητα ορίστηκε το 1 kHz και ως υψηλή το 1 MHz. Στον θάλαμο επεξεργασίας της διάταξης παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, χωρητικότητας 400ml, εισήχθησαν τα δείγματα συγκεκριμένων διαστάσεων μαζί με νερό, ώστε να καταλαμβάνουν συνολικό όγκο 300ml. Τα δείγματα κολοκύθας που εισάγονταν στον θάλαμο επεξεργασίας για κάθε μέτρηση ήταν τρεις κύβοι ακμής 4 cm. Τα δείγματα αυτά, επεξεργάστηκαν με τη διάταξη των ΠΗΠ σε ηλεκτρικό πεδίο έντασης 2kV/cm, πλάτος παλμού 15μs και συχνότητα 10Hz. Ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης υπολογίστηκε συναρτήσει του αριθμού των παλμών.



**Εικόνα 4.1.** Η γεννήτρια συχνοτήτων Newtronics 200LTPC (αριστερά) και ο παλμογράφος Tektronix TDS1012 (δεξιά).

Σε επόμενο στάδιο έγινε επεξεργασία των δειγμάτων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία σε μια πιλοτικής κλίμακας μονάδα (Elcrack-5kW, DIL, Quakenbrück, Γερμανία) (Εικόνα 4.2). Η μονάδα αποτελείται από μία γεννήτρια παλμών και ένα σύστημα χειρισμού υγρών που λειτουργεί αυτόνομα.

Τα δείγματα κολοκύθας, όπως και στη διαδικασία υπολογισμού του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, εισήχθησαν στο θάλαμο επεξεργασίας σταθερού όγκου 400ml και σταθερής απόστασης ηλεκτροδίων 80 mm, ώστε μαζί με το νερό να καταλαμβάνουν συνολικό όγκο 300ml. Στον θάλαμο επεξεργασίας για κάθε μέτρηση εισήχθησαν τρεις κύβοι 4 cm, τα οποία υποβλήθηκαν στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας όπως προέκυψαν από τον υπολογισμό του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης (2kV/cm, πλάτος παλμού 15 μs, 1500 παλμοί).



**Εικόνα 4.2.** Μονάδα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων Elcrack-5kW, DIL

Στη συνέχεια, έγινε ωσμωτική αφυδάτωση των δειγμάτων, με την ίδια μέθοδο που ακολουθήθηκε στην πρώτη θεματική ενότητα, σε ωσμωτικό διάλυμα με ορό (Διάλυμα 2) και κατεργασία στις βέλτιστες συνθήκες ώσμωσης όπως προέκυψαν από την πρώτη ενότητα (55°C-2h). Τελικά, τα δείγματα εξετάζονται ως προς την ενεργότητα νερού, τα ολικά στερεά και το περιεχόμενο νερό.

#### *Εφαρμογή Ξήρανσης με Αέρα Στην Κολοκύθα*

Στο στάδιο αυτό της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκε κινητικό πείραμα ξήρανσης για ανεπεξεργαστα δείγματα κολοκύθας, για προεπεξεργασμένα με ΠΗΠ στη βέλτιστη συνθήκη επεξεργασίας (2kV/cm, πλάτος παλμού 15 μs, 1500 παλμοί), για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας (55°C-2h- Διάλυμα 2), για δείγματα προεπεξεργασμένα με ΠΗΠ και ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες αντίστοιχα.

Για την ξήρανση χρησιμοποιήθηκε ξηραντήρας (Biosec De Luxe B12, TAUROESSICCATORI, Italy) ( $h = 11,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ), ο οποίος περιείχε 6 θέσεις για ράφια στο εσωτερικό του. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν 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, στα οποία τοποθετήθηκε συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος κάθε φορά (100g). Η ξήρανση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στη θερμοκρασία των 55°C, η οποία ανήκει στο διάστημα των 50-70 °C η οποία χρησιμοποιείται βιβλιογραφικά για την ξήρανση κολοκύθας (Garcia et al. 2007).



**Εικόνα 4.3.** Ξηραντήρας Biosec De Luxe B12

### 4.3. Αναλυτικές Μέθοδοι

Κατά την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές μέθοδοι οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικά.

#### 4.3.1. Μέτρηση Περιεχόμενου Νερού και Ολικών Στερεών

Το περιεχόμενο νερό και τα ολικά στερεά προσδιορίζονται με ξήρανση τμήματος του δείγματος σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 110°C (WTB BINDER 7200, Type E53, Germany) για 24 ώρες.

#### 4.3.2. Μέτρηση Ενεργότητας Νερού

Η ενεργότητα του νερού των δειγμάτων προσδιορίζεται με τη βοήθεια της συσκευής Aqua lab 4TEV (Decagon Devices, USA) (Εικόνα 4.4 ). Η αρχή λειτουργίας του ενεργόμετρου βασίζεται στο σημείο δρόσου. Μια μικρή ποσότητα δείγματος τοποθετείται σε ειδικό πλαστικό κύπελλο και στη συνέχεια εισάγεται στη συσκευή. Υπέρυθρες ακτίνες εστιάζουν σε ένα μικροσκοπικό καθρέφτη και καθορίζεται το ακριβές σημείο δρόσου, το οποίο μετατρέπεται σε ενεργότητα νερού.



Εικόνα 4.4. Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού Aqua lab 4TEV

#### 4.3.3. Μέτρηση pH

Το pH προσδιορίζεται με ηλεκτρονικό pH-μετρο (pHmeter 338, Amel instruments, Milan, Italy), στο ομογενοποιημένο με διάλυμα Ringer δείγμα.



Εικόνα 4.5. Συσκευή μέτρησης pH Amel pHmeter



#### 4.3.4. Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (HPLC)

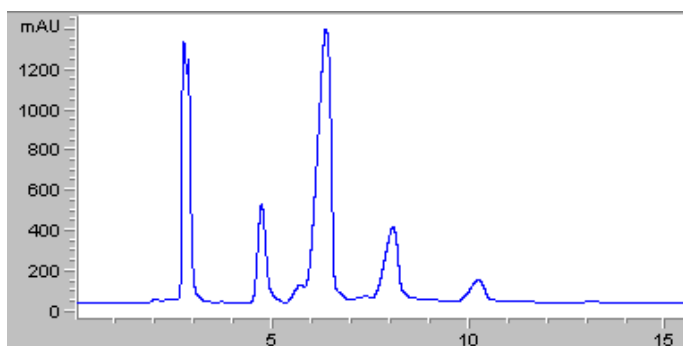
Η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY, HPLC) ανήκει στις χρωματογραφικές τεχνικές, άρα ο διαχωρισμός είναι αποτέλεσμα της συνδυαστικής δράσης μιας στατικής και μιας κινητής φάσης. Στην HPLC, το δείγμα εισάγεται στην είσοδο της στήλης και με τη βοήθεια της κινητής φάσης τα συστατικά του μετακινούνται με τη μορφή ζωνών και τελικά εκκλύονται το ένα μετά το άλλο. Οι αναλυόμενες ουσίες κατανέμονται μεταξύ της στατικής και της κινητής φάσης, με αποτέλεσμα να μετακινούνται με διαφορετικές ταχύτητες κατά μήκος της στήλης.

Η στήλη που χρησιμοποιείται είναι η Microsorb-MV 100 NH<sub>2</sub> (250 mm x 4,6 mm, R0086700C5, Agilent Technologies, Γερμανία), συνοδευόμενη από όμοιου τύπου προ-στήλη Polaris 5 NH<sub>2</sub> MetaGuard (50 mm x 4,6 mm, A2013MG, Agilent Technologies, Γερμανία).

Λόγω της πολυπλοκότητας των δειγμάτων, για λόγους ασφαλείας και καλής λειτουργίας της στήλης, όλα τα δείγματα πριν εισαχθούν στην HPLC φιλτράρονται με νάιλον φίλτρα πορώδους 0,22 μm. Ο ανιχνευτής που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των σακχάρων είναι τύπου RI (Refractive Index), ο οποίος βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς του δείκτη διάθλασης μεταξύ της καθαρής κινητής φάσης και αυτής που περιέχει μόνο- ή ολιγο-σακχαρίτες.

Η επιλογή της στήλης και της μεθόδου έγινε σύμφωνα με τους Fischer & Kleinschmidt (2015), κατά την οποία ως κινητή φάση χρησιμοποιείται ακετονιτρίλιο/νερό σε αναλογία 70:30, η ροή του διαλύτη ρυθμίζεται στα 1,3 mL/min και η ανάλυση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (22-25°C).

Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζεται τυπικό χρωματογράφημα προσδιορισμού σακχάρων.



**Εικόνα 4.6.**

Χρωματογράφημα ανάλυση πρότυπου διαλύματος γαλακτο-ολιγοσακχαριτών (GOS) συγκέντρωσης 10%.

Σύμφωνα με μετρήσεις πρότυπων διαλυμάτων σακχάρων, οι χρόνοι έκλυσης των σακχάρων στο σύστημα HPLC-RI με διαλύτη ACN:H<sub>2</sub>O σε αναλογία 70:30 παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

**Πίνακας 4.2.** Σάκχαρα και χρόνοι έκλυσης τους στο σύστημα HPLC-RI με διαλύτη ACN:H<sub>2</sub>O σε αναλογία 70:30.

Ουσία	Χρόνος Έκλυσης (min)
Γλυκόζη + Γαλακτόζη + Φρουκτόζη	4,86
Λακτόζη + Μελοβιόζη + Τρεχαλόζη	5,85
Ραφινόζη	6,1

#### 4.3.5. Μέτρηση Χρώματος

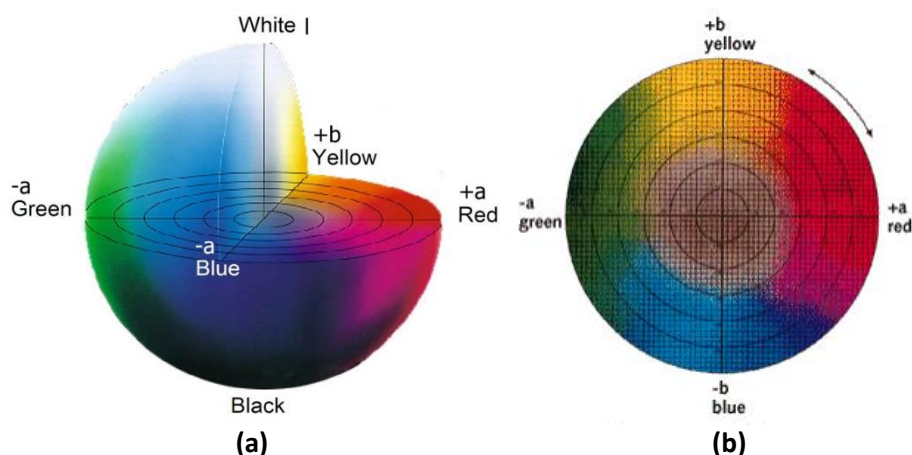
Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν με το χρωματόμετρο MINOLTA CR – 200 (Minolta Company, Chuo-Ku, Japan). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η CIE Lab (Commission International de l'Éclairage) (Σχήμα 4.5) με χρωματικούς δείκτες τους: L, a, b. Το L εκφράζει τη φωτεινότητα του δείγματος, το a την ερυθρότητα, ενώ το b είναι η παράμετρος του κίτρινου χρώματος. Η παράμετρος a όταν παίρνει αρνητικές τιμές προσδιορίζει πράσινο χρώμα, ενώ στις θετικές προσδιορίζει το κόκκινο χρώμα. Στην περίπτωση της παραμέτρου b παίρνοντας αρνητικές τιμές προσδιορίζει το μπλε χρώμα, ενώ με θετικές τιμές προσδιορίζει το κίτρινο χρώμα.

Πριν από κάθε μέτρηση, πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του οργάνου με τη βοήθεια ειδικής λευκής πλάκας (L = 97,50, a = - 0,31, b = - 3,83). Οι μετρήσεις γίνονται σε αντιπροσωπευτική περιοχή του δείγματος. Η κάθε μέτρηση επαναλαμβάνεται τρεις φορές.

Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE προκύπτει από τις παραμέτρους L, a, b και την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

όπου L<sub>0</sub>, a<sub>0</sub>, b<sub>0</sub> οι παράμετροι του αρχικού δείγματος.

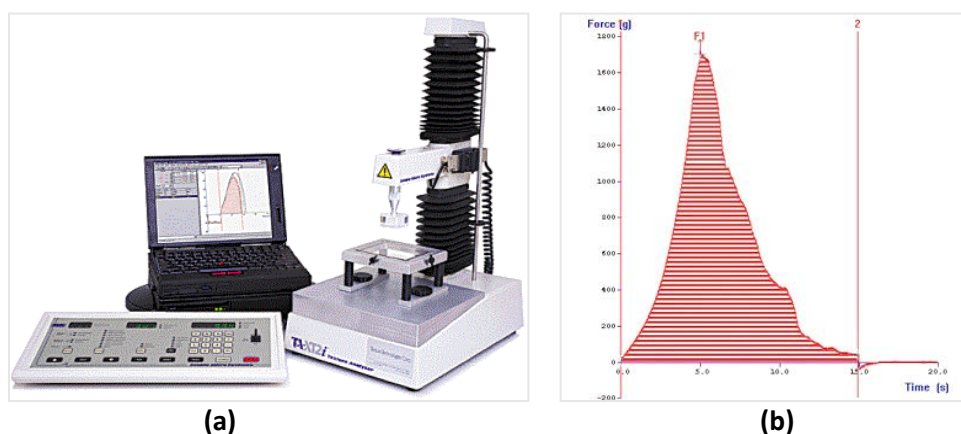


**Εικόνα 4.7.** (a) Απεικόνιση στο χώρο των L, a και b και (b) το χρωματικό διάγραμμα a και b.

#### 4.3.6. Προσδιορισμός Χαρακτηριστικών Υφής

Η υφή είναι σημαντική παράμετρος αποδοχής από τον καταναλωτή. Η λειτουργία των οργάνων μέτρησης βασίζεται στην αντίσταση του προϊόντος σε κάποια δύναμη, η οποία εφαρμόζεται για συμπίεση, για διάτμηση, κοπή ή εφελκυσμό, ή συνδυασμό συμπίεσης και διάτμησης. Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών υφής των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του αναλυτή υφής TA-XT2i Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK) (εικόνα 4.8(a)), ενώ η ανάλυση έγινε στο πρόγραμμα Texture Exponent 32.

Τα δείγματα επεξεργάζονται με στελέχη συγκεκριμένου σχήματος, τα οποία κινούνται με προκαθορισμένη ταχύτητα και βυθίζονται σε συγκεκριμένο βάθος που καθορίζεται με βάση το μέγεθος των δειγμάτων.



**Εικόνα 4.8. (a)** Αναλυτής υφής TA-XT2i Stable Microsystems, **(b)** Χαρακτηριστικό διάγραμμα δοκιμής της δύναμης συμπίεσης.

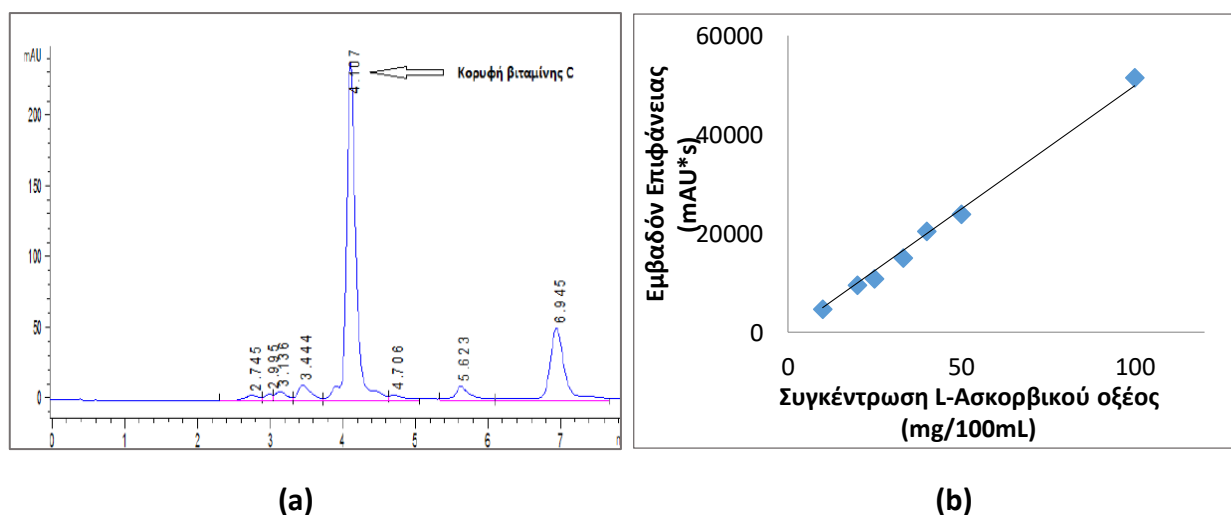
Η υφή στα πειράματα μας μετρήθηκε σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι κατά τη διάρκεια των πειραμάτων της ώσμωσης και της διατηρησιμότητας των ωσμοφυδατωμένων προϊόντων. Το δεύτερο στάδιο είναι μετά την επεξεργασία με ξήρανση δειγμάτων κολοκύθας. Και στις δύο περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε δοκιμή δύναμης συμπίεσης. Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται όλα τα χαρακτηριστικά του κάθε πειράματος και συγκεκριμένα το στέλεχος που χρησιμοποιήθηκε, η ταχύτητα κατά τη διάρκεια της μέτρησης, οι διαστάσεις του δείγματος και η τελική παραμόρφωση ή το βάθος καθόδου του στελέχους μέσα στο δείγμα. Ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα δοκιμής της δύναμης συμπίεσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.8.(b).

**Πίνακας 4.3** Χαρακτηριστικά Πειραμάτων Ανάλυσης Υφής

Δείγμα προς Εξέταση	Στέλεχος	Ταχύτητα Μέτρησης	Βάθος Καθόδου-Κοπής
Ωσμοφυδατωμένο Δείγμα Κολοκύθας	Κοπίδι	2,00mm/sec	6,00mm
Ξηραμένο Δείγμα Κολοκύθας	Κοπίδι	10,00mm/sec	3,00 mm

### 4.3.7. Προσδιορισμός Βιταμίνης C

Η μεταβολή της βιταμίνης C (L-ασκορβικό οξύ) αποτελεί σημαντικό δείκτη ποιότητας για τα φρέσκα φρούτα και τα λαχανικά. Η βιταμίνη C προσδιορίζεται με τη βοήθεια της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) αφού προηγουμένως το δείγμα έχει υποστεί μια επεξεργασία προκειμένου να έχει την απαιτούμενη μορφή για να υποστεί χρωματογραφική ανάλυση. Αρχικά ζυγίζονται 2,5g πολτοποιημένου δείγματος στα οποία προστίθενται 17,5mL διαλύματος μεταφωσφορικού οξέος (Sigma-Aldrich) 4,5w/w. Το μίγμα αναδεύεται μηχανικά με μαγνητικό αναδευτήρα για 30min. Ακολουθεί διήθηση του μίγματος υπό κενό και λαμβάνεται το διήθημα ο όγκος του οποίου μετράται. Το διήθημα φιλτράρεται με φίλτρο 0,45 $\mu$ m (Chromafil PVDF-45/25, Macherey-Nagel, Germany) και εισάγεται στη χρωματογραφική στήλη. Η κινητή φάση που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της βιταμίνης C είναι νερό HPLC (Merck) με προσθήκη μικρής ποσότητας μεταφωσφορικού οξέος προκειμένου το διάλυμα να αποκτήσει pH ίσο με 2,2. Όσον αφορά το χρωματογραφικό σύστημα που χρησιμοποιείται ανήκει στη σειρά HP 1100 και περιλαμβάνει βαθμωτή αντλία τεσσάρων καναλιών, απαερωτή κενού, στήλη ODS Hypersil (250x4.6 mm) με σωματίδια μεγέθους 5 $\mu$ m, βρόγχο όπου πραγματοποιείται η «ένεση» Rheodyne 20 $\mu$ L injection loop και ανιχνευτή Diode Array. Η ανίχνευση της βιταμίνης C (L- ασκορβικό οξύ) πραγματοποιείται στα 245nm. Η ποσοτικοποίηση της βιταμίνης C γίνεται με χρήση καμπύλης αναφοράς ( $y= 498,69x$  ,  $R^2 = 0,9934$ ). Στην εικόνα 4.9 παρουσιάζεται ένα τυπικό χρωματογράφημα προσδιορισμού βιταμίνης C και η καμπύλη αναφοράς (Giannakourou & Taoukis 2003, Dermesonlouoglou et al. 2016).



**Εικόνα 4.9. (a)** Τυπικό χρωματογράφημα για προσδιορισμό βιταμίνης C και **(b)** Καμπύλη αναφοράς για ποσοτικοποίηση της βιταμίνης C.

#### 4.3.8. Μικροβιολογικός Έλεγχος

Για τον υπολογισμό εφαρμόστηκε η μέθοδος της επιφανειακής ανάπτυξης σε τρυβλία. Η μέθοδος στηρίζεται στο ότι από ένα μικροβιακό κύτταρο αναπτύσσεται μία αποικία και συνεπώς η μέτρηση των αποικιών δίνει τον αριθμό των μικροοργανισμών απ' όπου προήλθαν.

Δείγμα 10g κολοκύθας, φέρονται σε αποστειρωμένη πλαστική σακούλα και προστίθενται σε αυτό 90g αποστειρωμένου διαλύματος Ringer 25% (Ringer Tablets, Merck, Darmstadt, Germany). Το μίγμα ομογενοποιείται για 2min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, με τη βοήθεια κατάλληλου ομογενοποιητή (BagMixer®, Interscience, France). Σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 10 mL φέρονται 9 mL διαλύματος Ringer και 1 mL από το ομογενοποιημένο δείγμα. Το δείγμα αναδεύεται και λαμβάνεται 1 mL το οποίο μεταφέρεται στον επόμενο σωλήνα. Κάθε αραιώση αποτελεί υποδεκαπλάσια της προηγούμενης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθούν οι επιθυμητές αραιώσεις. Στη συνέχεια, 0,1 mL από τα δείγματα λαμβάνονται και φέρονται στην επιφάνεια κατάλληλου θρεπτικού υποστρώματος σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri και ακολουθεί επάλειψη με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις αραιώσεις, ενώ πραγματοποιούνται διπλά δείγματα για κάθε αραιώση (Koutsoumanis et al. 2002).

Στη συνέχεια πραγματοποιείται επώαση των τριβλίων στους 35°C για 3d, μετά τις οποίες μετράται ο αριθμός των αποικιών σε κάθε τρυβλίο. Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των μικροοργανισμών τόσο περισσότερες αραιώσεις απαιτούνται για να είναι εφικτή η καταμέτρηση (50-200 αποικίες/τρυβλίο). Λαμβάνοντας υπόψη την αραιώση του δείγματος, υπολογίζεται ο αριθμός των μικροοργανισμών που περιέχει 1g δείγματος και μεταφράζεται σε  $\log_{10}$ cfu/g.

#### 4.3.9. Οργανοληπτική Αξιολόγηση

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των τελικών προϊόντων κολοκύθας, επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση και μη, σε θερμοκρασία φύλαξης 5, 10, 15 και 25 °C, πραγματοποιήθηκε από ομάδα 4 δοκιμαστών, με βαθμολογία σε κλίμακα αρέσκειας από 1 έως 9, με 9 να θεωρείται το άριστο. Τα δείγματα εξετάστηκαν ως προς τα χαρακτηριστικά χρώμα, υφή, γεύση και συνολική εντύπωση. Ως όριο αποδοχής ορίστηκε ο αριθμός 5. Τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης επεξεργάζονται στατιστικά με τη μέθοδο της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA).

Το έντυπο του οργανοληπτικού ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε κατά τις δοκιμές παρουσιάζεται παρακάτω:

*Έντυπο Οργανοληπτικού Ελέγχου: Αφυδατωμένη Κολοκύθα*

ΟΝΟΜΑ & ΕΠΩΝΥΜΟ :  
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ :

ΔΕΙΓΜΑ						
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ						
<i>Βαθμολογείστε ως προς την αρέσκεια 1 – 9 (1: πολύ κακό, 9: πολύ καλό)</i>						
Χρώμα						
Υφή (στο στόμα)						
Γεύση						
Συνολική Εντύπωση						
<i>Παρατηρήσεις</i>						

**Εικόνα 4.10.** Έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου αφυδατωμένης κολοκύθας.

#### 4.4. Επεξεργασία Μετρήσεων

##### 4.4.1. Απώλεια Νερού και Πρόσληψη Στερεών

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιούνται δύο κύρια φαινόμενα μεταφοράς μάζας: η απώλεια νερού (water loss) και η πρόσληψη στερεών από το τρόφιμο (solid gain). Η ποσοτικοποίηση αυτών γίνεται με τα παρακάτω μεγέθη:

- Δείκτης WL: Εκφράζει το ποσό του νερού που κατευθύνεται από το τρόφιμο προς το διάλυμα (g νερού/100 g αρχικού ξηρού βάρους).
- Δείκτης SG: Εκφράζει την ποσότητα των στερεών συστατικών που παρέλαβε το τρόφιμο από το ωσμωτικό διάλυμα (g ολικών στερεών/100 g αρχικού ξηρού βάρους).

Ο υπολογισμός των δεικτών WL και SG γίνεται σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

$$SG = \frac{(m - m_o)}{m_o} \quad (\text{Εξίσωση 4.3})$$

Όπου:

$M_o$ : η αρχική μάζα του φρέσκου τροφίμου

$M$ : η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο  $t$  ωσμωτικής αφυδάτωσης

$m$ : η ξηρή μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο  $t$  ωσμωτικής αφυδάτωσης

$m_o$ : η ξηρή μάζα του φρέσκου προϊόντος.

#### 4.4.2. Υπολογισμός Συντελεστών Διάχυσης Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για την περιγραφή της ωσμωτικής αφυδάτωσης βασίζονται σε δύο προσεγγίσεις της επεξεργασίας, τη μακροσκοπική και τη μικροσκοπική θεώρηση. Σύμφωνα με τη μακροσκοπική θεώρηση, δεν λαμβάνονται υπόψη μηχανισμοί που παρατηρούνται σε κυτταρικό επίπεδο καθώς γίνεται παραδοχή ότι ο ιστός του τροφίμου είναι ομοιογενής και το φαινόμενο της ώσμωσης προσεγγίζεται μέσα από μακροσκοπικές-φαινομενολογικές σχέσεις που εκφράζουν μακροσκοπικά μεγέθη, όπως η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών. Αντίθετα, σύμφωνα με τη μικροσκοπική θεώρηση του φαινομένου λαμβάνεται η ετερογενής φύση του ιστού και η ιδιαιτερότητα του εκάστοτε κυτταρικού συστήματος, καθιστώντας αυτό ιδιαίτερα πολύπλοκο αν και ακριβέστερο.

Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος προσέγγισης των φαινομένων μεταφοράς μάζας, βάση της μακροσκοπικής προσέγγισης του φαινομένου, βασίζεται στον 2<sup>ο</sup> 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:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \quad (\text{Εξίσωση 4.4})$$

Όπου:

C: η συγκέντρωση,

D: ο συντελεστής διάχυσης,

Z: η χαρακτηριστική απόσταση της διάχυσης και

t: ο χρόνος.

Το φαινόμενο αφορά στη μεταφορά διαλυτών υλικών από το στερεό στον περιβάλλοντα χώρο, και αντιστρόφως. 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 ισχύουν: (α) ομοιόμορφη κατανομή αρχικής υγρασίας, (β) αμελητέα εξωτερική αντίσταση σε μεταφορά μάζας, (γ) μη συρρίκνωση κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, και λαμβάνοντας υπόψη τις αρχικές οριακές συνθήκες:

$$\begin{array}{lll} \text{για } t=0 & C=C_0, & -1 < x < +1 \\ \text{για } t>0 & C=C_1, & x=1 \end{array}$$

όπου C η συγκέντρωση, αν υποθέσουμε ότι πρόκειται για ένα καλώς αναμεμιγμένο ωσμωτικό διάλυμα, η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$M = \frac{(w_t - w_\infty)}{(w_o - w_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\left(n + \frac{1}{2}\right)^2 \pi^2 F_{ow}\right] \quad (\text{Εξίσωση 4.5})$$

και

$$S = \frac{(s_t - s_\infty)}{(s_o - s_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\left(n + \frac{1}{2}\right)^2 \pi^2 F_{os}\right] \quad (\text{Εξίσωση 4.6})$$

Όπου:

$w$  και  $s$  είναι η περιεχόμενη υγρασία και τα περιεχόμενα στερεά συστατικά αντίστοιχα, και οι δείκτες  $o$ ,  $t$  και  $\infty$  αντιπροσωπεύουν τις συγκεντρώσεις αρχικά, για τυχαία χρονική στιγμή και κατά την ισορροπία

και  $F_{ow}$  και  $F_{os}$  είναι οι αριθμοί Fourier για τη διάχυση υγρασίας και στερεών, που δίνονται από τις εξής εξισώσεις:

$$F_{ow} = \frac{D_{ew}}{\ell^2} t \quad (\text{Εξίσωση 4.7})$$

και

$$F_{os} = \frac{D_{es}}{\ell^2} t \quad (\text{Εξίσωση 4.8})$$

Όπου:

$D_{ew}$ ,  $D_{es}$ : οι συντελεστές διάχυσης για την υγρασία και τα στερεά

$t$ : ο χρόνος εμφάνισης του τροφίμου στο ωσμωτικό διάλυμα

$\ell$ : 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 μέχρι τον πέμπτο όρο. Οι συντελεστές  $D_{ew}$  και  $D_{es}$  υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Στην παρούσα μελέτη, οι διαστάσεις των προς επεξεργασία δειγμάτων κολοκύθας, επιτρέπουν 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 τη σχέση Arrhenius, η οποία είναι η πιο διαδεδομένη σχέση που περιγράφει την επίδραση της θερμοκρασίας στον ρυθμό της αντίδρασης:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (\text{Εξίσωση 4.9})$$

ή με αναφορά σε κάποια θερμοκρασία:

$$k = k_{ref} \exp\left[-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (\text{Εξίσωση 4.10})$$

Όπου:

$k_0$ : ο προ – εκθετικός παράγοντας

$k_{ref}$ : η σταθερά του ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}$

$E_a$ : η ενέργεια ενεργοποίησης (kJ/mol)

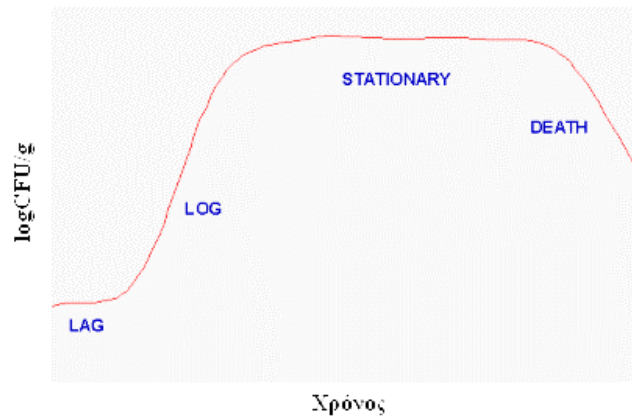
$R$ : η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,314 J/molK

Ως θερμοκρασία αναφοράς, στην παρούσα διπλωματική εργασία, λαμβάνονται οι 40°C.

#### 4.4.3. Κινητικό μοντέλο Υποβάθμισης της Ποιότητας κατά την Αποθήκευση – Μελέτη Διατηρησιμότητας

Η μελέτη της μικροβιακής αλλοίωσης γίνεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την καλλιέργεια αποικιών, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο αριθμός των αποικιών που μετρώνται σε κάθε τρυβλίο, πολλαπλασιαζόμενος επί τον αντίστροφο του, δίνει τις ικανές αποικίες να σχηματίσουν βιολογικές μονάδες ανά γραμμάριο δείγματος. Συνήθως, όταν πρόκειται για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, δεν χρησιμοποιούνται τόσο μεγάλα νούμερα, αλλά αντί για αυτά χρησιμοποιείται ο δεκαδικός τους λογάριθμος.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του φορτίου ενός μικροβίου, που προκύπτουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, αν παρασταθούν σε πίνακα αξόνων εμφανίζουν μια καμπύλη που ακολουθεί ένα ορισμένο πρότυπο, όπως αυτή που φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 4.11.



**Εικόνα 4.11.** Τυπική καμπύλη ανάπτυξης μικροβίων.

Η σχέση που εκφράζει την ποιοτική υποβάθμιση του τελικού προϊόντος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής είναι:

$$\frac{dP}{dt} = k P^n \quad (\text{Εξίσωση 4.11})$$

Όπου:

- P: ο ποιοτικός δείκτης που μελετάται
- k: η σταθερά του ρυθμού αντίδρασης
- n: η τάξη της αντίδρασης.

Σύμφωνα με την εξίσωση που προκύπτει από τα πειραματικά αποτελέσματα για κάθε δείκτη ποιότητας, προκύπτουν οι σταθερές του ρυθμού αντίδρασης (k) για κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης.

Η σταθερά του ρυθμού αντίδρασης κάθε ποιοτικού δείκτη συσχετίζεται με τη θερμοκρασία αποθήκευσης μέσω της εξίσωσης Arrhenius (εξισώσεις 4.9 – 4.10), από την οποία προσδιορίζεται και η ενέργεια ενεργοποίησης σε κάθε περίπτωση.

Για τα πειράματα της διατηρησιμότητας υπό ψύξη, ως θερμοκρασία αναφοράς λαμβάνονται οι 4°C. Από τα κινητικά μοντέλα που προκύπτουν για την υποβάθμιση του τροφίμου, είναι δυνατός ο προσδιορισμός της διάρκειας ζωής του.

#### 4.4.4. Κινητικό μοντέλο Ξήρανσης

Η μαθηματική εφαρμογή των φαινομένων μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα κατά την ξήρανση βασίζεται στον 2<sup>ο</sup> νόμο του Fick και περιγράφεται από τον τύπο:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D t}{4L^2} \right] \quad (\text{Εξίσωση 4.12})$$

Όπου:

MR: η κλασματική αναλογία υγρασίας,

M<sub>0</sub>: η αρχική υγρασία,

M: η μέση υγρασία στο χρόνο t,

M<sub>e</sub>: η υγρασία σε ισορροπία και

L: το ήμισυ του πάχους της φέτας για την ξήρανση και από τις δύο πλευρές ή το πάχος της φέτας για ξήρανση από τη μία πλευρά.

Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και ένα απλό εκθετικό μοντέλο για να προσδιοριστεί προσδιορίσει το σταθερό ρυθμό της διάχυσης και να περιγράψει τα φαινόμενα μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεργασία αυτή (Babalís et al. 2006, Orikasa et al. 2008, Ando, et al. 2016):

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-k_d t} \quad (\text{Εξίσωση 4.13})$$

Όπου:

M: η περιεκτικότητα σε υγρασία τη χρονική στιγμή t

M<sub>0</sub>: η αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία

M<sub>e</sub>: η περιεκτικότητα σε υγρασία στο σημείο ισορροπίας

k<sub>d</sub>: η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης (h<sup>-1</sup>)

t: ο χρόνος της ξήρανσης (h).

#### 4.4.5. Υπολογισμός Μοριακού Βάρους

Ο υπολογισμός του μοριακού βάρους διαλυμένης ουσίας, σε μη κορεσμένο και μη ηλεκτρολυτικό υδατικό διάλυμα, γίνεται σύμφωνα με τον νόμο του Raoult για ιδανικά διαλύματα (Raoult, 1882):

$$a_w = \frac{N_{H_2O}}{N_{H_2O} - N_{SOLUTE}} \quad (\text{Εξίσωση 4.14})$$

Όπου:

$N_{H_2O}$ : τα moles του νερού στο διάλυμα

$N_{SOLUTE}$ : τα moles του διαλυμένου στερεού

#### 4.4.6. Στατιστική Επεξεργασία

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Επιπλέον, εφαρμόζεται ο έλεγχος Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) για να αποτιμηθούν, για κάθε παράγοντα χωριστά, οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών περιπτώσεων (IBM SPSS Statistics, Version 19, SPSS Inc., IBM Company, Release 19.0.0.).

## **Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και Συζήτηση**

### **5.1. Πρώτη Θεματική ενότητα: Ωσμωτική Αφυδάτωση και Εξαγωγή Κινητικών Μοντέλων**

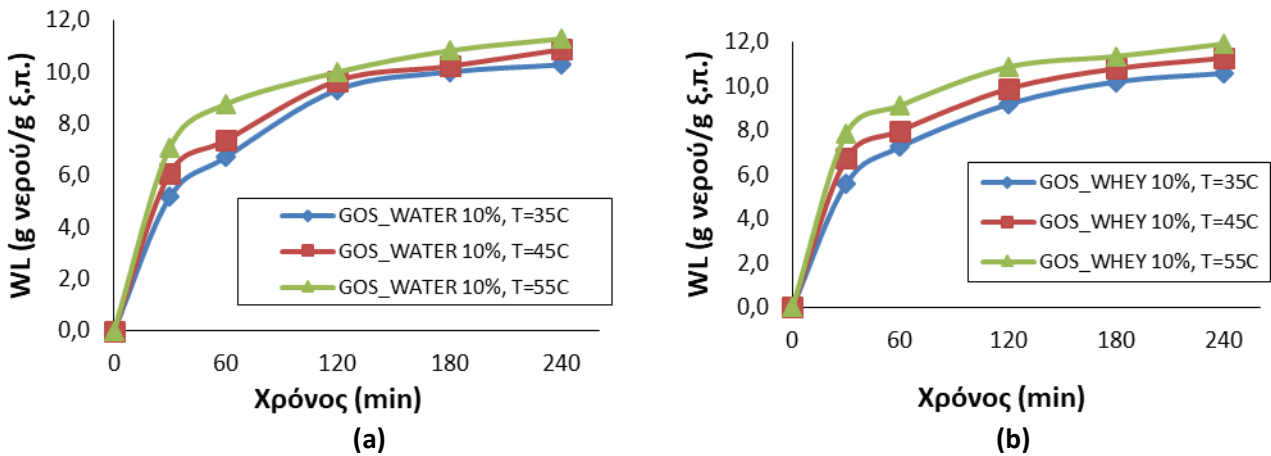
Σκοπός της παρούσας ενότητας είναι η μελέτη των φαινομένων μεταφοράς που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας. Βασικό στοιχείο μελέτης αποτελεί η χρήση (α) όξινου ορού Ελληνικού ή στραγγιστού γιαουρτιού έναντι νερού στο ωσμωτικό διάλυμα, και οι αλλαγές που επιφέρει στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, (β) εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών όπως οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες και οι φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (Dermesonliouglou et al. 2016b).

Στην πρώτη θεματική ενότητα μελετώνται τα πειράματα ωσμωτικής αφυδάτωσης που πραγματοποιήθηκαν, με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης αναλογίας συστατικών στο ωσμωτικό μέσο και των βέλτιστων συνθηκών θερμοκρασίας και χρόνου κατεργασίας. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούν την ενεργότητα του νερού, την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών στις εκάστοτε συνθήκες, και μας επιτρέπουν τον υπολογισμό των συντελεστών διάχυσης. Επίσης, μελετήθηκαν τα φαινόμενα εμπλουτισμού του τροφίμου σε GOS.

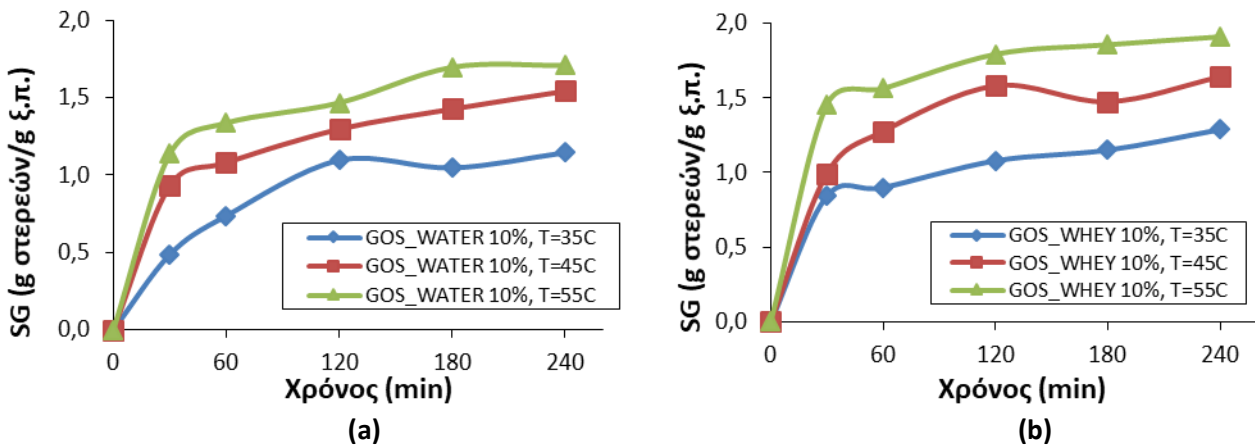
#### **5.1.1. Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (με χρήση GOS): Επιλογή Βέλτιστης Θερμοκρασίας**

Στο στάδιο αυτό ελέγχθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στην ωσμωτική αφυδάτωση, σε ωσμωτικό διάλυμα με 10% GOS – 10% Τρεχαλόζη. Οι θερμοκρασίες που έγινε το πείραμα ήταν 35, 45, 55°C για 30, 60, 120, 180, 240 min σε αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο 1:5 κατά βάρος. Σε κάθε περίπτωση εξετάσθηκε το ωσμωτικό μέσο με νερό (Διάλυμα 1) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (Διάλυμα 2). Τα αποτελέσματα της απώλειας νερού και της πρόσληψης στερεών παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.

## Αποτελέσματα και Συζήτηση



**Σχήμα 5.1.** Απώλεια νερού (g νερού/ g αρχικού ξηρού βάρους) για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση σε διαφορετικές θερμοκρασίες 35-45-55°C, **(a)** σε ωσμωτικό μέσο με νερό, **(b)** σε ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού.



**Σχήμα 5.2.** Πρόσληψη στερεών (g στερεού/ g αρχικού ξηρού βάρους) για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση σε διαφορετικές θερμοκρασίες 35-45-55°C, **(a)** σε ωσμωτικό μέσο με νερό, **(b)** σε ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού.

Από τα σχήματα 5.1 και 5.2 παρατηρείται ότι η πιο σημαντική απώλεια νερού εμφανίζεται σε θερμοκρασία 55°C και κυμαίνεται σε τιμές 0-11,92 g<sub>H2O</sub>/g<sub>ξ.π.</sub>. Αντίστοιχα η πρόσληψη στερεών κυμαίνεται στην ίδια θερμοκρασία σε τιμές μεταξύ 0-1,91 g<sub>στερεών</sub>/g<sub>ξ.π.</sub>. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι κατά την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας σε θερμοκρασία 30°C, η μέγιστη απώλεια νερού παρατηρείται σε ωσμωτικό μέσο με σιρόπι αμύλου, για 3h επεξεργασίας (2,758g<sub>H2O</sub>/g<sub>ξ.π.</sub>) ενώ η μέγιστη πρόσληψη στερεών παρατηρείται σε ωσμωτικό μέσο με γλυκόζη, για 3h επεξεργασίας (0,765g<sub>στερεών</sub>/g<sub>ξ.π.</sub>) (Kowalska et al. 2008). Η χρήση πολυσυστατικού ωσμωτικού διαλύματος με γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες φαίνεται να επιφέρει βελτιωμένα αποτελέσματα απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών στον φυτικό ιστό κολοκύθας.

Με εφαρμογή των εξισώσεων 4.2 - 4.8, για τα πειραματικά δεδομένα, μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές διάχυσης τόσο για την απώλεια νερού όσο και από την πρόσληψη στερεών, σε όλες τις συνθήκες θερμοκρασίας για τα δείγματα ωσμωτικού με νερό και αυτά με ορό.

**Πίνακας 5.1.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού ( $D_{ew}$ ) και συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) για διαφορετικές θερμοκρασίες ωσμωτικής αφυδάτωσης (35-45-55°C) και για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (WHEY).

WATER			WHEY	
T(°C)	$D_{ew}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	$D_{ew}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>
35	2,699±0,157 <sup>a</sup>	0,9948	2,777±0,134 <sup>a</sup>	0,9964
45	3,108±0,216 <sup>a</sup>	0,9927	3,15±0,264 <sup>a</sup>	0,9896
55	3,741±0,331 <sup>b</sup>	0,9895	3,974±0,397 <sup>b</sup>	0,9871

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια στήλη (διαφορετικές θερμοκρασίες).

**Πίνακας 5.2.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης στερεών ( $D_{es}$ ) και συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) για διαφορετικές θερμοκρασίες ωσμωτικής αφυδάτωσης (35-45-55°C) και για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (WHEY).

WATER			WHEY	
T(°C)	$D_{es}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	$D_{es}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>
35	2,509±0,283 <sup>a</sup>	0,9805	3,115±0,517 <sup>a</sup>	0,9554
45	2,940±0,329 <sup>a</sup>	0,9797	3,782±0,386 <sup>a</sup>	0,9863
55	3,991±0,509 <sup>b</sup>	0,9792	5,589±0,753 <sup>b</sup>	0,982

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια στήλη (διαφορετικές θερμοκρασίες).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών παρουσιάζονται στον προηγούμενο πίνακα, και εφαρμόζοντας την εξίσωση Arrhenius 4.9-4.10, που συσχετίζει τους συντελεστές διάχυσης με τη θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης, υπολογίστηκε η ενέργεια ενεργοποίησης και ο συντελεστής διάχυσης του νερού στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=40^{\circ}\text{C}$ ) για κάθε δείγμα.

**Πίνακας 5.3.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}=40^{\circ}\text{C}$  και ενέργεια ενεργοποίησης ( $E_a$ ) για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (WHEY).

	Water Loss		Solid Gain	
	WATER	WHEY	WATER	WHEY
$D_{ref} (*10^{-9} \text{ m}^2/\text{s})$	2,914±0,215	2,992±0,323	2,759±0,245	3,505±0,361
$E_a \text{ (KJ/mol)}$	13,69±1,29	15,00±1,86	19,42±2,12	24,45±2,80
$R^2$	0,9913	0,965	0,9608	0,9567

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων.

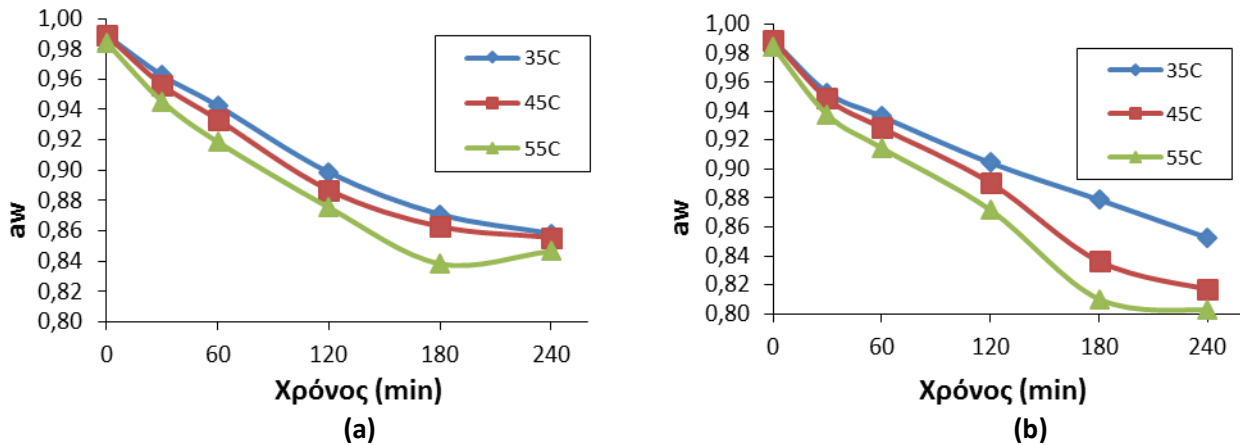
Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι οι δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών σε χαμηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας (35, 45 °C) δεν έχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές. Αντίθετα, η επεξεργασία σε υψηλή θερμοκρασία (55 °C) εμφανίζει σημαντική στατιστική διαφορά και προκαλεί σημαντική αύξηση του συντελεστή απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών.

Το ωσμωτικό μέσο με ορό εμφανίζει συνολικά καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτά του ωσμωτικού διαλύματος με νερό. Ο συντελεστής διάχυσης πρόσληψης στερεών για τη θερμοκρασία των 55 °C για το ωσμωτικό μέσο με ορό είναι σημαντικά μεγαλύτερος ( $p<0,05$ ) από αυτόν για το ωσμωτικό μέσο με νερό. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη συγκέντρωση απλών σακχάρων στον ορό γιαουρτιού, που καθιστά το ωσμωτικό μέσο με ορό πιο πλούσιο σε μόνο- & δι-σακχαρίτες. Το χαμηλό μοριακό βάρος των ουσιών αυτών έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διάχυση στερεών προς το τρόφιμο και κατ' επέκταση την αυξημένη πρόσληψη στερεών.

Η τιμή των συντελεστών διάχυσης που προέκυψαν προσεγγίζουν τα αποτελέσματα που βρίσκονται βιβλιογραφικά για την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση ανεπεξέργαστου δείγματος κολοκύθας σε θερμοκρασία 30 °C, οι Kowalska et al. (2008), υπολόγισαν ότι ο συντελεστής διάχυσης απώλειας νερού κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ  $1,12-1,85*10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , ενώ ο συντελεστής διάχυσης πρόσληψης στερεών κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ  $6,76-9,74*10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται σε ωσμωτικό διάλυμα με γλυκόζη για χρόνο επεξεργασίας 180min. Οι Mayor et al. (2006), μελέτησαν την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου, και υπολόγισαν ότι οι συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών εμφανίζουν γραμμικότητα με τη θερμοκρασία επεξεργασίας και κυμαίνονται μεταξύ  $0,88-1,92*10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $1,88-4,22*10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , αντίστοιχα.



Στο στάδιο αυτό μελετήθηκε επίσης η μεταβολή της ενεργότητας του νερού, τόσο για τα δείγματα που ήταν εμβαπτισμένα σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό όσο και για αυτά με τον ορό. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα της ενεργότητας για τις τρεις θερμοκρασίες συναρτήσει του χρόνου ώσμωσης.



**Σχήμα 5.3.** Μεταβολή ενεργότητας συναρτήσει του χρόνου ώσμωσης, για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση σε διαφορετικές θερμοκρασίες 35-45-55°C, (a) σε ωσμωτικό μέσο με νερό, (b) σε ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, η τιμή της ενεργότητας νερού επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία, με το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού να επιφέρει μεγαλύτερη μείωση. Επίσης, παρατηρείται ότι στους 55°C, μετά τα 180min, το σύστημα έρχεται σε ισορροπία και η περαιτέρω ώσμωση δεν προκαλεί μείωση της ενεργότητας. Αντίστοιχα, οι Mayor et al. (2006) παρατήρησαν ότι οι πιο σημαντικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας πραγματοποιούνται τις πρώτες 3h επεξεργασίας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα βρίσκεται ότι η θερμοκρασία των 55°C είναι η βέλτιστη για την ωσμωτική αφυδάτωση φρεσκοκομμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό διάλυμα με GOS, καθώς παρουσιάζει τους μεγαλύτερους συντελεστές διάχυσης απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών και ταυτόχρονα προκαλεί μεγάλη μείωση της ενεργότητας. Ως χρονική διάρκεια επεξεργασίας επιλέγονται οι δύο (2h) ώρες, με τελική ενεργότητα νερού προϊόντος στο 0,87 τόσο στα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα με νερό όσο και με ορό γιαουρτιού.

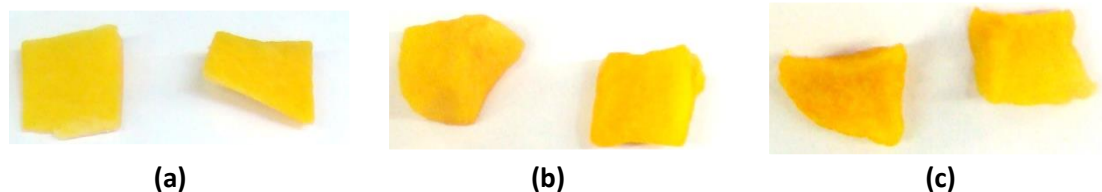
Για την επιβεβαίωση των παραπάνω συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης (2h-55°C), θα πρέπει να εξετάσουμε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος που έχει επεξεργαστεί ώσμωση. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα αυτά.

**Πίνακας 5.4.** Μεταβολή οργανοληπτικών και διατροφικών ιδιοτήτων, ύστερα από ωσμωτική αφυδάτωση για 2h στους 55°C, σε ωσμωτικό μέσο με νερό και με ορό γιαουρτιού.

	Control (t=0min)	Osm_Water (t=120min)	Osm_Whey (t=120min)	
<b>Χρώμα</b>	<i>L*</i>	76,1±0,71 <sup>a</sup>	76,5±0,80 <sup>a</sup>	74,3±0,91 <sup>b</sup>
	<i>a*</i>	5,8±0,41 <sup>a</sup>	7,2±0,69 <sup>b</sup>	7,9±1,15 <sup>b</sup>
	<i>b*</i>	65,2±1,14 <sup>a</sup>	70,0±0,27 <sup>b</sup>	68,6±0,69 <sup>b</sup>
<b>Σκληρότητα-Fmax (N)</b>	11,5±2,1 <sup>a</sup>	13,9±1,5 <sup>a</sup>	13,5±1,2 <sup>a</sup>	
<b>Συνολική Εντύπωση</b>	8,3±0,6 <sup>a</sup>	8,0±0,5 <sup>a</sup>	8,2±0,3 <sup>a</sup>	
<b>Vitamin C (mg/100g)</b>	13,91±1,38 <sup>a</sup>	770,6±3,80 <sup>b</sup>	813,55±3,24 <sup>b</sup>	

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια γραμμή.

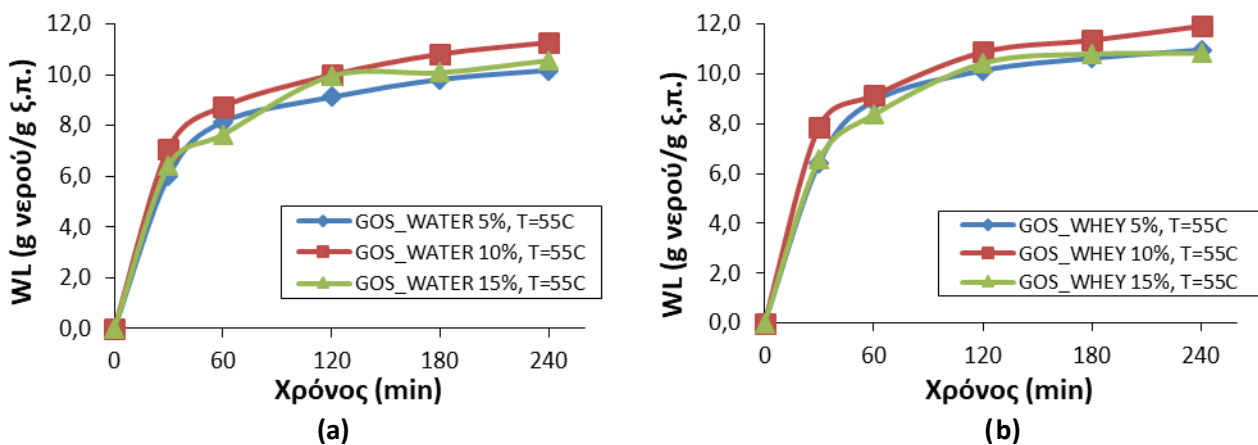
Όπως παρατηρείται η επεξεργασία στις συνθήκες αυτές επιφέρει μη σημαντικές μεταβολές ( $p > 0.05$ ) στην υφή και την οργανοληπτική αποδοχή του προϊόντος. Σχετικά με το χρώμα, η ωσμωτική προκατεργασία φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά την παράμετρο της φωτεινότητας ( $L^*$ ) στην περίπτωση του ωσμωτικού μέσου με νερό, ενώ παρουσιάζει μικρή μεταβολή στην περίπτωση του ωσμωτικού μέσου με όξινο ορό. Η μείωση αυτή μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη πρόσληψη στερεών από το ωσμωτικό υλικό. Οι παράμετροι του κόκκινου ( $a^*$ ) και του κίτρινου ( $b^*$ ) χρώματος, αυξάνονται ύστερα από την ωσμωτική προκατεργασία. Αντίστοιχες αναφορές βρίσκονται βιβλιογραφικά κατά την ωσμωτική αφυδάτωση βερίκοκου, όπου οι παράμετροι  $a^*$  και  $b^*$  αυξάνονται ενώ η παράμετρος  $L^*$  διατηρείται σταθερή (Forni et al. 1997). Ακόμη, η συγκέντρωση του προϊόντος σε βιταμίνη C αυξάνεται σημαντικά μετά την ωσμωτική αφυδάτωση. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι η συγκέντρωση βιταμίνης C ακτινιδίου, ύστερα από εμβάπτιση σε ωσμωτικό μέσο με 2% ασκορβικό οξύ για 180 min στους 45 °C, είναι ίση με 210mg/100g (Dermesonlouoglou et al. 2016). Εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας επεξεργασίας (55 °C) και της αυξημένης συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος (4%) στο ωσμωτικό διάλυμα, η τελική συγκέντρωση στο ωσμωαφυδατωμένο προϊόν κολοκύθας είναι 770,6-813,5mg/100g. Παρακάτω παρουσιάζεται η μεταβολή της εμφάνισης των δειγμάτων ύστερα από αφυδάτωση στις συνθήκες αυτές.



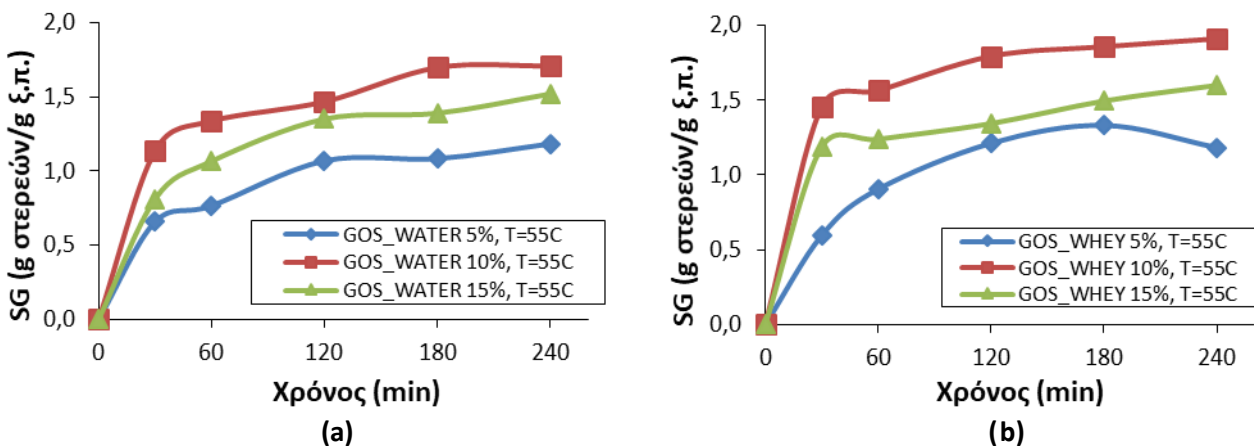
**Εικόνα 5.1.** (a)Ανεπεξεργαστο Δείγμα (CONTROL), (b)Ωσμωμένο δείγμα με νερό (OSM), (c) Ωσμωμένο δείγμα με όξινο ορό (OSM\_WHEY).

### 5.1.2. Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (με χρήση GOS): Επιλογή Βέλτιστης Συγκέντρωσης

Στο στάδιο αυτό μελετήθηκε η επίδραση της συγκέντρωσης των γαλακτοολιγοσακχαριτών  $C_{GOS}$ , στα φαινόμενα μεταφοράς που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ώσμωσης. Για να ελεγχθεί η παράμετρος αυτή επιλέχθηκαν οι συγκεντρώσεις 5%, 10% και 15% GOS, μεταβάλλοντας αντίστοιχα τη συγκέντρωση της τρεχαλόζης στο ωσμωτικό μέσο. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του προηγούμενου πειράματος για τη βέλτιστη θερμοκρασία ώσμωσης, επιλέχθηκε θερμοκρασία 55 °C, με αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο 1:5. Σε κάθε περίπτωση εξετάστηκε το ωσμωτικό μέσο με νερό (Διάλυμα 1,3,5) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (Διάλυμα 2,4,6). Τα αποτελέσματα της απώλειας νερού και της πρόσληψης στερεών παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν:



**Σχήμα 5.4.** Απώλεια νερού (g νερού/ g αρχικού ξηρού βάρους) για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση σε διαφορετικές συγκεντρώσεις GOS, (a) σε ωσμωτικό μέσο με νερό, (b) σε ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού.



**Σχήμα 5.5.** Πρόσληψη στερεών (g στερεού/ g αρχικού ξηρού βάρους) για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση σε διαφορετικές συγκεντρώσεις GOS, (a) σε ωσμωτικό μέσο με νερό, (b) σε ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού.

Με εφαρμογή των εξισώσεων υπολογισμού των συντελεστών διάχυσης 4.2-4.7, για τα πειραματικά δεδομένα, μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές τόσο για την απώλεια νερού όσο και από την πρόσληψη στερεών, σε όλες τις συγκεντρώσεις για τα δείγματα ωσμωτικού με νερό και με ορό.

**Πίνακας 5.5.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού ( $D_{ew}$ ) και συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) για διαφορετικές συγκεντρώσεις GOS (5-10-15%) και για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (WHEY).

%C GOS	WATER		WHEY	
	$D_{ew}$ (* $10^{-9}$ m <sup>2</sup> /s)	$R^2$	$D_{ew}$ (* $10^{-9}$ m <sup>2</sup> /s)	$R^2$
5%	3,695±0,243 <sup>a</sup>	0,9943	3,843±0,194 <sup>a</sup>	0,9968
10%	3,741±0,331 <sup>a</sup>	0,9895	3,974±0,397 <sup>a</sup>	0,9871
15%	3,472±0,262 <sup>a</sup>	0,9923	3,866±0,188 <sup>a</sup>	0,9971

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια στήλη (διαφορετικές συγκεντρώσεις).

**Πίνακας 5.6.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης στερεών ( $D_{es}$ ) και συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) για διαφορετικές συγκεντρώσεις GOS (5-10-15%) και για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (WHEY).

%C GOS	WATER		WHEY	
	$D_{es}$ (* $10^{-9}$ m <sup>2</sup> /s)	$R^2$	$D_{es}$ (* $10^{-9}$ m <sup>2</sup> /s)	$R^2$
5%	2,734±0,241 <sup>a</sup>	0,9874	3,636±0,690 <sup>a</sup>	0,9623
10%	2,94±0,329 <sup>a</sup>	0,9797	5,589±0,753 <sup>b</sup>	0,9820
15%	2,836±0,173 <sup>a</sup>	0,9941	4,489±0,930 <sup>ab</sup>	0,9460

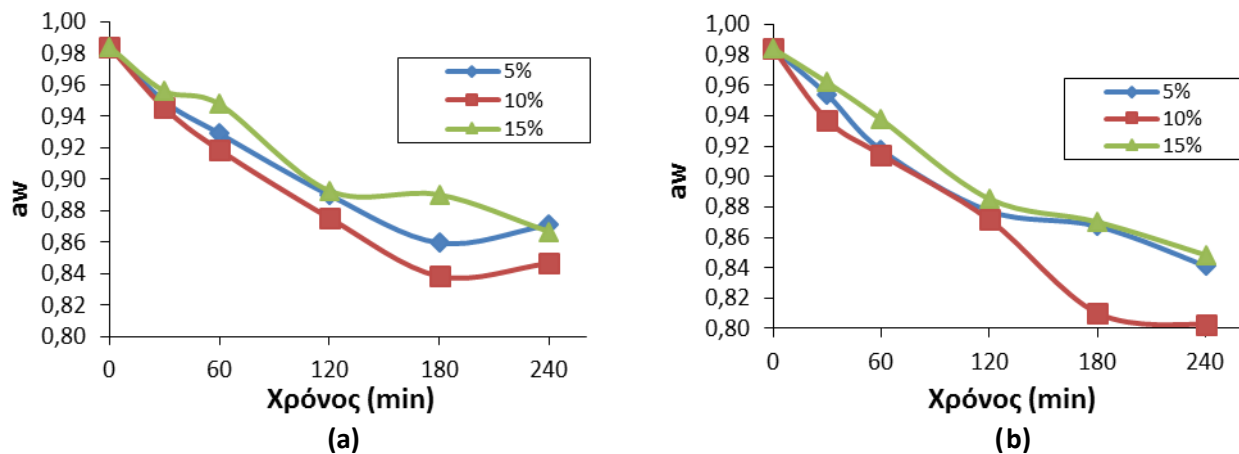
± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια στήλη (διαφορετικές συγκεντρώσεις).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών έναντι της τρεχαλόζης δεν επηρεάζει σημαντικά τους συντελεστές διάχυσης νερού ( $p > 0.05$ ) όπως επίσης και τους συντελεστές διάχυσης στερεών σε ωσμωτικό μέσο με νερό. Η ανάλυση διακύμανσης που πραγματοποιήθηκε στα αποτελέσματα των συντελεστών διάχυσης στερεών ωσμωτικού μέσου με όξινο ορό, έδειξε ότι οι συντελεστές διάχυσης για συγκέντρωση

GOS 5% και 15% δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και αντίστοιχα οι συντελεστές διάχυσης για συγκέντρωση GOS 10% και 15% δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ( $p > 0.05$ ). Ωστόσο, η συγκέντρωση 10% GOS- 10% Τρεχαλόζη οδηγεί σε σημαντικά διαφοροποιημένους συντελεστές διάχυσης από εκείνους για συγκέντρωση 5% GOS-15% Τρεχαλόζη. Γενικά, παρατηρούμε ότι οι συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών δεν παρουσιάζουν μεγάλη εξάρτηση από την αναλογία γαλακτο-ολιγοσακχαριτών και τρεχαλόζης. Βιβλιογραφικά, παρατηρήθηκε χαμηλή εξάρτηση των συντελεστών διάχυσης νερού και στερεών από τη συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος (Mayor et al. 2006, Garcia et al. 2007).

Παρατηρούμε ότι η μεταβολή των συντελεστών διάχυσης απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών δεν παρουσιάζει γραμμικότητα ως προς τη συγκέντρωση των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών, καθώς τα βέλτιστα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε συγκέντρωση 10%GOS-10%Τρεχαλόζη. Η μη αναμενόμενη αυτή απόδοση πιθανά οφείλεται στη διαλυτότητα των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών. Στην υψηλή συγκέντρωση, κοντά στον κορεσμό του διαλύματος σε GOS, η διάχυση στερεών προς το τρόφιμο έγινε πιο δύσκολα, με αποτέλεσμα να επιφέρει τα ίδια αποτελέσματα με τη χαμηλότερη συγκέντρωση.

Στο στάδιο αυτό μελετήθηκε επίσης η μεταβολή της ενεργότητας του νερού, τόσο για τα δείγματα που ήταν εμβαπτισμένα σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό όσο και για αυτά με τον ορό. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα της ενεργότητας συναρτήσει του χρόνου ώσμωσης.



**Σχήμα 5.6.** Μεταβολή ενεργότητας συναρτήσει του χρόνου ώσμωσης, για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση σε διάλυμα με 5-10-15% GOS, (a) με νερό, (b) με ορό γιαουρτιού.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις τιμές της ενεργότητας νερού ως προς τον χρόνο δείχνουν ότι η ενδιάμεση συγκέντρωση (10%) προκαλεί μεγαλύτερη μείωση της ενεργότητας.

Συνολικά, τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από την αφυδάτωση κολοκύθας σε ωσμωτικό διάλυμα με διαφορετική συγκέντρωση γαλακτο-ολιγοσακχαριτών, δείχνουν ότι η βέλτιστη συγκέντρωση είναι 10%, με αντίστοιχα 10% τρεχαλόζη. Οι μικρές διαφορές που εντοπίστηκαν στα αποτελέσματα μπορεί να οφείλονται στο ότι το μοριακό βάρος της τρεχαλόζης δεν διαφέρει σημαντικά από αυτό των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών. Έτσι, όπου η τελική συγκέντρωση παραμένει σταθερή στο ωσμωτικό διάλυμα, τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, κρίνεται χρήσιμος ο υπολογισμός του μοριακού βάρους των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών. Το εμπορικό GOS που χρησιμοποιείται είναι μίγμα ολιγοσακχαριτών με περισσότερες από τρεις μονάδες σακχάρων, λακτόζης, γλυκόζης και γαλακτόζης. Σύμφωνα με τον νόμο του Raoult (Εξίσωση 4.11) για την ενεργότητα νερού διαλυμάτων σε συγκέντρωση μικρότερη από τη συγκέντρωση κορεσμού, το μοριακό βάρος του GOS υπολογίστηκε ίσο με:  $285 \pm 100$ .

Τελικά, το μέσο μοριακό βάρος του μίγματος GOS είναι λίγο μικρότερο από αυτό της τρεχαλόζης. Έτσι, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας δεν μεταβάλλονται αισθητά όταν αλλάζει η μεταξύ τους αναλογία διατηρώντας τη συνολική συγκέντρωση σταθερή. Η μικρή διαφορά στο μοριακό βάρος συμβάλλει ωστόσο στους βελτιωμένους συντελεστές πρόσληψης στερεών.

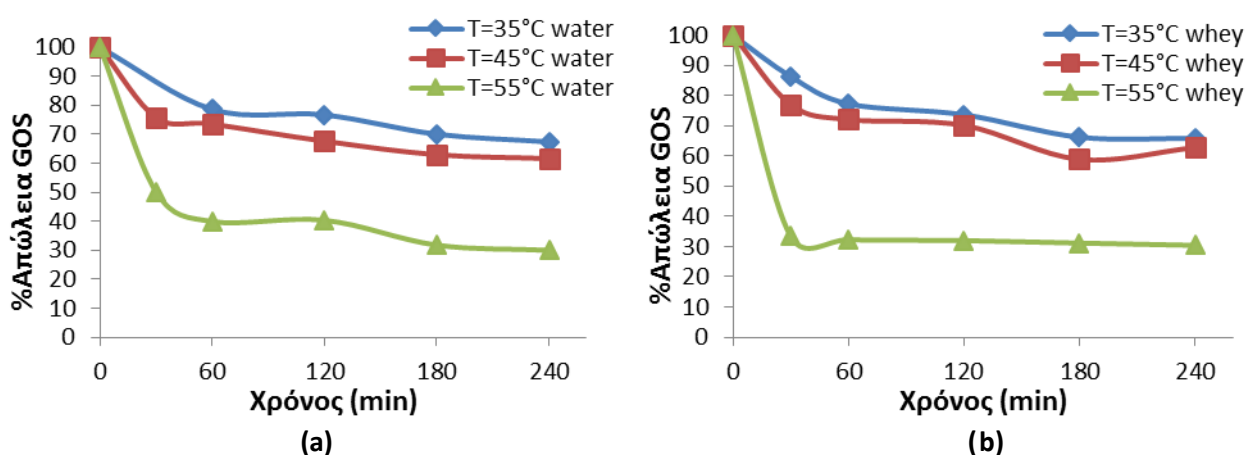
Με βάση τα προηγούμενα πειράματα προκύπτει ότι η ώσμωση κολοκύθας, σε ωσμωτικό μέσο που περιέχει γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες, έχει τα βέλτιστα αποτελέσματα σε θερμοκρασία 55°C. Ως βέλτιστη συγκέντρωση γαλακτο-ολιγοσακχαριτών επιλέγεται η 10%w/w, με αντίστοιχα 10%w/w συγκέντρωση τρεχαλόζης.

### **5.1.3. Ωσμωτικό Διάλυμα και Γαλακτο-Ολιγοσακχαρίτες κατά την Ωσμωτική Αφυδάτωση**

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση συμβαίνει ταυτόχρονη εκροή νερού από το τρόφιμο και πρόσληψη στερεών από το ωσμωτικό μέσο. Η πρόσληψη στερεών από το ωσμωτικό μέσο μπορεί να οδηγήσει σε ένα προϊόν με βελτιωμένες διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες. Στο στάδιο αυτό, μελετήθηκε ο εμπλουτισμός των δειγμάτων κολοκύθας με γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες που υπάρχουν στο ωσμωτικό μέσο. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση υγρής χρωματογραφίας (HPLC) για την ανίχνευση σακχάρων. Η μελέτη βασίστηκε στην επί τοις εκατό μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης ολιγοσακχαριτών στο ωσμωτικό διάλυμα.

Το ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε είναι μίγμα ολιγοσακχαριτών με βαθμό πολυμερισμού μεγαλύτερο από 3, λακτόζης, γλυκόζης και μικρό μέρος γαλακτόζης. Επίσης, το ωσμωτικό μέσο περιέχει τρεχαλόζη (δι-σακχαρίτης), λακτόζη που έχει προέλθει από τον ορό γιαουρτιού (δείγμα με ορό) ενώ μετά από κάποια χρονική περίοδο ώσμωσης μπορεί να περιέχει απλούς μονοσακχαρίτες που έχουν εκρυσταλλωθεί από το τρόφιμο. Η μελέτη μας εστιάζεται μόνο στους μη αφομοιώσιμους ολιγοσακχαρίτες, οι οποίοι παρουσιάζουν βαθμό πολυμερισμού μεγαλύτερο από 3, συνεπώς τα αποτελέσματα που λήφθηκαν για τη μεταβολή των μόνο- και δι-σακχαριτών δεν μελετήθηκαν περαιτέρω.

Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζεται το κλάσμα μεταβολής της αρχικής συγκέντρωσης GOS, σε σχέση με την πάροδο του χρόνου, σε τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες 35-45-55°C και με σταθερή αρχική συγκέντρωση GOS ίση με 10%.



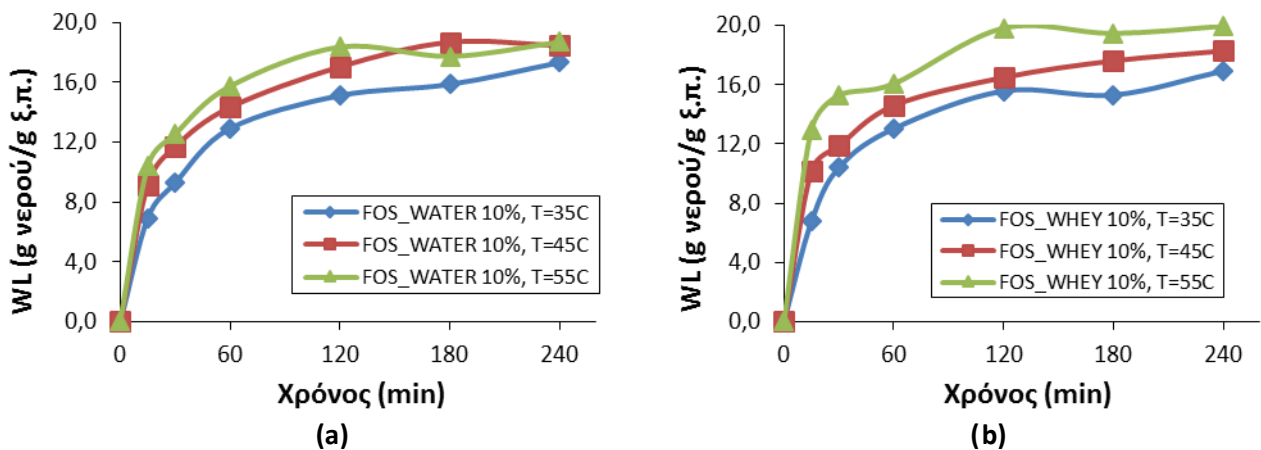
**Σχήμα 5.7.** %Απώλεια GOS συναρτήσεως του χρόνου επεξεργασίας, σε διαφορετικές θερμοκρασίες ώσμωσης, για ωσμωτικό μέσο (a) με νερό, (b) με όξινο ορό γιαουρτιού.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας (35-45°C) η απώλεια GOS είναι περίπου 30-40% της αρχικής συγκέντρωσης. Αντίθετα, στη θερμοκρασία των 55°C, η απώλεια GOS αυξάνεται σημαντικά και φτάνει στο 70% της αρχικής συγκέντρωσης. Επίσης, παρατηρούμε ότι η πρόσληψη των στερεών πραγματοποιείται στην πρώτη ώρα επεξεργασίας, ενώ μετά δεν παρατηρείται περαιτέρω πρόσληψη στερεών υψηλού μοριακού βάρους. Στα παραπάνω αποτελέσματα, δεν εντοπίζεται διαφορά μεταξύ των δυο δειγμάτων με διαφορετικό ωσμωτικό μέσο. Έτσι, επιβεβαιώνεται η θερμοκρασία των 55°C ως η βέλτιστη θερμοκρασία επεξεργασίας, η οποία οδηγεί σε ένα προϊόν με σημαντικά βελτιωμένες διατροφικές ιδιότητες.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε την αποτελεσματικότητα των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών ως ωσμωτικό μέσο. Για να το πετύχουμε αυτό θα το συγκρίνουμε με τα αποτελέσματα της χρήσης φρουκτο-ολιγοσακχαριτών, στην ίδια συγκέντρωση. Η χρήση φρούκτο-ολιγοσακχαριτών στο ωσμωτικό μέσο έχει χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες μελέτες, και έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για να συγκρίνουμε επιτυχώς τους δυο ολιγοσακχαρίτες, θα πρέπει να εξετάσουμε την επίδραση της θερμοκρασίας στην ώσμωση, με φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες.

#### 5.1.4. Συνθήκες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (με χρήση FOS): Επιλογή Βέλτιστης Θερμοκρασίας

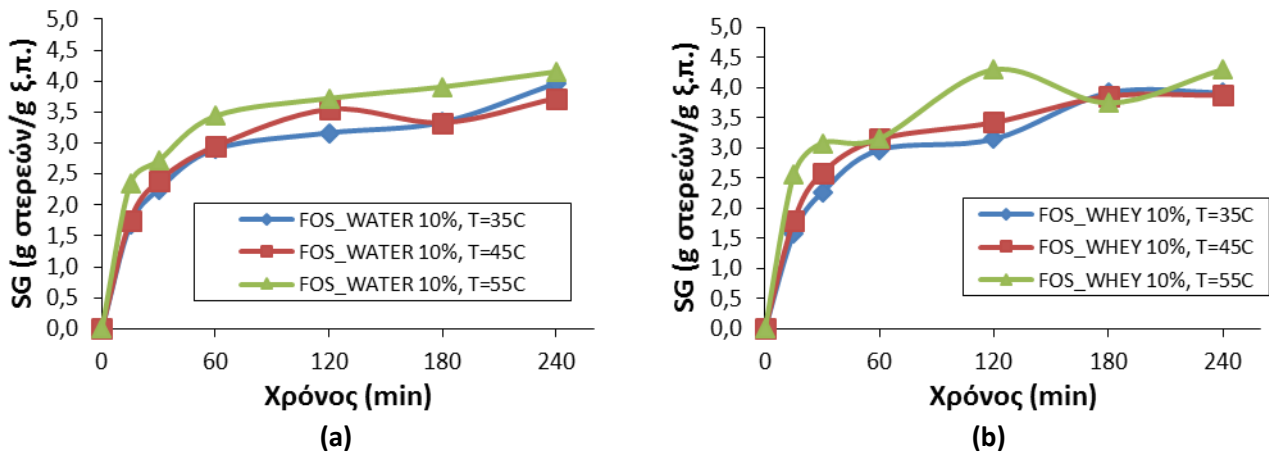
Στο στάδιο αυτό ελέγχθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στην ωσμωτική αφυδάτωση, σε ωσμωτικό διάλυμα με 10% FOS – 10% Τρεχαλόζη. Οι θερμοκρασίες που έγινε το πείραμα ήταν 35, 45, 55°C για 30, 60, 120, 180, 240min σε αναλογία τροφίμου προς ωσμωτικό μέσο 1:5 κατά βάρος. Σε κάθε περίπτωση εξετάστηκε το ωσμωτικό μέσο με νερό (Διάλυμα 7) και το ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό γιαουρτιού (Διάλυμα 8). Τα αποτελέσματα της απώλειας νερού και της πρόσληψης στερεών παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



**Σχήμα 5.8.** Απώλεια νερού (g νερού/ g αρχικού ξηρού βάρους) κατά την ώσμωση, για δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό με FOS, σε θερμοκρασίες 35-45-55°C, **(a)** σε ωσμωτικό μέσο με νερό, **(b)** σε ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού.



## Αποτελέσματα και Συζήτηση



**Σχήμα 5.9.** Πρόσληψη στερεών (g στερεού/ g αρχικού ξηρού βάρους) κατά την ώσμωση, για δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό με FOS, σε θερμοκρασίες 35-45-55°C, (a) σε ωσμωτικό μέσο με νερό, (b) σε ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού.

Η μέγιστη απώλεια νερού παρατηρείται σε θερμοκρασία (55°C) τόσο για το ωσμωτικό μέσο με νερό όσο και για το ωσμωτικό μέσο με όξινο νερό και ισούται με 18,71 g<sub>H2O</sub>/g<sub>ξ.π.</sub> και 19,95 g<sub>H2O</sub>/g<sub>ξ.π.</sub>, αντίστοιχα. Η μέγιστη πρόσληψη στερεών παρατηρείται σε θερμοκρασία (55°C) τόσο για το ωσμωτικό μέσο με νερό όσο και για το ωσμωτικό μέσο με όξινο νερό και ισούται με 4,15 g<sub>στερεών</sub>/g<sub>ξ.π.</sub> και 4,30 g<sub>στερεών</sub>/g<sub>ξ.π.</sub>, αντίστοιχα.

Με εφαρμογή των εξισώσεων 4.2-4.8 για τα πειραματικά δεδομένα, μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές διάχυσης τόσο για την απώλεια νερού όσο και από την πρόσληψη στερεών, σε όλες τις συνθήκες θερμοκρασίας για τα δείγματα ωσμωτικού με νερό και αυτά με ορό.

**Πίνακας 5.7.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού ( $D_{ew}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) για διαφορετικές θερμοκρασίες ωσμωτικής αφυδάτωσης (35-45-55°C) και για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (WHEY), που περιέχει FOS.

T(°C)	WATER		WHEY	
	$D_{ew}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	$R^2$	$D_{ew}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	$R^2$
35	3,062±0,202 <sup>a</sup>	0,9916	3,616±0,3007 <sup>a</sup>	0,9875
45	4,267±0,336 <sup>b</sup>	0,9895	4,738±0,556 <sup>b</sup>	0,9755
55	5,384±0,455 <sup>c</sup>	0,9884	7,075±0,106 <sup>c</sup>	0,9664

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια στήλη (διαφορετικές θερμοκρασίες).

**Πίνακας 5.8.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης στερεών ( $D_{es}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) για διαφορετικές θερμοκρασίες ωσμωτικής αφυδάτωσης (35-45-55°C) και για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και το ωσμωτικό μέσο με ορό γιαουρτιού (WHEY), που περιέχει FOS.

T(°C)	WATER		WHEY	
	$D_{es}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	$R^2$	$D_{es}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	$R^2$
35	2,846±0,421 <sup>a</sup>	0,9508	3,204±0,347 <sup>a</sup>	0,9781
45	4,26±0,420 <sup>b</sup>	0,9827	4,406±0,377 <sup>b</sup>	0,9876
55	5,009±0,622 <sup>c</sup>	0,9727	5,307±0,105 <sup>c</sup>	0,9313

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια στήλη (διαφορετικές θερμοκρασίες).

Σύμφωνα τα αποτελέσματα για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών παρουσιάζονται στον προηγούμενο πίνακα, και εφαρμόζοντας την εξίσωση Arrhenius, που συσχετίζει τους συντελεστές διάχυσης με τη θερμοκρασία, υπολογίστηκε η ενέργεια ενεργοποίησης και ο συντελεστής διάχυσης του νερού στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=40^\circ\text{C}$ ) για κάθε δείγμα.

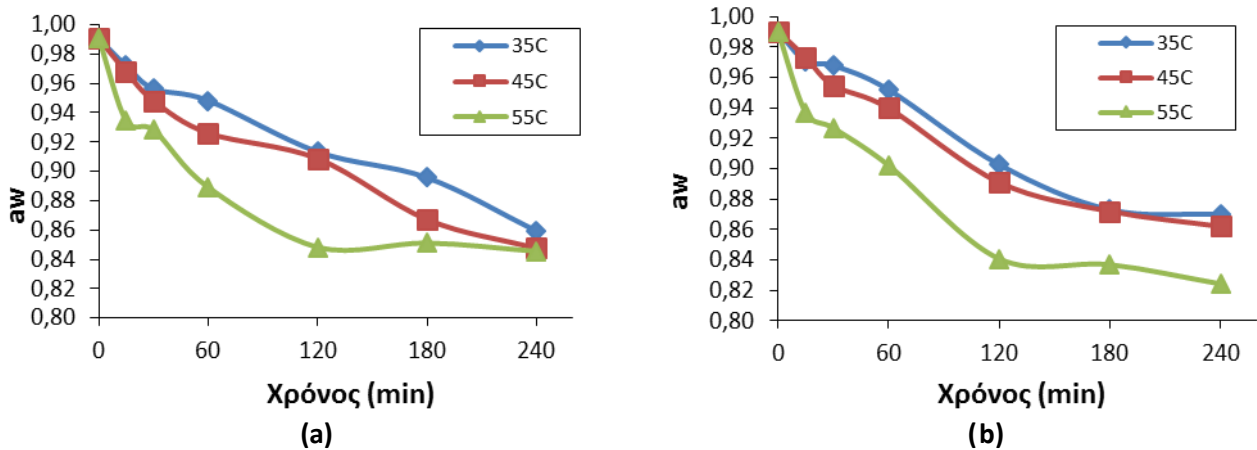
**Πίνακας 5.9.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}=40^\circ\text{C}$  και ενέργεια ενεργοποίησης ( $E_a$ ) για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών για ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και με ορό γιαουρτιού (WHEY), που περιέχουν FOS.

	Water Loss		Solid Gain	
	WATER	WHEY	WATER	WHEY
$D_{ref}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	3,598±0,323	4,205±0,443	3,408±0,355	3,7277±0,326
$E_a$ (KJ/mol)	23,73±1,98	28,12±1,68	23,83±2,74	21,24±2,83
$R^2$	0,9931	0,9831	0,962	0,9825

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται ότι η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στην ωσμωτική αφυδάτωση ( $p < 0.05$ ), με τα βέλτιστα αποτελέσματα να αφορούν το ωσμωτικό μέσο με ορό, όπως και στην περίπτωση των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών. Οι συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας φαίνεται ότι επηρεάζονται περισσότερο από τη θερμοκρασία, όταν χρησιμοποιούνται φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες έναντι γαλακτο-ολιγοσακχαριτών στο ωσμωτικό διάλυμα.

Στο στάδιο αυτό μελετήθηκε επίσης η μεταβολή της ενεργότητας του νερού, τόσο για τα δείγματα που ήταν εμβαπτισμένα σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό όσο και για αυτά με τον ορό. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα της ενεργότητας για τις τρεις θερμοκρασίες συναρτήσει του χρόνου ώσμωσης.



**Σχήμα 5.10.** Μεταβολή ενεργότητας συναρτήσει του χρόνου ώσμωσης, για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με FOS, (a) με νερό, (b) με ορό γιαουρτιού.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, η τιμή της ενεργότητας επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία, με το ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό να επιφέρει μεγαλύτερη μείωση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία των 55°C είναι η βέλτιστη για την ωσμωτική αφυδάτωση φρεσκοκομμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό διάλυμα με FOS, καθώς παρουσιάζει τους μεγαλύτερους συντελεστές διάχυσης απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών και ταυτόχρονα προκαλεί μεγάλη μείωση της ενεργότητας. Ως χρονική διάρκεια επεξεργασίας επιλέγονται οι δύο ώρες, με τελική ενεργότητα νερού 0,84 και για τα δυο είδη δειγμάτων. Στον ίδιο χρόνο επεξεργασίας (2h-55°C), η ώσμωση με GOS επιφέρει 12% μείωση της ενεργότητας ενώ η ώσμωση με FOS μείωση ίση με 16%.

Για τη συγκριτική αξιολόγηση των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών (GOS) και των φρουκτο-ολιγοσακχαριτών (FOS) στη διαδικασία της ώσμωσης, συγκρίνονται τους δραστικούς συντελεστές διάχυσης απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=40^{\circ}C$ ).

**Πίνακας 5.10.** Δραστικοί συντελεστές διάχυσης στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}=40^{\circ}\text{C}$  για ώσμωση με GOS και ώσμωση με FOS, σε ωσμωτικό μέσο με νερό (WATER) και με ορό γιαουρτιού (WHEY)

$D_{ref}$ ( $\cdot 10^{-9}$ m <sup>2</sup> /s)	Water Loss		Solid Gain	
	WATER	WHEY	WATER	WHEY
<b>GOS</b>	2,914±0,215	2,992±0,323	2,759±0,245	3,505±0,361
<b>FOS</b>	3,598±0,323	4,205±0,443	3,408±0,355	3,728±0,326

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων.

Από τον πίνακα 5.10 παρατηρείται ότι η ωσμωτική αφυδάτωση με FOS έχει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την αφυδάτωση με GOS. Συγκεκριμένα, οι συντελεστές διάχυσης νερού για το ωσμωτικό μέσο με φρούκτο-ολιγοσακχαρίτες, είναι σημαντικά αυξημένοι ( $p < 0.05$ ) σε σχέση με τους αυτούς για το ωσμωτικό μέσο με γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες, και στην περίπτωση του ωσμωτικού μέσου με νερό όσο και με όξινο ορό. Οι συντελεστές διάχυσης στερεών δεν παρουσιάζουν σημαντική στατιστική διαφορά όταν αλλάζει το ωσμωτικό υλικό ( $p > 0.05$ ).

Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, ωσμωτικά σάκχαρα με μεγαλύτερο μοριακό βάρος επιφέρουν μεγαλύτερη απώλεια νερού. Εξαιτίας των αυξημένων συντελεστών διάχυσης νερού των FOS, αναμένουμε ότι έχουν μεγαλύτερο μοριακό βάρος. Έτσι γίνεται ο υπολογισμός του μοριακού βάρους των φρούκτο-ολιγοσακχαριτών και η σύγκριση του με αυτό των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών, όπως αυτό έχει υπολογιστεί.

Σύμφωνα με τον νόμο του Raoult για την ενεργότητα διαλυμάτων (Εξίσωση 4.11), το μοριακό βάρος του εμπορικού FOS που χρησιμοποιείται υπολογίζεται ίσο με:  $350 \pm 100$ . Παρατηρούμε ότι το μέσο μοριακό βάρος του μίγματος FOS είναι μεγαλύτερο από αυτό του μίγματος GOS, επιβεβαιώνοντας τα πειραματικά αποτελέσματα.

Τελικά, καταλήγουμε ότι οι φρούκτο-ολιγοσακχαρίτες παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα στην ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας σε σχέση με τους γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες, σε ίδια συγκέντρωση (10%w/w). Ωστόσο, οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες παρέχουν και αυτοί ικανοποιητικά αποτελέσματα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα εναλλακτικό ωσμωτικό μέσο. Οι συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών βρέθηκε ότι επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης, ενώ η μεταβολή της συγκέντρωσης των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών στο ωσμωτικό μέσο φάνηκε να μην επηρεάζει σημαντικά τους συντελεστές.

Ως βέλτιστη συνθήκη επεξεργασίας για την κολοκύθα, επιλέγονται οι 55°C για δυο (2h) ώρες, αφού στη θερμοκρασία αυτή υπάρχει μείωση της ενεργότητας νερού κατά 12-16%, διατηρώντας τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος και παρουσιάζοντας σημαντικά βελτιωμένες διατροφικές ιδιότητες. Παράλληλα, το ωσμωτικό διάλυμα με ορό γιαουρτιού έχει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτό του νερού, και στις δυο περιπτώσεις ολιγοσακχαριτών, καθιστώντας έτσι τον ορό ένα αποτελεσματικό, καινοτόμο ωσμωτικό μέσο.



## 5.2. Δεύτερη Θεματική Ενότητα: Προσδιορισμός της Διατηρησιμότητας του Ωσμωμένου Προϊόντος Υπό Διαφορετικές Συνθήκες Ψύξης

Κατά τη δεύτερη θεματική ενότητα, μελετήθηκε η διατηρησιμότητα της ωσμωμένης κολοκύθας σε διαφορετικές θερμοκρασίες ψύξης. Κατά τη μελέτη αυτή, παρακολουθούνται οι μικροβιολογικές αλλοιώσεις των δειγμάτων, όπως επίσης και οι πιο σημαντικοί ποιοτικοί δείκτες όπως η υφή, το χρώμα, η απώλεια βιταμίνης C και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Στόχος, είναι η εξαγωγή κατάλληλου μοντέλου ανά δείκτη που αποδίδει με αξιοπιστία τη χρονική μεταβολή των φαινομένων ποιοτικής και μικροβιολογικής υποβάθμισης του τροφίμου, σε κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης.

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, προσδιορίστηκαν οι μικροβιακές και οργανοληπτικές αλλοιώσεις της φρεσκοκομμένης κολοκύθας και των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων σε ισοθερμοκρασιακές συνθήκες (ψύξης  $T=5, 10, 15$  καθώς και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ). Αν και η χρήση του όξινου ορού ως εναλλακτικό ωσμωτικό μέσο έχει αποδειχθεί να έχει καλύτερα αποτελέσματα στην κινητική της ώσμωσης, είναι απαραίτητο να διαπιστωθεί εάν επιφέρει το ίδιο καλά αποτελέσματα και στη διατήρηση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών κατά την αποθήκευση των προϊόντων κολοκύθας. Όλα τα επόμενα πειράματα έγιναν σε δείγματα χωρίς επεξεργασία (Control), σε δείγματα σε ωσμωτικό μέσο με νερό (Osm) και σε δείγματα σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό γιαουρτιού (Osm\_Whey).

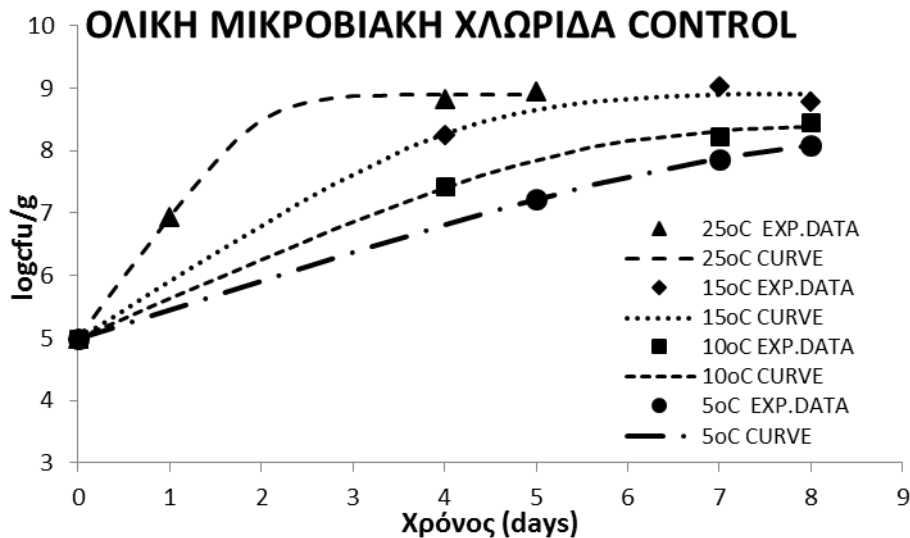
### 5.2.1. Μικροβιολογικές Αλλοιώσεις

Τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω. Κατά την ανάλυση εξετάστηκε η επίδραση της ωσμωτικής προ-κατεργασίας κολοκύθας ( $55^{\circ}\text{C}-2\text{h}$ ) σε σχέση με τη μικροβιακή ανάπτυξη στα ανεπεξέργαστα δείγματα. Επίσης εξετάστηκε και η επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στους 5, 10, 15 και  $25^{\circ}\text{C}$  στην ανάπτυξη του μικροβιακού φορτίου των δειγμάτων.

Στα παρακάτω διαγράμματα γίνεται εφαρμογή του μοντέλου Baranyi και την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων σε αυτό, μέσω του προγράμματος Dmfit, και υπολογίζονται οι σταθερές των ρυθμών μικροβιακής ανάπτυξης για την ολική μικροβιακή χλωρίδα και για την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων. Η καμπύλη του μοντέλου Baranyi είναι σιγμοειδούς μορφής, περιλαμβάνει λανθάνουσα φάση, εκθετική φάση και φάση στασιμότητας και ο ρυθμός ανάπτυξης του μικροβιακού φορτίου αναφέρεται στην εκθετική φάση ανάπτυξης.

### Ολικό Μικροβιακό Φορτίο

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της ολικής μικροβιακής χλωρίδας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου, για τα δείγματα ανεπεξέργαστης κολοκύθας (CONTROL), για τις τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης. Τα σημεία είναι οι πειραματικές μετρήσεις και οι καμπύλες είναι σιγμοειδούς μορφής και προκύπτουν από το προσαρμοσμένο μοντέλο Baranyi.



**Σχήμα 5.11.** Η ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, για ανεπεξέργαστα δείγματα (CONTROL) για θερμοκρασίες 5,10,15,25°C, με προσαρμοσμένες καμπύλες στο μοντέλο Baranyi.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι η αυξημένη θερμοκρασία συντήρησης των δειγμάτων, οδηγεί σε ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης του ολικού μικροβιακού φορτίου.

Από την προσομοίωση των πειραματικών μετρήσεων στο μοντέλο Baranyi προέκυψαν οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης, ο τελικός πληθυσμός και η λανθάνουσα φάση στις παραπάνω θερμοκρασίες, οπότε και προκύπτει ο Πίνακας 5.11.



**Πίνακας 5.11.** Οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης ( $k$  σε  $d^{-1}$ ), ο τελικός πληθυσμός ( $N_{max}$  σε  $\log cfu/g$ ), η λανθάνουσα φάση ( $\lambda$  σε  $d$ ) για την ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας για ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (CONTROL).

T(°C)	k (d <sup>-1</sup> )	N <sub>max</sub> (logcfu/g)	λ (d)	R <sup>2</sup>
25	1,987 ± 0,123 <sup>a</sup>	8.89 ± 0,06 <sup>a</sup>	-	0,9980
15	0,931 ± 0,108 <sup>b</sup>	8.92 ± 0,15 <sup>a</sup>	-	0,9893
10	0,646 ± 0,050 <sup>c</sup>	8.45 ± 0,15 <sup>b</sup>	-	0,9948
5	0,472 ± 0,008 <sup>d</sup>	8.31 ± 0,07 <sup>b</sup>	-	0,9997

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων του μοντέλου Baranyi. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες).

Με εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius (Εξίσωση 4.9), προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας, όπου φαίνεται η ενέργεια ενεργοποίησης και η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=4^{\circ}C$ ), για την ολική μικροβιακή χλωρίδα.

**Πίνακας 5.12.** Ενέργεια ενεργοποίησης  $E_a$  (kJ/mol) και σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}=4^{\circ}C$ , για την ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας, για ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (CONTROL).

T(°C)	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	k <sub>ref</sub> (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
TVC	49,95 ± 2,10	0,42±0,04	0,9965

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης στο μοντέλο Arrhenius.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης για την ολική μικροβιακή χλωρίδα επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία ( $p < 0.05$ ) ενώ δεν παρουσιάζει λανθάνουσα φάση σε καμία θερμοκρασία.

Αντίστοιχα με τα ανεπεξέργαστα δείγματα, προκύπτει ο πίνακας για τα επεξεργασμένα δείγματα, σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό (Πίνακας 5.13) και σε ωσμωτικό διάλυμα με ορό γιαουρτιού (Πίνακας 5.14). Η κατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση για 2h στους 55°C είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του μικροβιακού φορτίου που υπάρχει αρχικά στην κολοκύθα ( $N_0=4,99\pm 0,08$ ). Κατά τη χρονική περίοδο διεξαγωγής των πειραμάτων της διατηρησιμότητας, διάρκειας 90 ημερών, δεν ανιχνεύτηκε ανάπτυξη μικροβιακή χλωρίδας στα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα με νερό και στα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα με ορό, και για τις τέσσερις

διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης. Συνεπώς, η μοντελοποίηση ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας δεν καθίσταται εφικτή.

**Πίνακας 5.13.** Οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης ( $k$  σε  $d^{-1}$ ), τελικός πληθυσμός ( $N_{max}$  σε  $\log cfu/g$ ), η λανθάνουσα φάση ( $\lambda$  σε  $d$ ) για την ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας για ωσμοαφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό (OSM).

T(°C)	K ( $d^{-1}$ )	$N_{max}$ ( $\log cfu/g$ )	$\lambda$ (d)
25	-	ND	-
15	-	ND	-
10	-	ND	-
5	-	ND	-

ND: NOT DETECTED – ΔΕΝ ΑΝΙΧΝΕΥΕΤΑΙ

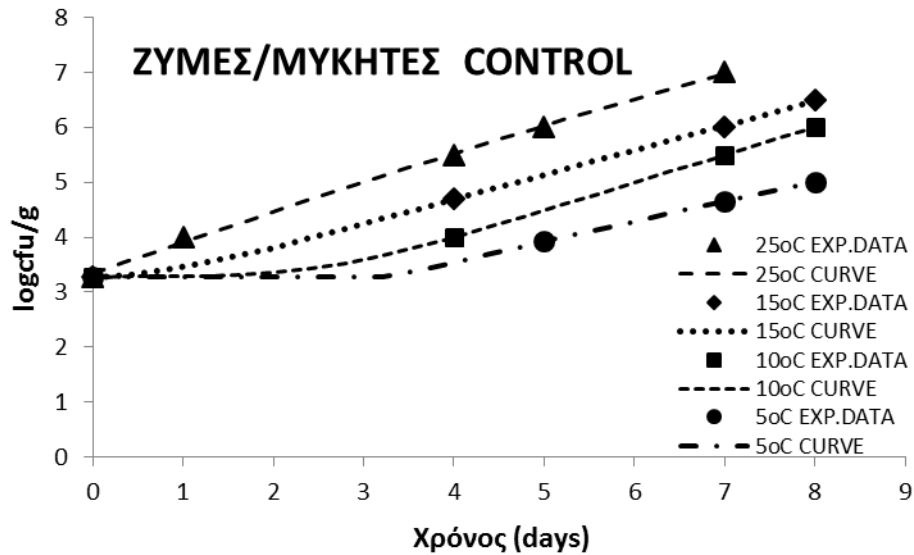
**Πίνακας 5.14.** Οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης ( $k$  σε  $d^{-1}$ ), τελικός πληθυσμός ( $N_{max}$  σε  $\log cfu/g$ ), η λανθάνουσα φάση ( $\lambda$  σε  $d$ ) για την ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας για ωσμοαφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό διάλυμα με ορό (OSM\_WHEY).

T(°C)	K ( $d^{-1}$ )	$N_{max}$ ( $\log cfu/g$ )	$\lambda$ (d)
25	-	ND	-
15	-	ND	-
10	-	ND	-
5	-	ND	-

ND: NOT DETECTED – ΔΕΝ ΑΝΙΧΝΕΥΕΤΑΙ

### Ζύμες και Μύκητες

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ανάπτυξη μυκήτων και ζυμών συναρτήσει του χρόνου, για τα δείγματα ανεπεξέργαστης κολοκύθας (CONTROL), για τις τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης. Τα σημεία είναι οι πειραματικές μετρήσεις και οι καμπύλες είναι σιγμοειδούς μορφής και προκύπτουν από το προσαρμοσμένο μοντέλο Baranyi.



**Σχήμα 5.12.** Διάγραμμα ανάπτυξης ζυμών και μυκήτων σε δείγμα φρεσκοκομμένης κολοκύθας για θερμοκρασίες 5,10,15,25°C, με προσαρμοσμένες καμπύλες στο μοντέλο Baranyi.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι η αυξημένη θερμοκρασία συντήρησης των δειγμάτων, οδηγεί σε ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης των ζυμών και των μυκήτων.

Από την προσομοίωση των πειραματικών μετρήσεων στο μοντέλο Baranyi προέκυψαν οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης, ο τελικός πληθυσμός και η λανθάνουσα φάση στις παραπάνω θερμοκρασίες, οπότε και προκύπτει ο Πίνακας 5.15.

**Πίνακας 5.15.** Οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης ( $k$  σε  $d^{-1}$ ), ο τελικός πληθυσμός ( $N_{max}$  σε  $logcfu/g$ ), η λανθάνουσα φάση ( $\lambda$  σε  $d$ ) για την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων για ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (CONTROL).

T(°C)	K ( $d^{-1}$ )	$N_{max}$ (logcfu/g)	$\lambda$ (d)	$R^2$
25	$0,916 \pm 0,080^a$	$6,98 \pm 0,08^a$	-	0,9971
15	$0,706 \pm 0,098^a$	$6,47 \pm 0,22^b$	$0,836 \pm 1,123^a$	0,9983
10	$0,510 \pm 0,041^b$	$6,02 \pm 0,35^b$	$2,640 \pm 0,921^a$	0,9942
5	$0,440 \pm 0,028^c$	$5,53 \pm 0,27^b$	$3,300 \pm 0,850^a$	0,9868

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων του μοντέλου Baranyi. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η ανάπτυξη των ζυμών και των μυκήτων εμφανίζει λανθάνουσα φάση σε χαμηλές θερμοκρασίες, στις οποίες δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία ( $p > 0.05$ ).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και με εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius (Εξίσωση 4.9) προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας, όπου φαίνεται η ενέργεια ενεργοποίησης και η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=4^{\circ}\text{C}$ ), για τις ζύμες και τους μύκητες (Πίνακας 5.16).

**Πίνακας 5.16.** Ενέργεια ενεργοποίησης  $E_a$  (kJ/mol) και σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}=4^{\circ}\text{C}$ , για την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων, σε δείγμα ανεπεξέργαστης κολοκύθας για θερμοκρασίες 5,10,15,25 $^{\circ}\text{C}$ .

$T(^{\circ}\text{C})$	$E_a$ (kJ/mol)	$k_{ref} (\text{d}^{-1})$	$R^2$
<b>YEASTS &amp; MOULDS</b>	26,20 $\pm$ 3,27	0,42 $\pm$ 0,06	0,9698

$\pm$  αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης στο μοντέλο Arrhenius.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες 5.12 και 5.16 παρατηρείται ότι η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης για το ολικό μικροβιακό φορτίο και για τις ζύμες/μύκητες είναι ίδιος (0,42  $\text{d}^{-1}$ ), με την ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας να επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία.

Αντίστοιχα με τα ανεπεξέργαστα δείγματα, προκύπτει ο πίνακας για τα επεξεργασμένα δείγματα, σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό (Πίνακας 5.17) και σε ωσμωτικό διάλυμα με ορό γιαουρτιού (Πίνακας 5.18). Η κατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση για 2h στους 55 $^{\circ}\text{C}$  είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του φορτίου ζυμών και μυκήτων που υπάρχει αρχικά στην κολοκύθα ( $N_0=3,28\pm 0,03$ ). Κατά τη χρονική περίοδο διεξαγωγής των πειραμάτων της διατηρησιμότητας, διάρκειας 90 ημερών, δεν ανιχνεύτηκε ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων στα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα με νερό και στα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα με ορό, και για τις τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης. Συνεπώς, η μοντελοποίηση ανάπτυξης ζυμών και μυκήτων δεν καθίσταται εφικτή.

**Πίνακας 5.17.** Σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης ( $k$  σε  $d^{-1}$ ), τελικός πληθυσμός ( $N_{max}$  σε  $\log cfu/g$ ), λανθάνουσα φάση ( $\lambda$  σε  $d$ ) για την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων για ωσμοφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό (OSM).

T(°C)	k (d <sup>-1</sup> )	N <sub>max</sub> (logcfu/g)	λ (d)
25	-	ND	-
15	-	ND	-
10	-	ND	-
5	-	ND	-

ND: NOT DETECTED – ΔΕΝ ΑΝΙΧΝΕΥΕΤΑΙ

**Πίνακας 5.18.** Σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης ( $k$  σε  $d^{-1}$ ), τελικός πληθυσμός ( $N_{max}$  σε  $\log cfu/g$ ), λανθάνουσα φάση ( $\lambda$  σε  $d$ ) για την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων για ωσμοφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό διάλυμα με ορό (OSM\_WHEY).

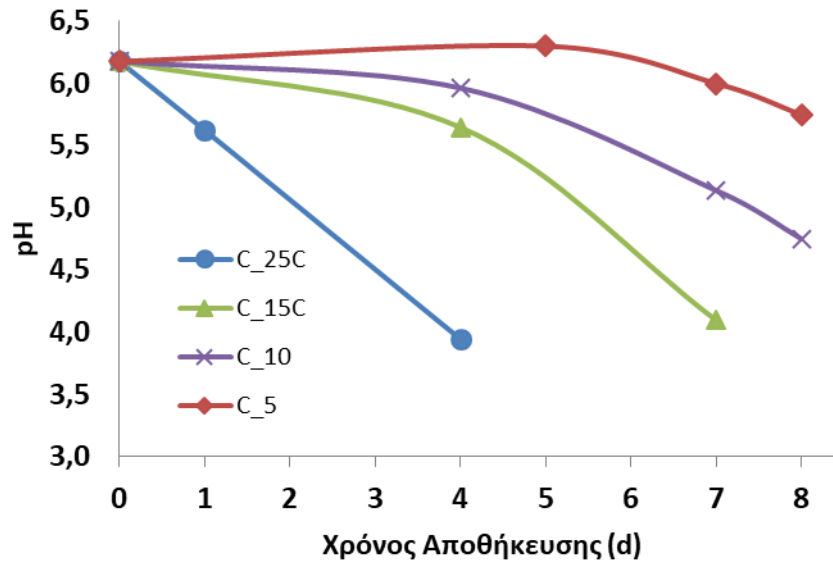
T(°C)	K (d <sup>-1</sup> )	N <sub>max</sub> (logcfu/g)	λ (d)
25	-	ND	-
15	-	ND	-
10	-	ND	-
5	-	ND	-

ND: NOT DETECTED – ΔΕΝ ΑΝΙΧΝΕΥΕΤΑΙ

### 5.2.2. Μελέτη pH

Η τιμή του pH αποτελεί σημαντική παράμετρο των τροφίμων γιατί επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες, τα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, αλλά και το είδος της αναπτυσσόμενης μικροβιακής χλωρίδας των προϊόντων. Είναι πολύ σημαντική η ρύθμιση του pH και η σταθεροποίηση της τιμής του κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, καθώς οι μεταβολές του μπορούν να προκαλέσουν απώλειες υγρασίας, λόγω μείωσης της διαλυτότητας των πρωτεϊνών, αλλοίωση της γεύσης και της υφής. Και αντιστρόφως όμως το pH επηρεάζεται από την ανάπτυξη της μικροβιακής χλωρίδας.

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του pH συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, για τα ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας, για τις 4 θερμοκρασίες αποθήκευσης.



**Σχήμα 5.13.** Χρονοθερμοκρασιακή μεταβολή pH σε δείγματα ανεπεξέργαστης κολοκύθας.

Από τα διαγράμματα γίνεται φανερό ότι η θερμοκρασία αποθήκευσης έχει σημαντική επίδραση στον ρυθμό μείωσης του pH. Αυτό οφείλεται στην ταχύτερη ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα, που οδηγούν σε μείωση του pH.

Μετά την κατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση, το pH του ωσμοαφυδατωμένου προϊόντος μειώνεται (Πίνακας 5.19). Η τιμή pH των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων κολοκύθας είναι πολύ χαμηλή και σε συνδυασμό με τη χαμηλή ενεργότητα νερού των δειγμάτων συντελούν στην προστασία του προϊόντος από μικροβιακές αλλοιώσεις. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων διατηρησιμότητας, 90 ημερών, το pH των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων δεν μεταβάλλεται. Αυτό οφείλεται στην απουσία ανάπτυξης μικροβιακής χλωρίδας, η οποία προκαλεί μείωση του pH.

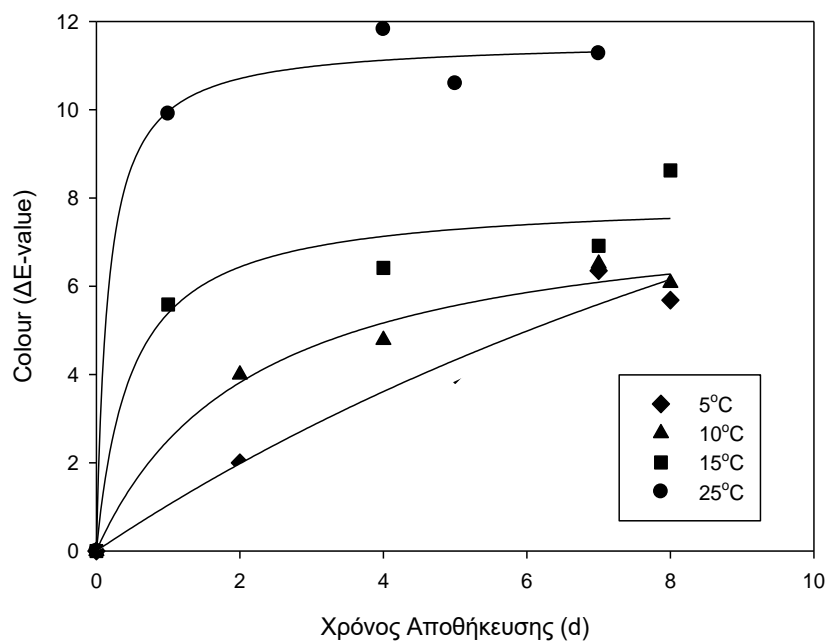
**Πίνακας 5.19.** Μεταβολή pH ύστερα από την ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας, για 2h στους 55°C.

Δείγμα	pH
Ανεπεξέργαστο Δείγμα Κολοκύθας (Control)	6,173
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε νερό (OSM)	3,661
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε ορό (OSM_WHEY)	3,712

### 5.2.3. Μεταβολή Χρώματος

Το χρώμα είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της εμφάνισης των τροφίμων. Είναι συνήθως το πρώτο χαρακτηριστικό που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή ή την αξιολόγηση της ποιότητας των τροφίμων. Ο καταναλωτής έχει συνηθίσει κάθε τρόφιμο με το δικό του συγκεκριμένο χρώμα και οποιαδήποτε απόκλιση τη θεωρεί πολλές φορές ως ποιοτική υποβάθμιση. Η βιομηχανία αντίστοιχα επιδιώκει την παραγωγή προϊόντων με σταθερό χρώμα. Σε πολλές περιπτώσεις ο καταναλωτής συνδέει το χρώμα με την ωριμότητα (φρούτα, λαχανικά), με τη θρεπτικότητα ή τις συνθήκες επεξεργασίας των τροφίμων. Αλλαγές στο χρώμα του τροφίμου πολλές φορές συνοδεύονται από ανεπιθύμητες μεταβολές της γεύσης ή της υφής.

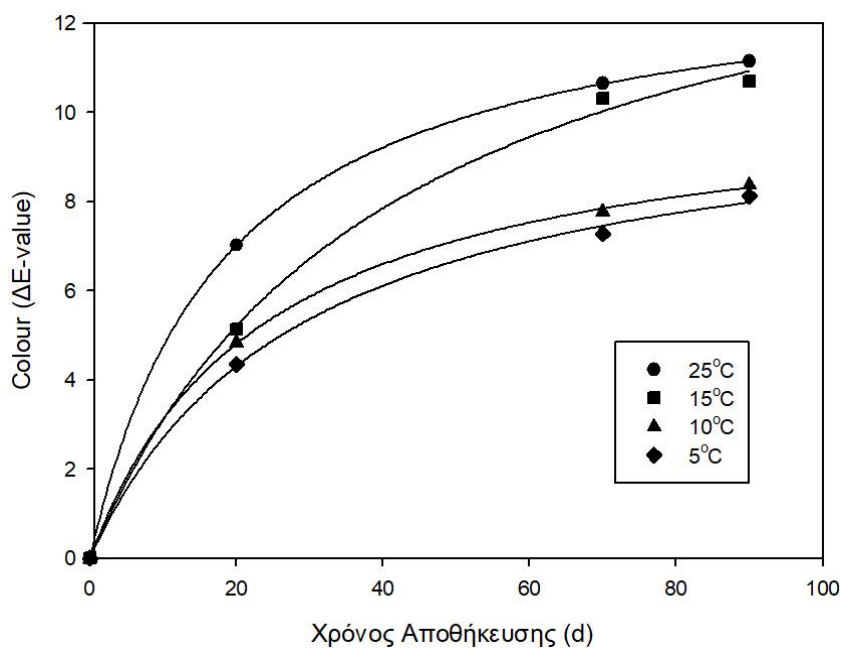
Οι χρωματικές μεταβολές για κάθε δείγμα, ανεπεξέργαστα και επεξεργασμένα, εκφράστηκαν από τη σχέση οπτικής απόκρισης (Εξίσωση 4.1). Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.14) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οπτικής απόκρισης συναρτήσει του χρόνου, για ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (Control), για τις 4 θερμοκρασίες αποθήκευσης.



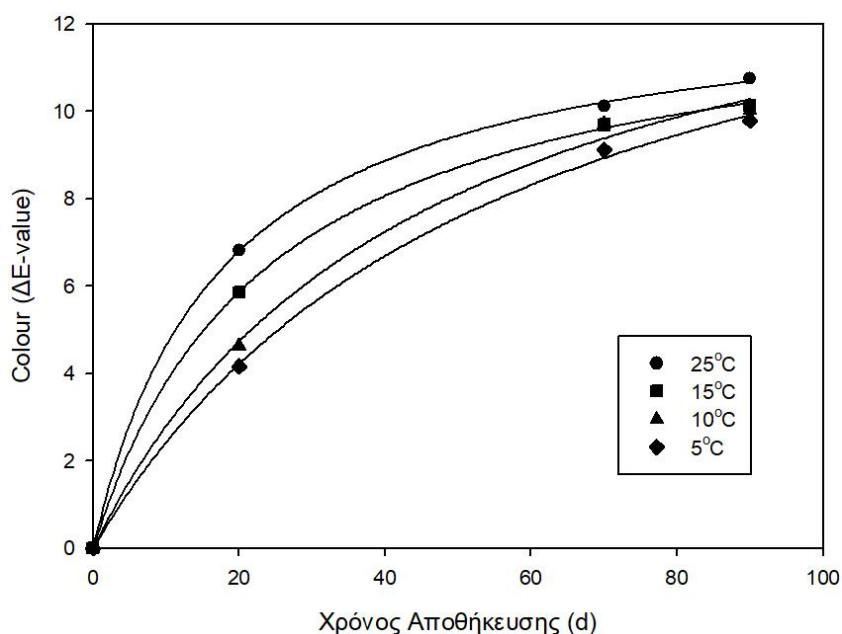
**Σχήμα 5.14.** Η συνολική μεταβολή οπτικής απόκρισης ( $\Delta E$ ) των ανεπεξέργαστων (Control) δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25°C.

Τα αποτελέσματα προσαρμόστηκαν σε μαθηματικό μοντέλο, με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στους ρυθμούς αύξησης της μεταβολής της οπτικής απόκρισης. Επιλέχθηκε ένα υπερβολικό μοντέλο, που δίνει ικανοποιητική προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων, σε σχέση με άλλα γραμμικά και εκθετικά μοντέλα που εξετάστηκαν.

Αντίστοιχα με τα ανεπεξέργαστα δείγματα, προκύπτει και το παρακάτω διάγραμμα για τα επεξεργασμένα δείγματα, σε ωσμωτικό διάλυμα με νερό (Σχήμα 5.15) και σε ωσμωτικό διάλυμα με όξινο ορό (Σχήμα 5.16). Τα αποτελέσματα προσαρμόστηκαν σε απλό υπερβολικό μοντέλο.



**5.15.** Η συνολική μεταβολή οπτικής απόκρισης ( $\Delta E$ ) των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (OSM) συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.



**Σχήμα 5.16.** Η συνολική μεταβολή οπτικής απόκρισης ( $\Delta E$ ) των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό (OSM\_WHEY) συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.



Η ωσμωτική προκατεργασία έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των παραμέτρων  $a^*$  και  $b^*$ , ενώ δεν επηρεάζει σημαντικά την φωτεινότητα των δειγμάτων ( $L^*$ ), όπως περιγράφηκε στην ενότητα 5.1.1. Τα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα σε νερό και σε όξινο ορό, παρουσιάζουν οπτική μεταβολή σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα ίση με 5,01 και 4,36 αντίστοιχα.

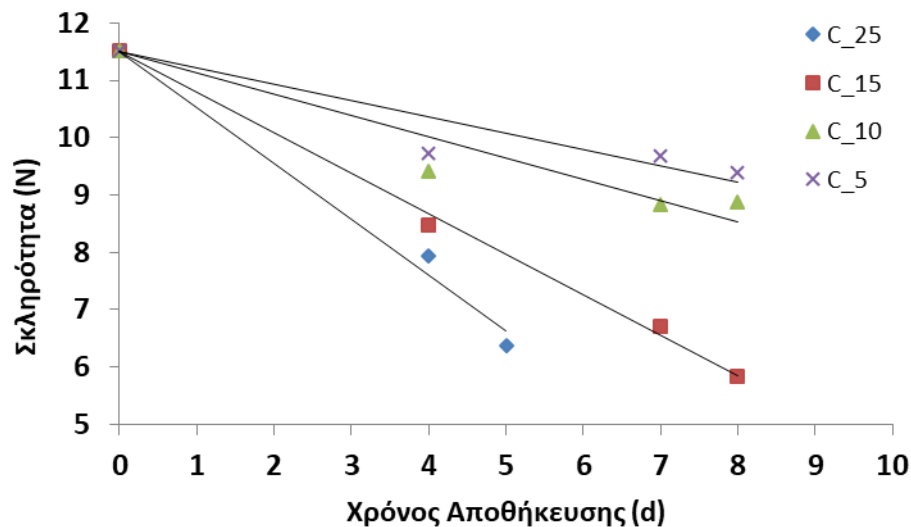
Κατά την αποθήκευση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων κολοκύθας παρατηρείται μικρή αλλά σημαντική μείωση της φωτεινότητας και σημαντική μεταβολή των παραμέτρων  $a^*$  και  $b^*$ . Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν βρεθεί βιβλιογραφικά κατά την μελέτη των φυσικοχημικών μεταβολών κατά την αποθήκευση κολοκύθας (Zhou et al. 2014). Κατά την αποθήκευση των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας παρατηρείται μη σημαντική μεταβολή της παραμέτρου  $L^*$  ( $p>0.05$ ). Αντίθετα, παρατηρείται σημαντική μείωση των παραμέτρων  $a^*$  και  $b^*$ , στην οποία οφείλεται η μεταβολή της οπτικής απόκρισης που παρουσιάζεται στα σχήματα 5.15 και 5.16. Ο ρυθμός μεταβολής του χρώματος είναι μικρότερος στην περίπτωση των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων από αυτόν των ανεπεξέργαστων δειγμάτων. Η μέγιστη οπτική απόκριση ( $\Delta E=10,6$ ) των ωσμοαφυδατωμένων σε νερό δειγμάτων, παρατηρείται ύστερα από αποθήκευση για 90 ημέρες στους 25° C, ενώ η ίδια οπτική απόκριση για τα ανεπεξέργαστα δείγματα παρατηρείται μετά από 5 ημέρες στην ίδια θερμοκρασία αποθήκευσης.

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση προστατεύει το χρώμα του προϊόντος κατά την αποθήκευση. Η θερμοκρασία αποθήκευσης επηρεάζει τον ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι χρωματικές αλλαγές του προϊόντος· όσο μικρότερη η θερμοκρασία αποθήκευσης, τόσο η σταθερά του ρυθμού αλλαγής χρώματος μειώνεται.

#### 5.2.4. Μεταβολή Υφής

Με τον όρο υφή εννοείται το άθροισμα των ιδιοτήτων οι οποίες προκύπτουν από τα δομικά στοιχεία και τον τρόπο με τον οποίο αυτά επιδρούν στα αισθητήρια όργανα. Γίνεται προσπάθεια να συνδεθεί η υφή με τα αισθητήρια όργανα και με τη δομή του προϊόντος. Για την αντίληψη της υφής ο άνθρωπος χρησιμοποιεί ειδικά αισθητήρια όργανα, που βρίσκονται βασικά στο δέρμα, τους μύες και τις αρθρώσεις κυρίως στα δάχτυλα και τη στοματική κοιλότητα. Τα αισθήματα που αντανακλούν στον άνθρωπο τις ιδιότητες της υφής είναι δερμικά (επαφής και πίεσης) και κινητικά (μυϊκά). Η υφή είναι σημαντική παράμετρος αποδοχής από τον καταναλωτή, καθώς είναι ευδιάκριτο χαρακτηριστικό και για ορισμένα τρόφιμα παίζει σπουδαιότερο ρόλο από την οσμή και τη γεύση. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της υφής είναι συνήθως η τρυφερότητα, η μαλακότητα, το χυμώδες, η συνεκτικότητα, η τραγανότητα και το εύθραυστο, το οποίο είναι σημαντικός δείκτης, επιθυμητός από τους καταναλωτές επειδή έχει ειδική επίδραση στην ψυχολογία της όρεξης.

Στα πειράματα μελετήθηκε η σκληρότητα των δειγμάτων. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.17) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής σκληρότητας από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου μηδενικής τάξης (Πίνακας 5.20).



**Σχήμα 5.17.** Η μεταβολή της σκληρότητας των ανεπεξέργαστων (Control) δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.

**Πίνακας 5.20.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της σκληρότητας, σε δείγμα ανεπεξέργαστης κολοκύθας (Control), για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C,

T(°C)	k (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,285±0,077 <sup>a</sup>	0,8859
10	-0,372±0,080 <sup>a</sup>	0,8969
15	-0,706±0,028 <sup>b</sup>	0,9969
25	-0,973±0,115 <sup>c</sup>	0,9865

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι η σκληρότητα επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία ( $p < 0.05$ ). Από τα πειραματικά αποτελέσματα και με εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius (Εξίσωση 4.9) προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας, όπου φαίνεται η ενέργεια ενεργοποίησης και η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=4^{\circ}\text{C}$ ), για τη μεταβολή της σκληρότητας των ανεπεξέργαστων δειγμάτων κολοκύθας (Πίνακας 5.21).

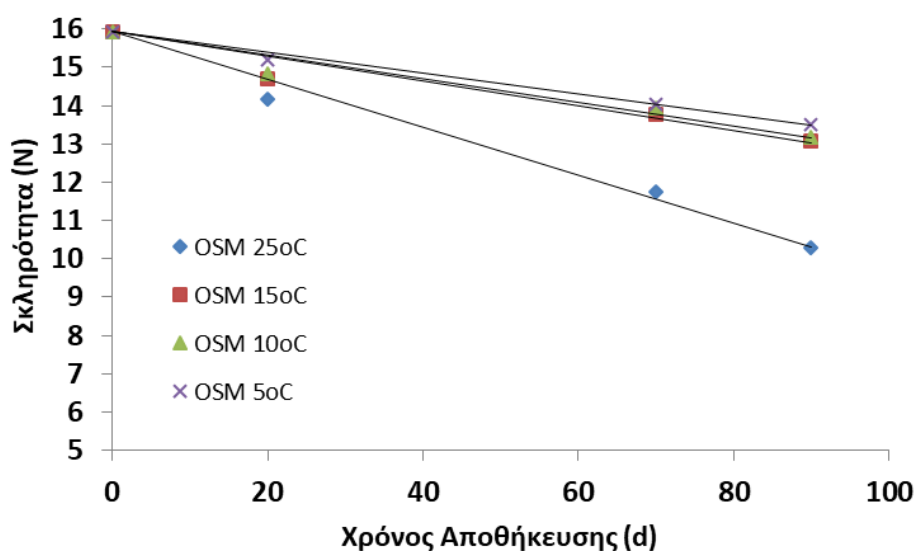
**Πίνακας 5.21.** Ενέργεια ενεργοποίησης  $E_a$  (kJ/mol) και σταθερά του ρυθμού μείωσης στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}=4^{\circ}\text{C}$ , για τη μεταβολή της σκληρότητας κατά την αποθήκευση, σε δείγμα ανεπεξέργαστης κολοκύθας (Control).

$T(^{\circ}\text{C})$	$E_a$ (kJ/mol)	$k_{ref}$ ( $\text{d}^{-1}$ )	$R^2$
<b>Ανεπεξέργαστη Κολοκύθα (Control)</b>	44,21± 8,32	0,27±0,15	0,9931

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης στο μοντέλο Arrhenius.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη μεταβολή της υφής, φαίνεται ότι η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης. Ο φυτικός ιστός μαλακώνει με την πάροδο του χρόνου, ενώ η ανάπτυξη μικροβιακού φορτίου έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή της φυτικής δομής.

Παρακάτω παρουσιάζεται η μεταβολή της υφής των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (Σχήμα 5.18), σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής σκληρότητας από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου μηδενικής τάξης (Πίνακας 5.22).



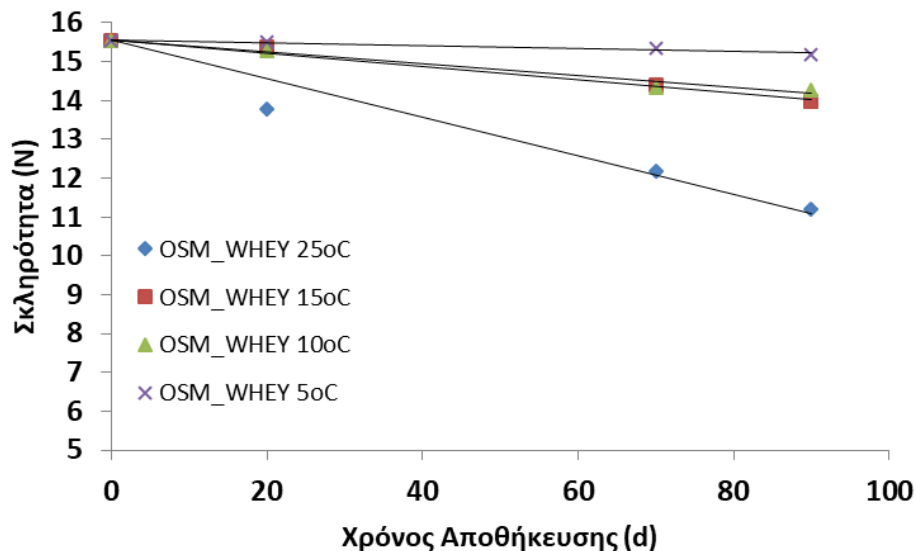
**Σχήμα 5.18.** Η μεταβολή της σκληρότητας των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (OSM) συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.

**Πίνακας 5.22.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της σκληρότητας, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	k (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,028±0,004 <sup>a</sup>	0,9772
10	-0,031±0,010 <sup>a</sup>	0,8620
15	-0,033±0,012 <sup>a</sup>	0,8514
25	-0,062±0,011 <sup>b</sup>	0,9647

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Αντίστοιχα παρουσιάζεται η μεταβολή της υφής των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό (Σχήμα 5.19), σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής σκληρότητας από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου μηδενικής τάξης (Πίνακας 5.23).



**Σχήμα 5.19.** Η μεταβολή της σκληρότητας των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό (OSM\_WHEY) συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.

**Πίνακας 5.23.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της σκληρότητας, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	k (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,0027±0,0003 <sup>a</sup>	0,9912
10	-0,016±0,003 <sup>a</sup>	0,9733
15	-0,017±0,002 <sup>a</sup>	0,9916
25	-0,062±0,015 <sup>b</sup>	0,8934

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση προστατεύει την αλλοίωση της υφής κατά την αποθήκευση., αφού επιφέρει σημαντικά μειωμένες σταθερές ρυθμού μεταβολής της σκληρότητας των δειγμάτων. Η σκληρότητα των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων μετά από 90 ημέρες αποθήκευσης, δεν παρουσιάζει μεγάλη μεταβολή, ενώ η στατιστική διαφορά της μεταβολής μεταξύ των θερμοκρασιών αποθήκευσης δεν είναι σημαντική ( $p > 0.05$ ) ανάμεσα στις χαμηλές θερμοκρασίες (5-10-15°C). Η ώσμωση σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό παρατηρείται ότι είναι πιο αποτελεσματική, στη διατήρηση της σκληρότητας των δειγμάτων μετά από 90 ημέρες αποθήκευσης, σε κάθε εξεταζόμενη θερμοκρασία, αφού επιφέρει μικρότερες σταθερές ρυθμού μεταβολής της σκληρότητας των δειγμάτων.

### 5.2.5. Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Βιταμίνης C

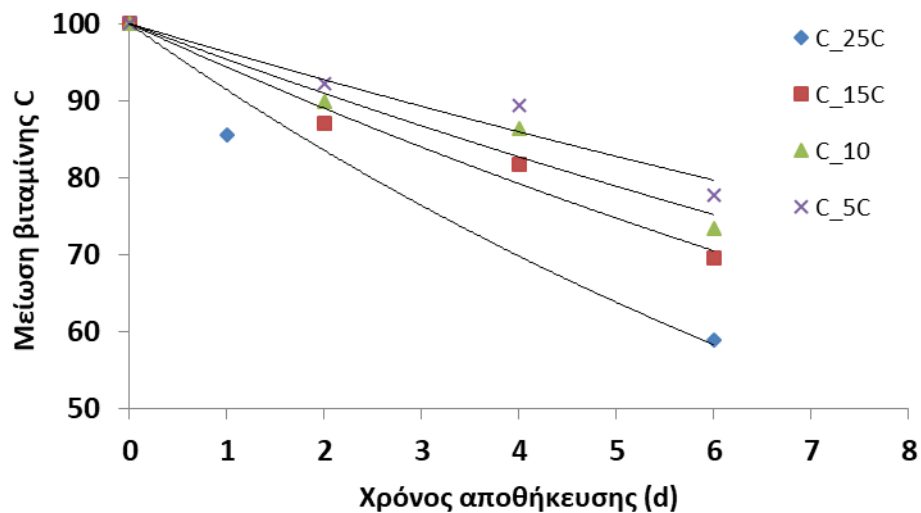
Η συγκέντρωση της βιταμίνης C μειώνεται λόγω οξείδωσης του L-ασκορβικού οξέος των φυτικών προϊόντων κατά τη συντήρησή τους και αποτελεί σημαντικό δείκτη ποιότητας, παρόλο που η απουσία της δεν γίνεται άμεσα αντιληπτή από τον καταναλωτή.

Στόχος των μετρήσεων της μεταβολής της βιταμίνης C σε συνάρτηση με τον χρόνο αποθήκευσης, είναι ο υπολογισμός του ρυθμού απώλειας για κάθε μελετώμενη θερμοκρασία και για τα διαφορετικά είδη δειγμάτων. Η απώλεια της βιταμίνης ακολουθεί αντίδραση πρώτης τάξης ( $n=1$ ):

$$\frac{C}{C_0} = 100e^{-kt} \text{ (Εξίσωση 5.1)}$$

Όπου C η συγκέντρωση του L-ασκορβικού οξέος σε 100g δείγματος.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.20) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεταβολής της βιταμίνης C συναρτήσει του χρόνου, για ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (Control), για τις 4 θερμοκρασίες αποθήκευσης.



**Σχήμα 5.20.** Η μείωση της βιταμίνης C των ανεπεξέργαστων (Control) δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C

Στον ακόλουθο πίνακα (5.24) παρουσιάζονται οι σταθερές των ρυθμών μείωσης και οι συντελεστές συσχέτισης του εκθετικού μοντέλου μείωσης της βιταμίνης C.

**Πίνακας 5.24.** Σταθερές ρυθμού μείωσης ( $k_{vitc}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) για τη μεταβολή της βιταμίνης C κατά την αποθήκευση, σε δείγμα ανεπεξέργαστης κολοκύθας (Control) και για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C,

T(°C)	$k_{vitc}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,038±0,007 <sup>a</sup>	0,9361
10	-0,047±0,008 <sup>a</sup>	0,9478
15	-0,058±0,006 <sup>a</sup>	0,9757
25	-0,090±0,015 <sup>b</sup>	0,9695

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Από τα πειραματικά αποτελέσματα και με εφαρμογή της εξίσωσης Arrhenius (Εξίσωση 4.9) προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας, όπου φαίνεται η ενέργεια ενεργοποίησης και η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=4^{\circ}\text{C}$ ), για τη μεταβολή της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C, των ανεπεξέργαστων δειγμάτων κολοκύθας (Πίνακας 5.25).

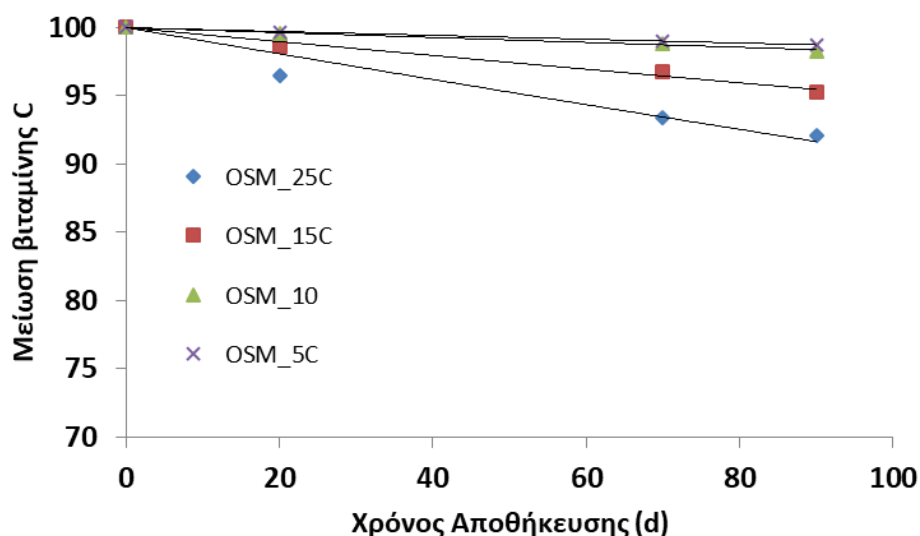
**Πίνακας 5.25.** Ενέργεια ενεργοποίησης  $E_a$  (kJ/mol) και σταθερά του ρυθμού μείωσης στη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{ref}=4^{\circ}\text{C}$ , για τη μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C κατά την αποθήκευση, σε δείγμα ανεπεξέργαστης κολοκύθας (Control).

$T(^{\circ}\text{C})$	$E_a$ (kJ/mol)	$k_{vitC,ref} (\text{d}^{-1})$	$R^2$
<b>Ανεπεξέργαστη Κολοκύθα (Control)</b>	$29,75 \pm 0,65$	$0,036 \pm 0,012$	0,999

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης στο μοντέλο Arrhenius.

Από τα παραπάνω παρατηρείται η εξάρτηση του ρυθμού απώλειας της βιταμίνης C από τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Στις πιο χαμηλές θερμοκρασίες, η σταθερά του ρυθμού απώλειας μειώνεται.

Παρακάτω παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (Σχήμα 5.21), σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής βιταμίνης C από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου που περιγράφεται από την εξίσωση 5.1 (Πίνακας 5.26).



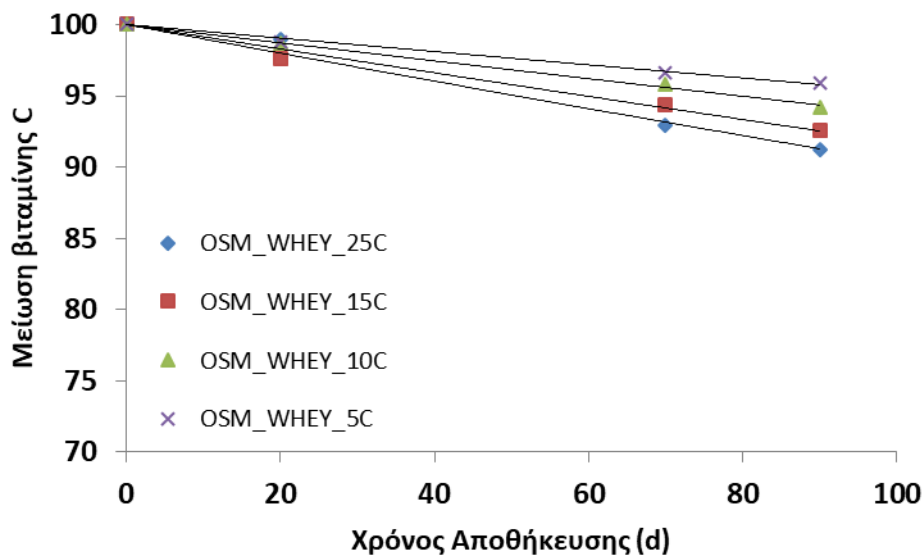
**Σχήμα 5.21.** Η μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (OSM) συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και  $25^{\circ}\text{C}$ .

**Πίνακας 5.26.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{vitc}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,0001±0,00001 <sup>a</sup>	0,9970
10	-0,0002±0,00001 <sup>a</sup>	0,9889
15	-0,0005±0,0001 <sup>b</sup>	0,9689
25	-0,0011±0,0003 <sup>c</sup>	0,8983

±αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Αντίστοιχα παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό (Σχήμα 5.22), σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής της συγκέντρωσης από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου που παρουσιάζεται στην εξίσωση 5.1 (Πίνακας 5.27).



**Σχήμα 5.22.** Η μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό (OSM\_WHEY) συναρτήσεως του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25°C.



**Πίνακας 5.27.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της βιταμίνης C, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{vitc}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,0005±0,00004 <sup>a</sup>	0,9686
10	-0,0006±0,00002 <sup>a</sup>	0,9677
15	-0,0009±0,0002 <sup>a</sup>	0,9993
25	-0,0010±0,0002 <sup>b</sup>	0,9686

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η συγκέντρωση της βιταμίνης C των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων μετά από 90 ημέρες αποθήκευσης, δεν παρουσιάζει μεγάλη μεταβολή. Η ώσμωση σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό παρατηρείται ότι είναι λιγότερο αποτελεσματική στην προστασία της περιεχόμενης βιταμίνης C των δειγμάτων μετά από 90 ημέρες αποθήκευσης αφού επιφέρει μεγαλύτερες σταθερές του ρυθμού μείωσης της συγκέντρωσης των δειγμάτων.

Η μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C στα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα δεν μπορεί να θεωρηθεί καθοριστικός παράγοντας εξαιτίας της μεγάλης αρχικής τιμής και της μικρής μεταβολής της συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης.

#### 5.2.6. Οργανοληπτική Αξιολόγηση

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των τροφίμων ορίζεται ως ο επιστημονικός έλεγχος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό, τη μέτρηση, την ανάλυση και την παρουσίαση των χαρακτηριστικών των τροφίμων, όπως γίνονται αντιληπτά από τις αισθήσεις της όρασης, της αφής, της οσμής, της γεύσης και της ακοής. Η οργανοληπτική αποδοχή των δειγμάτων από τους καταναλωτές είναι πολύ σημαντική. Ο οργανοληπτικός έλεγχος άλλωστε είναι μία πρώτη ένδειξη για την εναπομένουσα διάρκεια ζωής του προϊόντος αλλά και για την αποδοχή του στο κοινό.

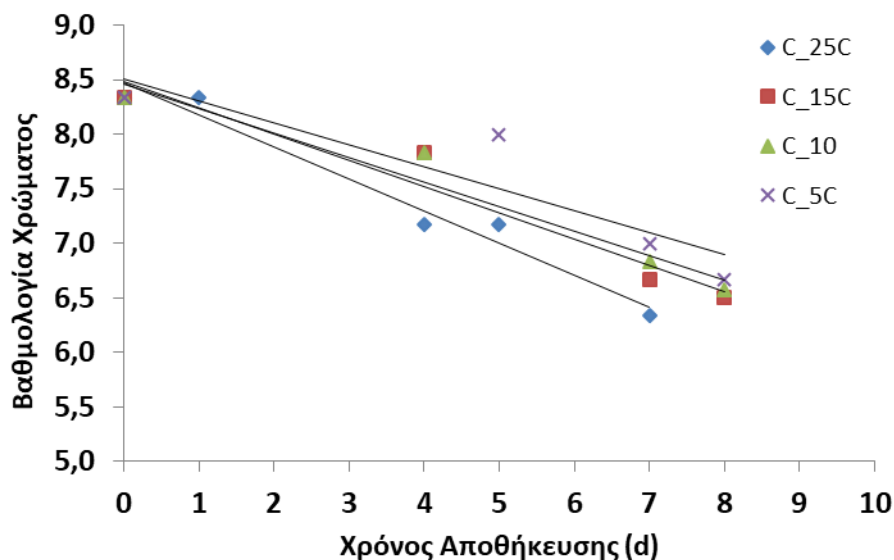
## Μελέτης Χρώματος

Με βάση την αξιολόγηση του χρώματος των δειγμάτων κολοκύθας, φάνηκε ότι η καλύτερη προσαρμογή γινόταν για κινητική μηδενικής τάξης ( $n=0$ ):

$$S_{colour} = S_{colour_0} - k_{colour}t \quad (\text{Εξίσωση 5.2})$$

Όπου,  $S_{colour}$  και  $S_{colour,0}$  είναι η βαθμολογία του χρώματος των δειγμάτων κολοκύθας κάθε χρονική στιγμή και η αρχική βαθμολογία πριν ξεκινήσει η αποθήκευση.

Στο σχήμα 5.23 παρουσιάζεται η βαθμολογία του χρώματος συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης για τα ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (Control), για τις 4 θερμοκρασίες αποθήκευσης.



**Σχήμα 5.23.** Βαθμολογία για το χρώμα των ανεπεξέργαστων (Control) δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C

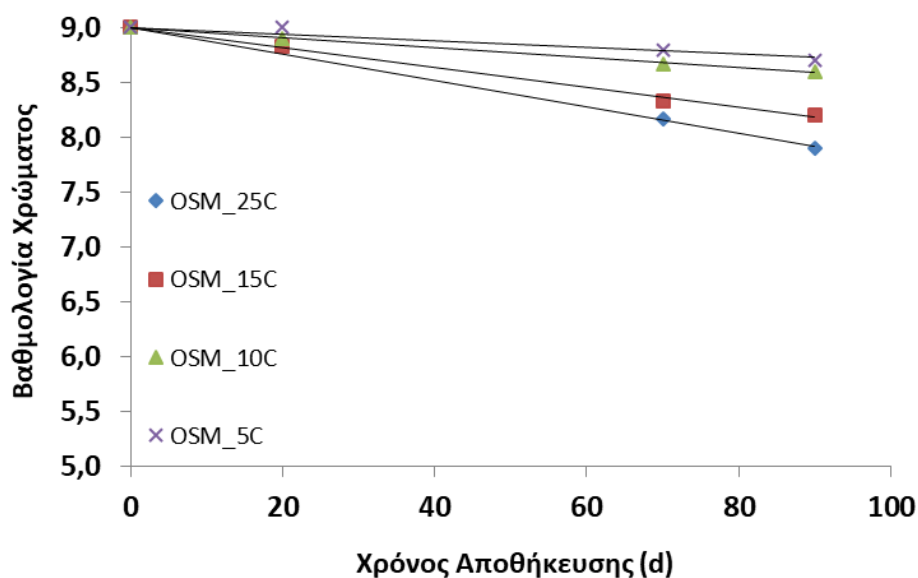
**Πίνακας 5.28.** Σταθερές ρυθμού αλλοίωσης του χρώματος ( $k_{colour}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) δειγμάτων ανεπεξέργαστης κολοκύθας (Control), για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C

T(°C)	$k_{colour}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,202±0,067 <sup>a</sup>	0,8189
10	-0,226±0,0363 <sup>a</sup>	0,9508
15	-0,241±0,043 <sup>a</sup>	0,9410
25	-0,294±0,031 <sup>a</sup>	0,9685

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p<0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Στον πίνακα 5.28 παρουσιάζονται οι σταθερές των ρυθμών υποβάθμισης του χρώματος μαζί με τους συντελεστές συσχέτισης, με προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση 5.2. Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η θερμοκρασία δεν επηρεάζει σημαντικά την αλλοίωση του χρώματος σύμφωνα με τους δοκιμαστές, κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο των ανεπεξέργαστων δειγμάτων

Αντίστοιχα, παρουσιάζεται η μεταβολή της οργανοληπτικής μεταβολής του χρώματος των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (Σχήμα 5.24), σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής του χρώματος από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου που περιγράφεται από την εξίσωση 5.2 (Πίνακας 5.29).



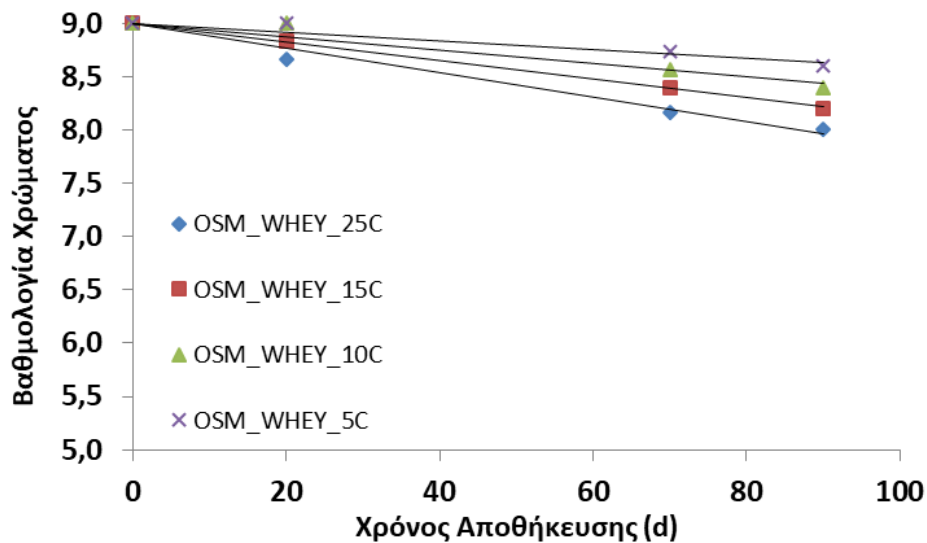
**Σχήμα 5.24.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας για το χρώμα, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

**Πίνακας 5.29.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας του χρώματος, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{\text{colour}} (\text{d}^{-1})$	R <sup>2</sup>
5	-0,0026±0,0011 <sup>a</sup>	0,8868
10	-0,0048±0,0002 <sup>b</sup>	0,9965
15	-0,0094±0,0005 <sup>c</sup>	0,9967
25	-0,0116±0,0014 <sup>d</sup>	0,9879

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Παρακάτω παρουσιάζεται η οργανοληπτική βαθμολογία του χρώματος για τα δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό (πίνακας 5.30) και οι σταθερές του ρυθμού μείωσης του χρώματος (σχήμα 5.25), σύμφωνα με την εξίσωση 5.2.



**Σχήμα 5.25.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας για το χρώμα, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό γιαουρτιού, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

**Πίνακας 5.30.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας του χρώματος, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{\text{colour}} (d^{-1})$	R <sup>2</sup>
5	-0,0035±0,0014 <sup>a</sup>	0,8868
10	-0,0057±0,0023 <sup>a</sup>	0,8868
15	-0,0086±0,0001 <sup>b</sup>	0,9967
25	-0,0122±0,0018 <sup>c</sup>	0,9762

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα βασισμένο σε στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Από τα αποτελέσματα της βαθμολογίας σχετικά με το χρώμα των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων φαίνεται ότι η ώσμωση συμβάλει στη διατήρηση του χρώματος κατά την αποθήκευση. Ο ρυθμός απώλειας του χρώματος μειώνεται σημαντικά όταν έχει προηγηθεί ωσμωτική αφυδάτωση των δειγμάτων. Η βαθμολογία του χρώματος των ωσμομένων δειγμάτων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία, και μειώνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία.

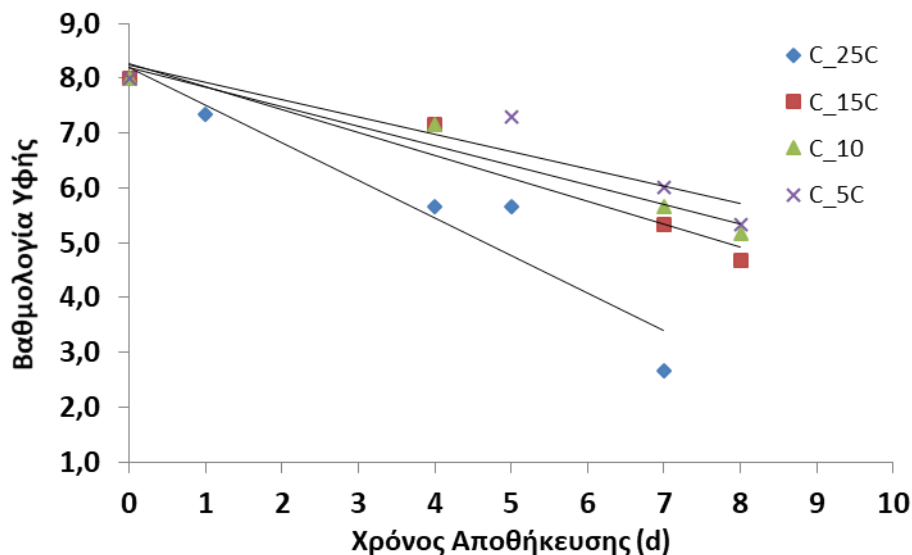
## Μελέτη Υφής

Με βάση την αξιολόγηση της υφής των δειγμάτων κολοκύθας, φάνηκε ότι η καλύτερη προσαρμογή γινόταν για κινητική μηδενικής τάξης ( $n=0$ ):

$$S_{texture} = S_{texture_0} - k_{texture}t \quad (\text{Εξίσωση 5.3})$$

Όπου,  $S_{texture}$  και  $S_{texture,0}$  είναι η βαθμολογία του χρώματος των δειγμάτων κολοκύθας κάθε χρονική στιγμή και η αρχική βαθμολογία πριν ξεκινήσει η αποθήκευση.

Στο σχήμα 5.26 παρουσιάζεται η βαθμολογία της υφής κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, για τα ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (Control), για τις 4 θερμοκρασίες αποθήκευσης.



**Σχήμα 5.26.** Βαθμολογία για την υφή των ανεπεξέργαστων (Control) δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C

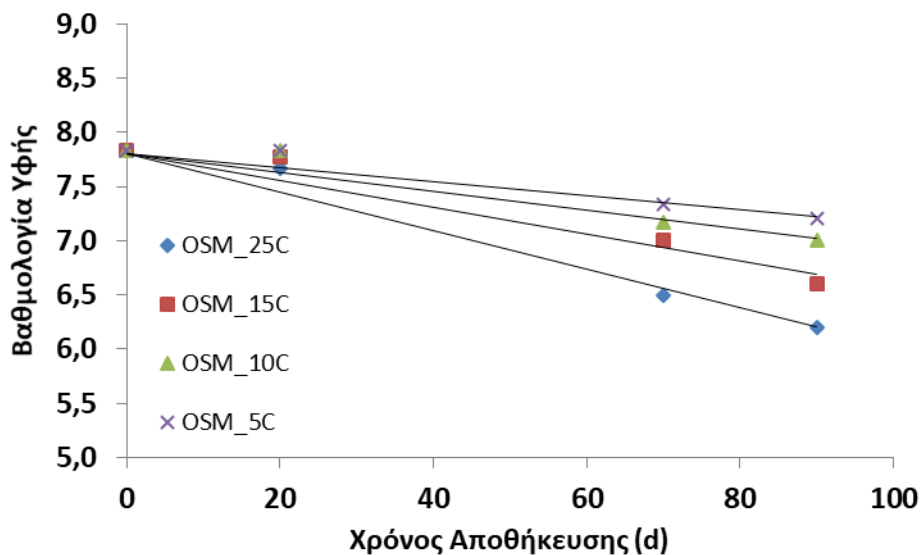
**Πίνακας 5.31.** Σταθερές ρυθμού αλλοίωσης της υφής ( $k_{texture}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) δειγμάτων ανεπεξέργαστης κολοκύθας (Control), για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C

T(°C)	$k_{texture}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,316±0,078 <sup>a</sup>	0,8611
10	-0,357±0,054 <sup>a</sup>	0,9558
15	-0,418±0,077 <sup>a</sup>	0,9360
25	-0,685±0,121 <sup>b</sup>	0,9145

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p<0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Στον πίνακα 5.31 παρουσιάζονται οι σταθερές των ρυθμών υποβάθμισης της υφής μαζί με τους συντελεστές συσχέτισης, με προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση 5.3. Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η αλλοίωση της υφής δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή της θερμοκρασίας σύμφωνα με τους δοκιμαστές, κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο των ανεπεξέργαστων δειγμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζεται η οργανοληπτική βαθμολογία της υφής για τα δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (σχήμα 5.27) και οι σταθερές του ρυθμού μείωσης της υφής (πίνακας 5.32), σύμφωνα με την εξίσωση 5.3.



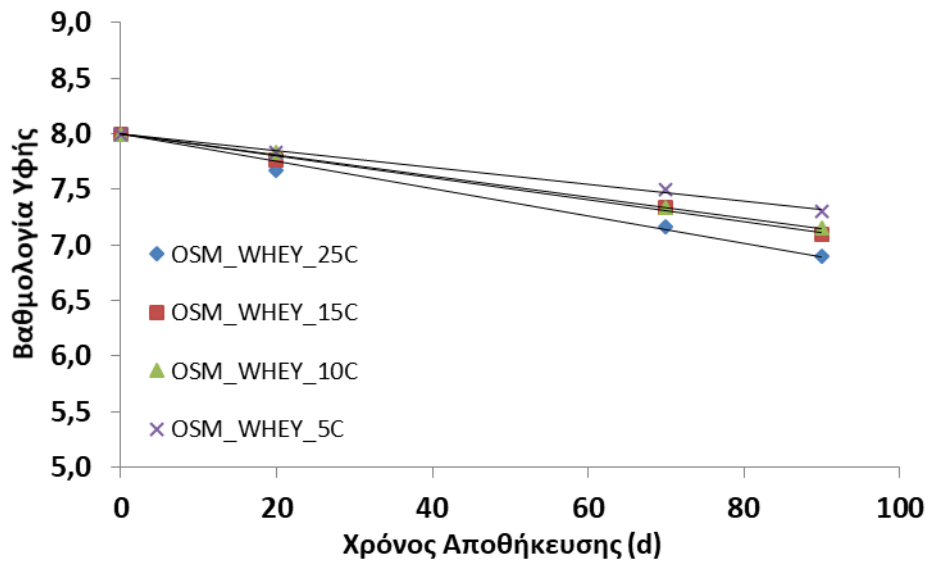
**Σχήμα 5.27.** Βαθμολογία για την υφή των δειγμάτων ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

**Πίνακας 5.32.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας της υφής, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$K_{\text{texture}} (\text{d}^{-1})$	$R^2$
5	-0,006±0,003 <sup>a</sup>	0,8393
10	-0,008±0,004 <sup>a</sup>	0,8530
15	-0,011±0,004 <sup>ab</sup>	0,9152
25	-0,018±0,005 <sup>b</sup>	0,9493

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Αντίστοιχα στο διάγραμμα 5.28 παρουσιάζεται η μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας για την υφή, για τα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, ενώ στον πίνακα 5.33 υπολογίζονται οι σταθερές του ρυθμού μείωσης της υφής, σύμφωνα με την εξίσωση 5.3.



**Σχήμα 5.28.** Βαθμολογία για την υφή των δειγμάτων ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

**Πίνακας 5.33.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας της υφής, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{\text{texture}} \text{ (d}^{-1}\text{)}$	R <sup>2</sup>
5	-0,007±0,0005 <sup>a</sup>	0,9960
10	-0,009±0,0005 <sup>ab</sup>	0,9978
15	-0,010±0,001 <sup>bc</sup>	0,9926
25	-0,012±0,002 <sup>c</sup>	0,9762

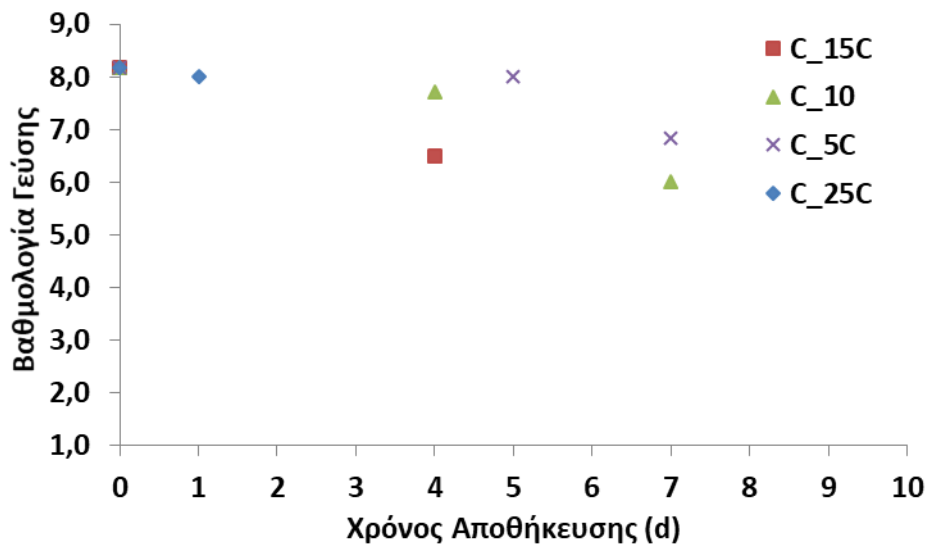
± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η ωσμωτική αφυδάτωση βελτιώνει σημαντικά τη διατήρηση της υφής κατά την αποθήκευση. Τα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα εμφανίζουν σημαντικά μικρότερες σταθερές μείωσης της οργανοληπτικής βαθμολογίας για την υφή. Η υφή των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων παρουσιάζει εξάρτηση από την θερμοκρασία, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες αποθήκευσης να οδηγούν σε υψηλότερους ρυθμούς αλλοίωσης της.

### Μελέτη Γεύσης

Η γεύση χρησιμοποιείται πολύ συχνά στον έλεγχο της ποιότητας των τροφίμων. Οι πληροφορίες που δίνονται με τη γεύση είναι ταχύτατες και ίσως είναι το πιο σημαντικό οργανοληπτικό χαρακτηριστικό που εξετάζεται.

Στο σχήμα 5.29 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη μεταβολή της γεύσης κατά την αποθήκευση, για ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας, για τις 4 θερμοκρασίες. Ο οργανοληπτικός έλεγχος της γεύσης έγινε κατά τις πρώτες μέρες της αποθήκευσης, και εφόσον η ολική μικροβιακή χλωρίδα είχε χαμηλότερο όριο από το μέγιστο επιτρεπτό (8 logCFU/g).

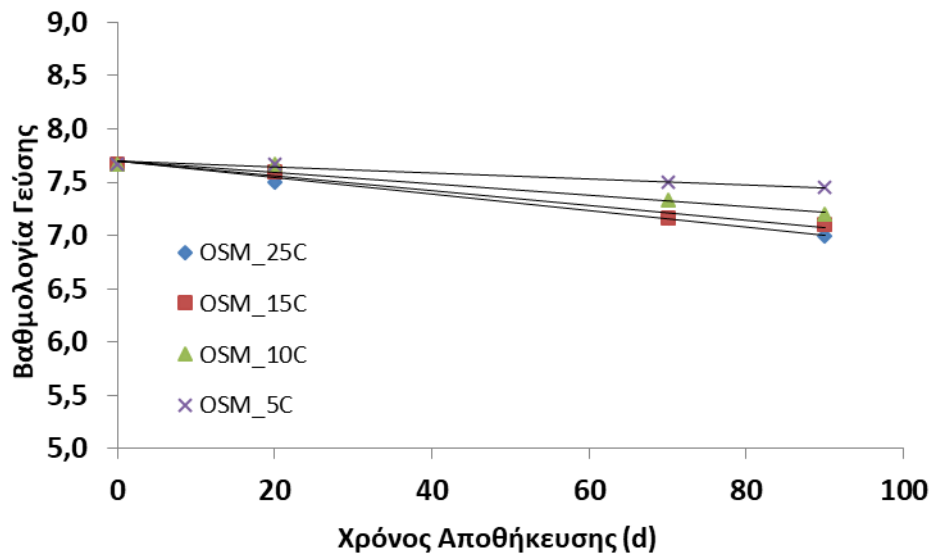


**Σχήμα 5.29.** Βαθμολογία οργανοληπτικής αξιολόγησης για την γεύση των ανεπεξέργαστων (Control) δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.

Η μοντελοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων δεν είναι εφικτή, αφού τα δείγματα δεν επαρκούν και δεν εμφανίζουν εξάρτηση από τον χρόνο.

Στο σχήμα 5.30 παρουσιάζεται η βαθμολογία της γεύσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, για τα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για τις 4 θερμοκρασίες αποθήκευσης.





**Σχήμα 5.30.** Βαθμολογία οργανοληπτικής αξιολόγησης για την γεύση των ωσσωμένων σε νερό δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.

Με βάση την αξιολόγηση της γεύσης των δειγμάτων κολοκύθας, φάνηκε ότι η καλύτερη προσαρμογή γινόταν για κινητική μηδενικής τάξης ( $n=0$ ):

$$S_{taste} = S_{taste_0} - k_{taste}t \quad (\text{Εξίσωση 5.4})$$

Όπου,  $S_{taste}$  και  $S_{taste,0}$  είναι η βαθμολογία της γεύσης των δειγμάτων κολοκύθας κάθε χρονική στιγμή και η αρχική βαθμολογία πριν ξεκινήσει η αποθήκευση.

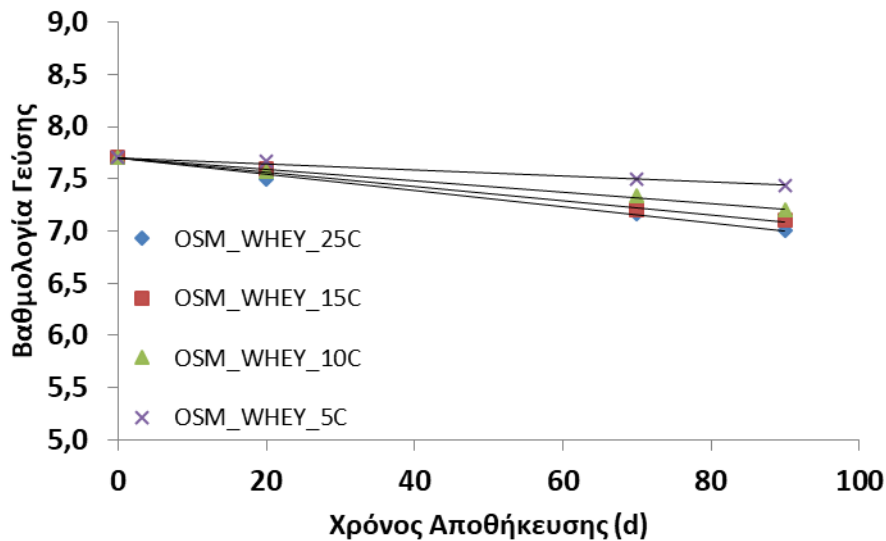
Ο πίνακας 5.34 παρουσιάζει τις σταθερές του ρυθμού μεταβολής της βαθμολογίας της γεύσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο.

**Πίνακας 5.34.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας της γεύσης, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{taste} (d^{-1})$	R <sup>2</sup>
5	-0,0022±0,0009 <sup>a</sup>	0,8869
10	-0,0044±0,0018 <sup>a</sup>	0,8869
15	-0,0069±0,0014 <sup>b</sup>	0,9636
25	-0,0072±0,0005 <sup>b</sup>	0,9960

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p<0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Αντίστοιχα, στο σχήμα 5.31 παρουσιάζεται η μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας για την γεύση, για τα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, ενώ στον πίνακα 5.35 υπολογίζονται οι σταθερές του ρυθμού μείωσης της γεύσης, σύμφωνα με την εξίσωση 5.4.



**Σχήμα 5.31.** Βαθμολογία οργανοληπτικής αξιολόγησης για την γεύση των ωσμομένων σε όξινο ορό δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C.

**Πίνακας 5.35.** Σταθερές των ρυθμών μείωσης και συντελεστές απόκλισης για τη μεταβολή της οργανοληπτικής βαθμολογίας της γεύσης, σε δείγματα ωσμοαφυδατωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

(°C)	$k_{\text{taste}} (\text{d}^{-1})$	$R^2$
5	-0,0028±0,0005 <sup>a</sup>	0,9772
10	-0,0054±0,0005 <sup>b</sup>	0,9890
15	-0,0070±0,0008 <sup>c</sup>	0,9879
25	-0,0078±0,0009 <sup>c</sup>	0,9856

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι η γεύση των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας δεν μεταβάλλεται σημαντικά κατά την αποθήκευση, σε διάστημα 90 ημερών.

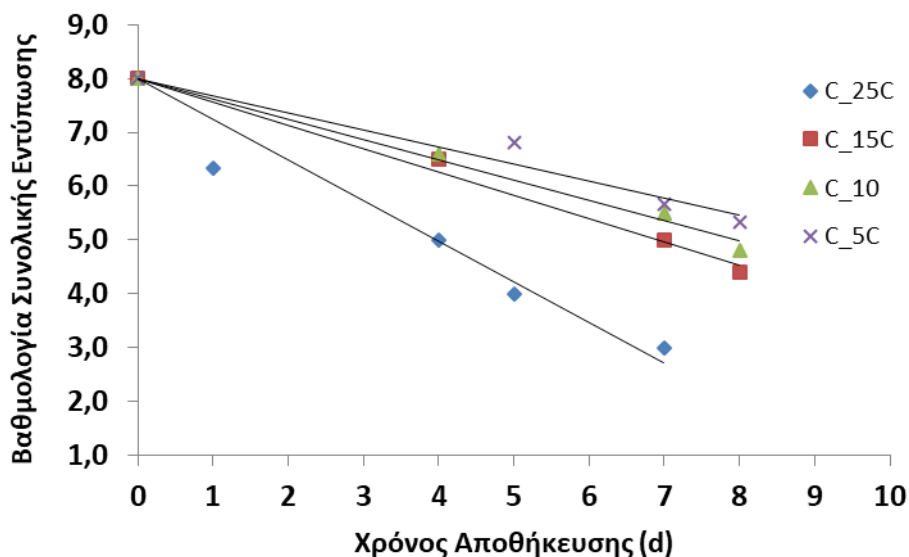
### Μελέτη Συνολικής Εντύπωσης

Με βάση την αξιολόγηση της συνολικής εντύπωσης των δειγμάτων κολοκύθας, φάνηκε ότι η καλύτερη προσαρμογή γινόταν για κινητική μηδενικής τάξης ( $n=0$ ):

$$S_{overall} = S_{overall_0} - k_{overall}t \quad (\text{Εξίσωση 5.5})$$

Όπου,  $S_{overall}$  και  $S_{overall,0}$  είναι η βαθμολογία της συνολικής εντύπωσης των βαθμολογητών κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο των δειγμάτων κολοκύθας κάθε χρονική στιγμή και η αρχική βαθμολογία πριν ξεκινήσει η αποθήκευση.

Στο σχήμα 5.32 παρουσιάζεται η βαθμολογία της συνολικής υφής κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, για τα ανεπεξέργαστα δείγματα κολοκύθας (Control), για τις 4 θερμοκρασίες αποθήκευσης.



**Σχήμα 5.32** Βαθμολογία συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο των ανεπεξέργαστων (Control) δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C

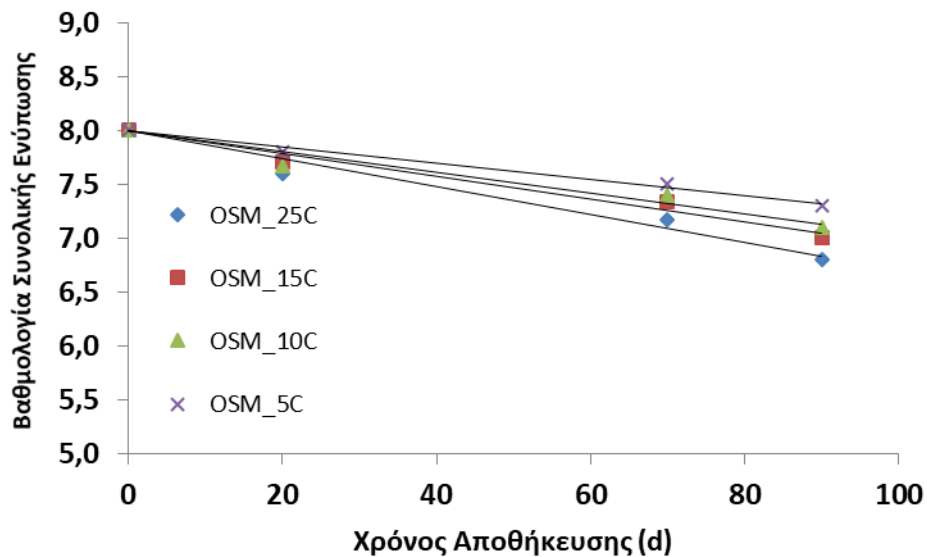
Στον πίνακα 5.36 παρουσιάζονται οι σταθερές των ρυθμών υποβάθμισης της συνολικής εντύπωσης μαζί με τους συντελεστές συσχέτισης, με προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση 5.5.

**Πίνακας 5.36.** Σταθερές ρυθμού αλλοίωσης της συνολικής εντύπωσης ( $k_{\text{overall}}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) δειγμάτων ανεπεξέργαστης κολοκύθας (Control), για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{\text{overall}}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,316±0,048 <sup>a</sup>	0,9593
10	-0,378±0,029 <sup>ab</sup>	0,9889
15	-0,433±0,031 <sup>b</sup>	0,9906
25	-0,755±0,098 <sup>c</sup>	0,9375

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Αντίστοιχα, παρουσιάζεται η μεταβολή της οργανοληπτικής μεταβολής της συνολικής εντύπωσης των ωσμοφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό (Σχήμα 5.33), σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής της συνολικής εντύπωσης από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου που περιγράφεται από την εξίσωση 5.5 (Πίνακας 5.37).



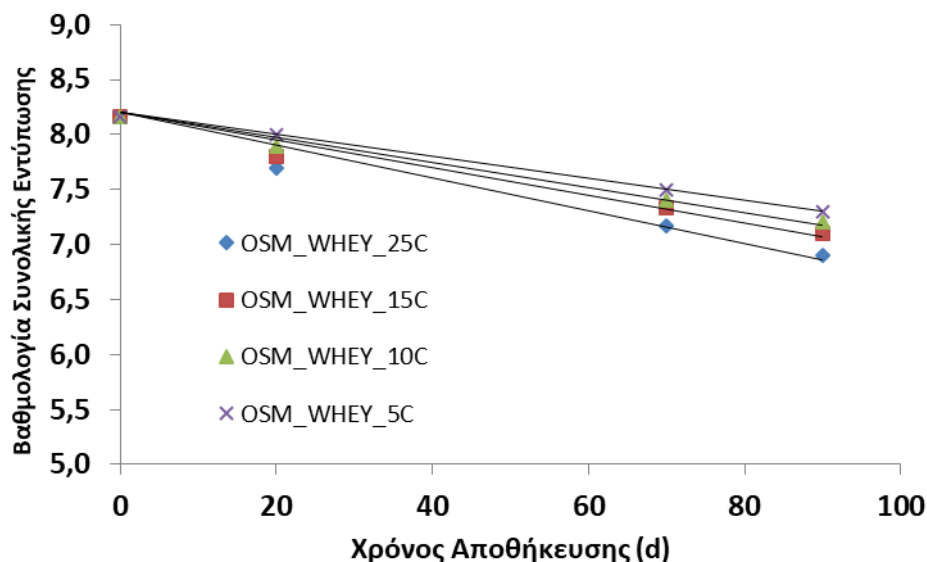
**Σχήμα 5.33** Βαθμολογία συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο των ωσμομένων σε νερό δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25° C

**Πίνακας 5.37.** Σταθερές ρυθμού αλλοίωσης της συνολικής εντύπωσης ( $k_{\text{overall}}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) ωσμωνένων σε νερό δειγμάτων κολοκύθας, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

T(°C)	$k_{\text{overall}}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,007±0,001 <sup>a</sup>	0,9762
10	-0,009±0,003 <sup>a</sup>	0,8659
15	-0,010±0,002 <sup>a</sup>	0,9503
25	-0,013±0,003 <sup>a</sup>	0,9302

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια στήλη (διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης).

Στο σχήμα 5.34 παρουσιάζεται η μεταβολή της οργανοληπτικής μεταβολής της συνολικής εντύπωσης των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό γιαουρτιού, σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, και οι σταθερές των ρυθμών μεταβολής της συνολικής εντύπωσης από την εφαρμογή κινητικού μοντέλου που περιγράφεται από την εξίσωση 5.5 (Πίνακας 5.38).



**Σχήμα 5.34.** Βαθμολογία συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο των ωσμωνένων σε όξινο ορό γιαουρτιού δειγμάτων κολοκύθας συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 10, 15 και 25°C.

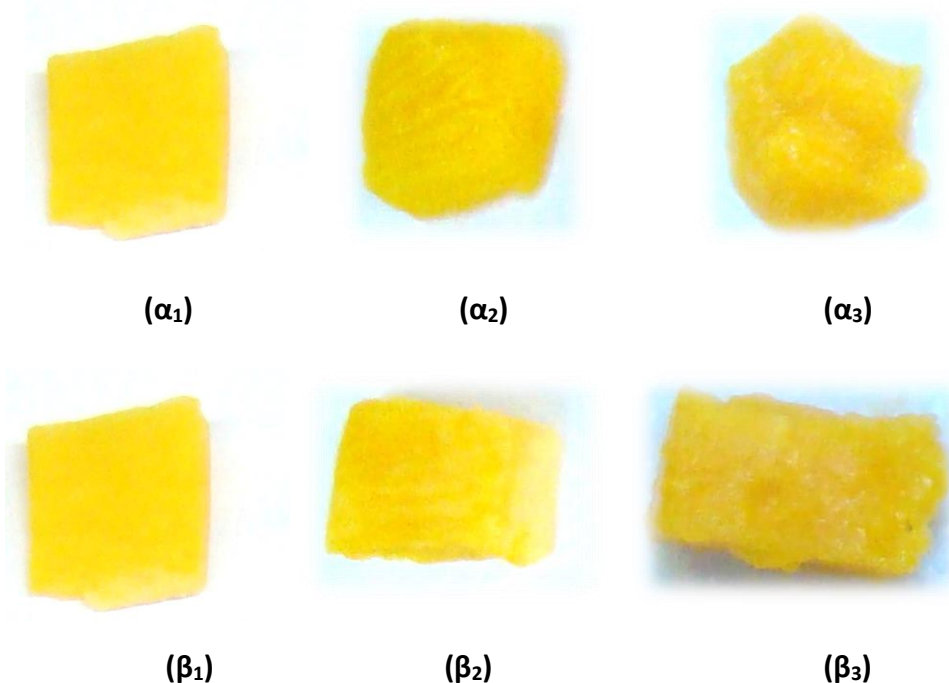
**Πίνακας 5.38.** Σταθερές ρυθμού αλλοίωσης της συνολικής εντύπωσης ( $k_{\text{overall}}$ ) και συντελεστές συσχέτισης ( $R^2$ ) ωσμωνένων σε όξινο ορό δειγμάτων κολοκύθας, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5,10,15,25°C.

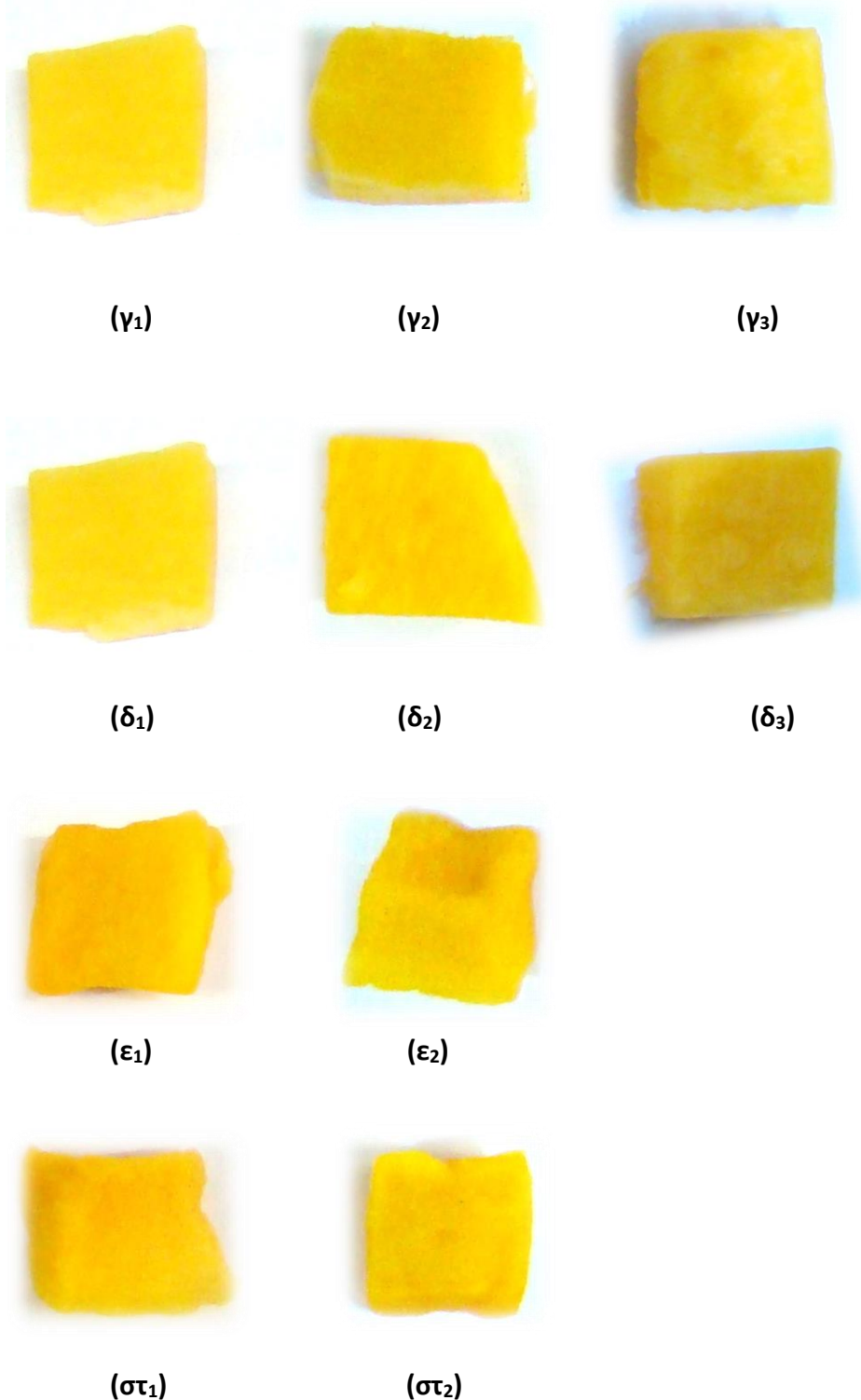
T(°C)	$k_{\text{overall}}$ (d <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
5	-0,009±0,0005 <sup>a</sup>	0,9978
10	-0,011±0,001 <sup>a</sup>	0,9931
15	-0,012±0,002 <sup>ab</sup>	0,9562
25	-0,015±0,003 <sup>b</sup>	0,9395

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, υπολογισμένο με ανάλυση διακύμανσης. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κολώνα.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η συνολική οργανοληπτική εντύπωση δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία σε χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης, ενώ εμφανίζει αυξημένους ρυθμούς αλλοίωσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ). Η ώσμωση προστατεύει το προϊόν από ταχεία οργανοληπτική αλλοίωση, ενώ στις 90 ημέρες του πειράματος, έχουν επέλθει μικρές οργανοληπτικές μεταβολές.

Στην εικόνα 5.2 παρουσιάζονται ορισμένες φωτογραφίες ενδεικτικά των επεξεργασμένων και μη δειγμάτων κολοκύθας στην αρχή του πειράματος (αριστερή φωτογραφία), σε ενδιάμεσο χρόνο (μεσαία φωτογραφία) και στο τέλος του πειράματος (δεξιά φωτογραφία) προκειμένου να παρουσιαστεί η αλλοίωση της συνολικής εικόνας των δειγμάτων κατά την αποθήκευση.





**Εικόνα 5.2.** Φωτογραφίες επιλεγμένων δειγμάτων κολοκύθας, **(α)** ανεπεξέργαστων σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25°C, **(β)** ανεπεξέργαστων σε θερμοκρασία αποθήκευσης 15°C, **(γ)** ανεπεξέργαστων σε θερμοκρασία αποθήκευσης 10°C, **(δ)** ανεπεξέργαστων σε θερμοκρασία αποθήκευσης 5°C, **(ε)** ωσμοφυδατωμένων σε ωσμωτικό μέσο με νερό και αποθηκευμένο σε θερμοκρασία 25°C, **(στ)** ωσμοφυδατωμένων σε ωσμωτικό μέσο με όξινο ορό και αποθηκευμένο σε θερμοκρασία 25°C. Οι δείκτες 1,2,3 αναφέρονται στην αρχή του πειράματος, σε κάποιον ενδιάμεσο χρόνο και στο τέλος του πειράματος αντίστοιχα.

### 5.2.7. Διάρκεια Ζωής Ωσμωμένης Κολοκύθας

Κατά τις προηγούμενες ενότητες τα μη επεξεργασμένα δείγματα και τα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση εξετάσθηκαν ως προς τη μικροβιακή αλλοίωση και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τόσο θρεπτικά όσο και οργανοληπτικά, καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης τους σε θερμοκρασίες 5, 10, 15 και 25°C. Με βάση την κινητική μελέτη που πραγματοποιήθηκε είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ο χρόνος διατηρησιμότητας των προϊόντων.

Η διάρκεια ζωής των φυτικών προσδιορίζεται με βάση τη μικροβιακή αλλοίωση (ολική μικροβιακή χλωρίδα και ανάπτυξη ζυμών/μυκήτων) και τη μεταβολή των πιο βασικών ποιοτικών παραμέτρων όπως αυτοί αναλύθηκαν προηγουμένως (μεταβολή υφής, μεταβολή συγκέντρωσης βιταμίνης C, συνολική εντύπωση κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο).

Ως ανώτατο όριο ολικής μικροβιακής χλωρίδας τίθεται ο πληθυσμός 8logCFU/g και ως ανώτατο όριο ανάπτυξης ζυμών και μυκήτων ο πληθυσμός 6logCFU/g. (Roller et al. 2002) Στην περίπτωση της βιταμίνης C για το ανεπεξέργαστο δείγμα, το όριο αποδοχής ήταν 40% απώλεια καθώς πρόκειται για ένα τρόφιμο με χαμηλή αρχική περιεκτικότητα σε βιταμίνη C. Ως όριο αποδοχής για τη σκληρότητα των ανεπεξέργαστων δειγμάτων τίθεται η τιμή 8N που ισοδυναμεί με μείωση κατά 30% της αρχικής σκληρότητας. Σχετικά με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, η συνολική εντύπωση θεωρείται ο πιο σημαντικός δείκτης, και ως όριο τέθηκε το 5 καθώς βαθμολογία κατώτερη θα καθιστούσε το τελικό προϊόν με αποδεκτό για κατανάλωση.

Στους πίνακες 39-43 παρατίθεται τιμές για τη διάρκεια ζωής για κάθε δείκτη διατηρησιμότητας ξεχωριστά, όλων των δειγμάτων στις θερμοκρασίες που μελετήθηκαν (5,10,15,25°C).

**Πίνακας 5.39.** Διάρκεια ζωής της τεμαχισμένης κολοκύθας με βάση την ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας, για αποθήκευση σε θερμοκρασίες 5,10,15,25°C

T(°C)/Δείγμα	Διάρκεια Ζωής (ημέρες)			
	25 °C	15 °C	10 °C	5 °C
Ανεπεξέργαστο Δείγμα Κολοκύθας (Control)	1	3	5	7
Ωσμωαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε νερό (OSM)	>90	>90	>90	>90
Ωσμωαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε όξινο	>90	>90	>90	>90



**Πίνακας 5.40.** Διάρκεια ζωής της τεμαχισμένης κολοκύθας με βάση την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων, για αποθήκευση σε θερμοκρασίες 5,10,15,25°C

<b>Διάρκεια Ζωής (ημέρες)</b>				
<b>T(°C)/Δείγμα</b>	<b>25 °C</b>	<b>15 °C</b>	<b>10 °C</b>	<b>5 °C</b>
Ανεπεξέργαστο Δείγμα Κολοκύθας (Control)	5	7	8	8
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε νερό (OSM)	>90	>90	>90	>90
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε όξινο	>90	>90	>90	>90

**Πίνακας 5.41.** Διάρκεια ζωής της τεμαχισμένης κολοκύθας με βάση τη μεταβολή της σκληρότητας, για αποθήκευση σε θερμοκρασίες 5,10,15,25°C

<b>Διάρκεια Ζωής (ημέρες)</b>				
<b>T(°C)/Δείγμα</b>	<b>25 °C</b>	<b>15 °C</b>	<b>10 °C</b>	<b>5 °C</b>
Ανεπεξέργαστο Δείγμα Κολοκύθας (Control)	3	5	9	12
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε νερό (OSM)	>90	>90	>90	>90
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε όξινο	>90	>90	>90	>90

**Πίνακας 5.42.** Διάρκεια ζωής της τεμαχισμένης κολοκύθας με βάση τη μείωση της συγκέντρωσης της βιταμίνης C, για αποθήκευση σε θερμοκρασίες 5,10,15,25°C

<b>Διάρκεια Ζωής (ημέρες)</b>				
<b>T(°C)/Δείγμα</b>	<b>25 °C</b>	<b>15 °C</b>	<b>10 °C</b>	<b>5 °C</b>
Ανεπεξέργαστο Δείγμα Κολοκύθας (Control)	5	8	10	13
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε νερό (OSM)	>90	>90	>90	>90
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε όξινο	>90	>90	>90	>90

**Πίνακας 5.43.** Διάρκεια ζωής της τεμαχισμένης κολοκύθας με βάση τη βαθμολογική μεταβολή για τη συνολική εντύπωση κατά την οργανοληπτική αξιολόγηση, για αποθήκευση σε θερμοκρασίες 5,10,15,25°C

Τ(°C)/Δείγμα	Διάρκεια Ζωής (ημέρες)			
	25 °C	15 °C	10 °C	5 °C
Ανεπεξέργαστο Δείγμα Κολοκύθας (Control)	4	7	8	9
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε νερό (OSM)	>90	>90	>90	>90
Ωσμοαφυδατωμένο δείγμα κολοκύθας σε όξινο	>90	>90	>90	>90

Από τα παραπάνω, παρατηρείται ότι ο καθοριστικός παράγοντας της διατηρησιμότητας των ανεπεξέργαστων δειγμάτων είναι η ολική μικροβιακή χλωρίδα. Συγκεκριμένα, ο χρόνος ζωής για τα ανεπεξέργαστα δείγματα φρέσκιας κομμένης κολοκύθας για αποθήκευση τους 25°C είναι 1 ημέρα, στους 15°C είναι 3 ημέρες, στους 10°C είναι 5 ημέρες και στους 5°C είναι 7 ημέρες. Ο περιορισμένος χρόνος ζωής των μη επεξεργασμένων δειγμάτων οφείλεται στο υψηλό αρχικό φορτίο ολικής μικροβιακής χλωρίδας (5 logCFU/g). Η τιμή αυτή είναι σημαντικά πιο υψηλή σε σχέση με το φορτίο της φρέσκιας κολοκύθας που δεν έχει κοπεί (3log CFU/g) (Lucera et al. 2012). Αυτό οφείλεται στις διαδικασίες παραγωγής των φρεσκοκομμένων λαχανικών (ξεφλούδισμα, τεμαχισμό κ.α.) οι οποίες προκαλούν καταστροφή των επιφανειακών κυττάρων, στρες στους ιστούς, έκθεση του κυτταροπλάσματος και παρέχουν ένα δυνητικά πιο πλούσιο υπόστρωμα για τους αναπτυσσόμενους μικροοργανισμούς (Brecht 1995, Brackett 1994, Barry-Ryan et al. 2000). Αυτοί οι παράγοντες σε συνδυασμό με την υψηλή ενεργότητα νερού και το κοντά στο ουδέτερο pH των ιστών των λαχανικών, διευκολύνουν την ταχεία μικροβιακή ανάπτυξη (Beuchat 1996, Parish et al. 2003).

Η ωσμωτική κατεργασία έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ολικού μικροβιακού φορτίου κάτω από το όριο ανίχνευσης, και σε συνδυασμό με τη χαμηλή ενεργότητα των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων (0,87) και το χαμηλό pH ( $\approx 3,7$ ) δεν παρατηρείται ανάπτυξη μικροβιακού φορτίου κατά τη διάρκεια του πειράματος (90 ημέρες). Αντίστοιχα συμβαίνει και στην περίπτωση των ζυμών και μυκήτων στα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα.

Κατά την διάρκεια του πειράματος, δεν παρατηρείται υποβάθμιση κάποιου ποιοτικού δείκτη κάτω από το όριο αποδοχής, για τα ωσμοαφυδατωμένα δείγματα. Ωστόσο, σύμφωνα με τους ρυθμούς υποβάθμισης ποιότητας, φαίνεται η μεταβολή της σκληρότητας να αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για την απόρριψη του προϊόντος. Ως όριο αποδοχής των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων τίθεται η μείωση της αρχικής σκληρότητας κατά 40%, δηλαδή τιμή σκληρότητας ίση με 9,5N. Με την υπόθεση ότι το μοντέλο επαληθεύεται ως την λήξη του χρόνου ζωής των ωσμομένων προϊόντων, η διατηρησιμότητα των δειγμάτων στους 25°C βρίσκεται ίση με 103 ημέρες στην περίπτωση των ωσμομένων σε νερό δειγμάτων και ίση με 97 ημέρες στην περίπτωση των ωσμομένων σε όξινο ορό δειγμάτων. Το πείραμα της διατηρησιμότητας των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων κολοκύθας βρίσκεται σε εξέλιξη μέχρι κάποιος παράγοντας (μικροβιολογική αλλοίωση, υφή, οργανοληπτική αποδοχή) μειωθεί κάτω από το επιτρεπτό όριο.

Τελικά, ο χρόνος ζωής των δειγμάτων τεμαχισμένης κολοκύθας επιμηκύνεται κατά τουλάχιστον 80 ημέρες όταν έχει προηγηθεί ωσμοτική αφυδάτωση για 2h στους 55°C, σε πολυσυστατικό ωσμοτικό μέσο με 10%GOS – 10%Τρεχαλόζη.

Από τα παραπάνω παρατηρείται επίσης, ότι η χρήση όξινου ορού γιαουρτιού έναντι νερού στο ωσμοτικό μέσο έχει παρόμοια αποτελέσματα, έχει προστατευτική δράση σε ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά.



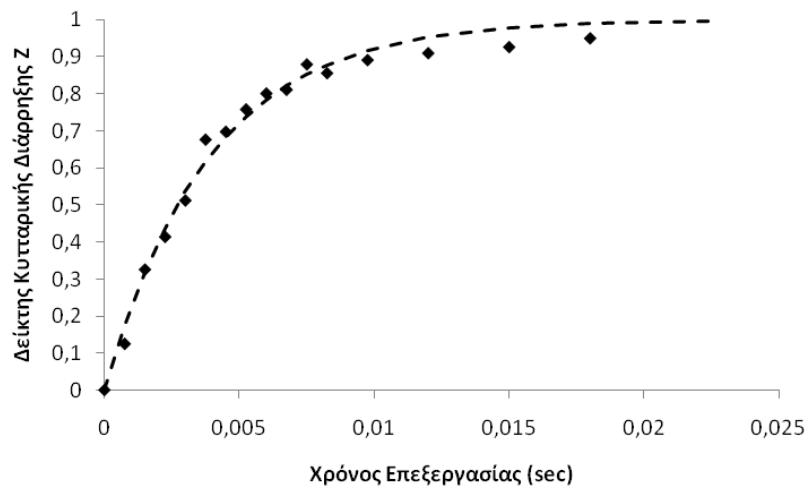
### 5.3. Ενότητα Τρίτη: Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία και Ξήρανση

Σκοπός της παρούσας ενότητας είναι η μελέτη της εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης (ΩΑ) σε συνδυασμό με την τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) ως προκατεργασία της ΩΑ καθώς και με ξήρανση με αέρα για τη δημιουργία καινοτόμων αφυδατωμένων προϊόντων με βελτιωμένες οργανοληπτικές και διατροφικές ιδιότητες.

Στην ενότητα αυτή μελετάται (α) η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) στην κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης κομμένων τεμαχίων κολοκύθας, με προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών και της μεταβολή της ενεργότητας νερού και (β) η ξήρανση με αέρα των ωσμοαφυδατωμένων και μη δειγμάτων με προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης της ξήρανσης. Η ωσμωτική αφυδάτωση κολοκύθας πραγματοποιήθηκε στις βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας, χρόνου και σύστασης ωσμωτικού διαλύματος, όπως προέκυψαν από την ενότητα 5.1., δηλαδή 2h στους 55°C, σε ωσμωτικό διάλυμα με ορό γιαουρτιού και 10%w/w GOS - 10%w/w Τρεχαλόζη και αναλογία διαλύματος προς ωσμωτικό μέσο 1:5 κατά βάρος.

#### 5.3.1. Προσδιορισμός Δείκτη Κυτταρικής Διάρρηξης

Ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης Z, υπολογίστηκε για δείγματα κολοκύθας εφαρμόζοντας την τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 2kV/cm, συχνότητα 20Hz, πλάτος παλμού 15μs και μεταβολή των παλμών από 50 έως 1500. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί, όπου και φαίνεται η μεταβολή του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης Z συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας των δειγμάτων.

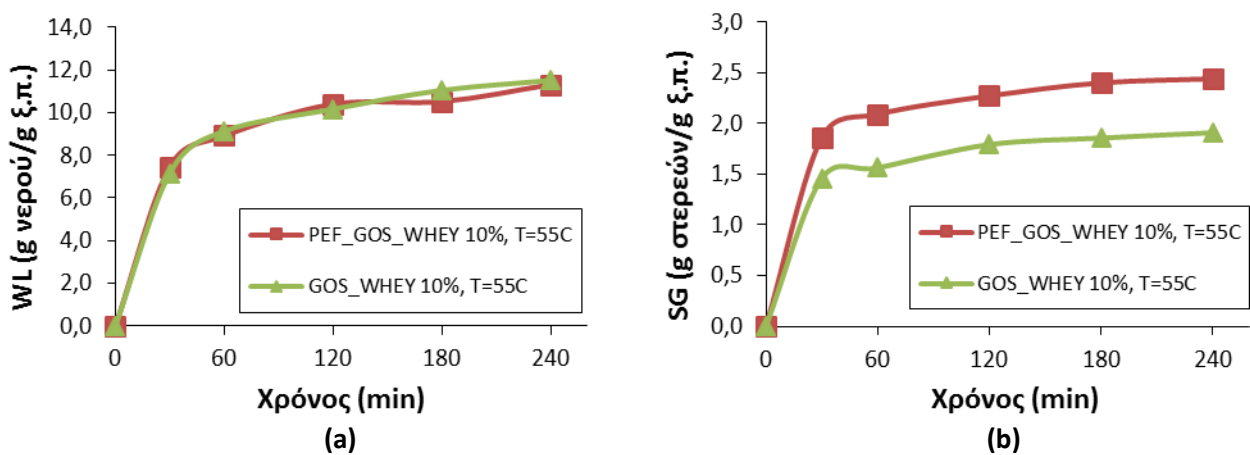


**Σχήμα 5.34.** Δείκτης κυτταρικής διάρρηξης κολοκύθας υπολογισμένος με βάση τη μέθοδο χαμηλής-υψηλής συχνότητας σε ένταση 2kV/cm.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι αυξάνοντας τον χρόνο επεξεργασίας του PEF, η κυτταρική διάρρηξη στα δείγματα κολοκύθας γίνεται εντονότερη. Η μέγιστη κυτταρική διάρρηξη συμβαίνει στους 1500 παλμούς ή ισοδύναμα για χρόνο επεξεργασίας ίσο με 0,01s. Σε μεγαλύτερους χρόνους επεξεργασίας, η κυτταρική διάρρηξη παραμένει σταθερή και ίση με  $Z=0,9$ .

### 5.3.2. Εφαρμογή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (PEF) ως Προεπεξεργασία Ωσμωτικής Αφυδάτωσης (ΩΑ) Κολοκύθας

Στο στάδιο αυτό, ελέγχθηκε η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων κολοκύθας. Σύμφωνα με τον πειραματικό σχεδιασμό, η μελέτη της επίδρασης των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην ώσμωση θα γίνει στις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης (2h, 55°C, 10%w/w GOS, 32,5%w/w όξινο ορός γιαουρτιού) και PEF (2kV/cm, 1500p).



**Σχήμα 5.35.** Απώλεια νερού **(a)** και πρόσληψη στερεών **(b)** για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση ύστερα από προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία.

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία προ της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν επηρεάζει σημαντικά την απώλεια νερού ενώ προκαλεί σημαντική αύξηση της πρόσληψης στερεών. Η μέγιστη τιμή πρόσληψης στερεών ισούται με  $2,44 \text{g}_{\text{στερεών}}/\text{g}_{\text{ξ.π.}}$ , και είναι κατά 28% αυξημένη σε σχέση με την τιμή του ωσμομένου δείγματος χωρίς προηγούμενη επεξεργασία.

Με εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Fick για τη διάχυση, μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές διάχυσης τόσο για την απώλεια νερού όσο και από την πρόσληψη στερεών, για τα δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί προκατεργασία με PEF και ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες (55°C-2h).

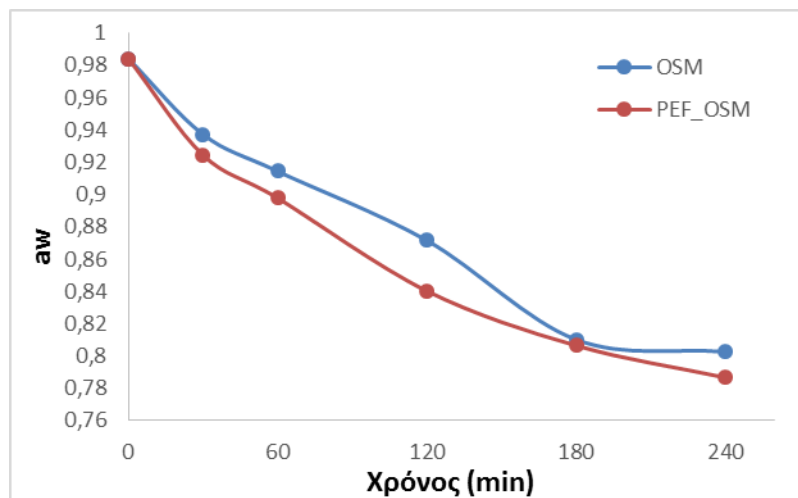
**Πίνακας 5.44.** Συντελεστές διάχυσης νερού ( $D_{ew}$ ) και στερεών ( $D_{es}$ ) και συντελεστές συσχέτισης για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

Δείγμα	Dew (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>	Des (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>
PEF_OSM	4,122±0,424	0,9866	5,982±0,680	0,9881
OSM	3,974±0,397	0,9871	5,589±0,753	0,9820

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία οδηγεί μικρή αλλά μη σημαντική αύξηση των συντελεστών διάχυσης. Ωστόσο, στον βέλτιστο χρόνο επεξεργασίας (2 ώρες) τα δείγματα που έχουν υποστεί προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία εμφανίζουν αυξημένη πρόσληψη στερεών ( $SG_{PEF\_OSM}=1,79g_{στερεών}/g_{ξ.π}$  έναντι  $SG_{OSM}=2,27g_{στερεών}/g_{ξ.π}$ ) και μειωμένη υγρασία ( $X_{W\_PEF\_OSM}=54,71\%$  έναντι  $X_{W\_OSM}=59,96\%$ ) σε σχέση με εκείνα που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία προ της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία προκαλεί ηλεκτροδιάτρηση των κυττάρων στα δείγματα κολοκύθας, ενισχύοντας σημαντικά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι η προκατεργασία με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση σε αρκετούς φυτικούς ιστούς όπως μήλο, καρότο, μάνγκο, και κόκκινες πιπεριές (Ade-Amowaye et al. 2001, 2002, Amami et al. 2006,2007).

Στο στάδιο αυτό μελετήθηκε επίσης η μεταβολή της ενεργότητας νερού για τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με PEF, και συγκρίθηκε με τη μεταβολή της ενεργότητας νερού στα δείγματα χωρίς προκατεργασία.



**Σχήμα 5.36.** Μεταβολή ενεργότητας συναρτήσει του χρόνου ώσμωσης, για δείγματα κολοκύθας που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

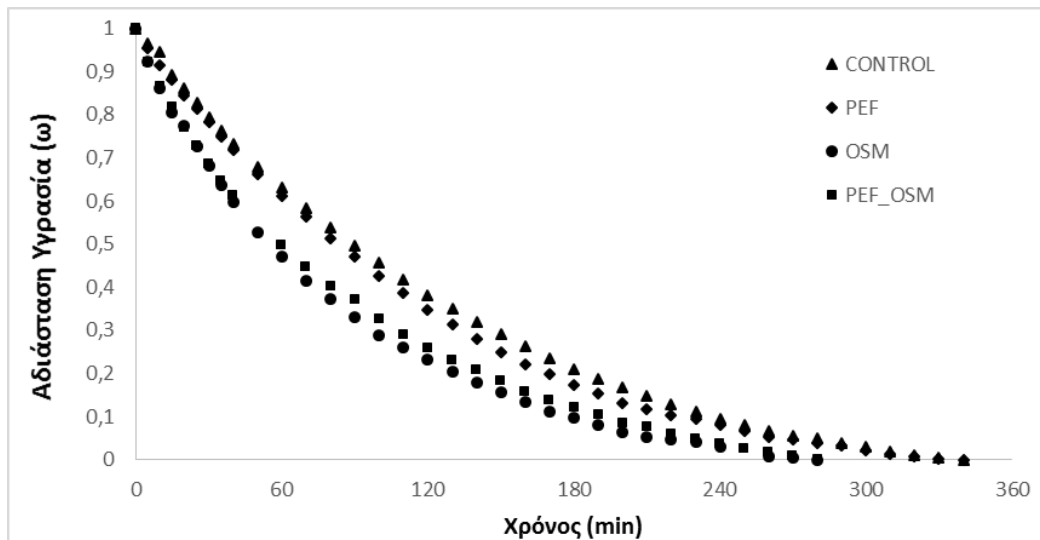
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία οδηγεί σε προϊόν με χαμηλότερη ενεργότητα νερού σε ίδιο χρόνο επεξεργασίας. Συνεπώς, για να επιτευχθεί ενεργότητα ίση με 0,87 χρειάζονται περίπου 90min επεξεργασίας όταν έχει προηγηθεί επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, έναντι των 120min στην περίπτωση χωρίς προκατεργασία.

Τελικά, παρατηρούμε ότι η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία βοηθά σημαντικά την ωσμωτική αφυδάτωση τεμαχισμένης κολοκύθας, αφού προκαλεί μείωση του απαιτούμενου χρόνου επεξεργασίας.

### 5.3.3. Ωσμωτική Αφυδάτωση με ή χωρίς Εφαρμογή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (PEF) και Ξήρανση Κολοκύθας

Στο στάδιο αυτό, μελετήθηκε η ξήρανση ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων κολοκύθας σε σταθερές συνθήκες ξήρανσης, σε θερμοκρασία ίση με 55°C. Σκοπός είναι η μελέτη του ρυθμού ξήρανσης, σε 4 περιπτώσεις δειγμάτων: σε δείγμα ωμής κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (Control), σε δείγμα ωμής κολοκύθας που έχει επεξεργαστεί με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF), σε δείγμα ωσμομένης κολοκύθας στις βέλτιστες συνθήκες ώσμωσης (OSM), σε δείγμα ωσμομένης κολοκύθας που έχει προεπεξεργαστεί με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM). Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι καμπύλες ξήρανσης των παραπάνω δειγμάτων στους 55°C.





**Σχήμα 5.37.** Καμπύλες ξήρανσης στους 55°C, για δείγματα κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (CONTROL), για δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με PEF (PEF), για δείγματα που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συντελεστές διάχυσης  $D_{eff}$  από τον 2<sup>ο</sup> νόμο του Fick για τις τέσσερις σειρές δειγμάτων, και η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης όπως προκύπτει από την εφαρμογή του εκθετικού μοντέλου πρώτης τάξης.

**Πίνακας 5.45.** Συντελεστές διάχυσης ( $D_{eff}$ ) για δείγματα κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (CONTROL), για δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με PEF (PEF), για δείγματα που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

Δείγμα	$D_{eff}$ (*10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>
CONTROL	1,153±0,060 <sup>a</sup>	0,9450
PEF	1,248±0,063 <sup>a</sup>	0,9501
OSM	1,695±0,067 <sup>b</sup>	0,9742
OSM_PEF	1,693±0,066 <sup>b</sup>	0,9743

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα, βασισμένο σε στατιστική ανάλυση των κινητικών παραμέτρων. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ).

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι ο συντελεστής διάχυσης για την ξήρανση δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με τα μη ωσμωμένα δείγματα. Πιθανά αυτό συμβαίνει επειδή τα ωσμωμένα δείγματα έχουν πολύ μικρότερη υγρασία και ενεργότητα νερού σε σχέση με αυτά που δεν έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και φτάνουν πιο γρήγορα στην τελική τιμή υγρασίας. Όταν τα δείγματα προεπεξεργάστηκαν με παλμικά ηλεκτρικά πεδία οδήγησαν σε αυξημένους συντελεστές διάχυσης, αφού η προεπεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτροδιάτρηση των κυττάρων, η οποία ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (Vorobiev & Lebonka 2006).

Στην περίπτωση της συνδυαστικής χρήσης παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και ώσμωσης, δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση του συντελεστή διάχυσης. Ωστόσο, την πρώτη μια ώρα παρατηρείται μεγάλος ρυθμός ξήρανσης ενώ όσο αυξάνεται ο χρόνος ξήρανσης ο ρυθμός μειώνεται. Αυτό πιθανά οφείλεται στην εκτεταμένη πρόσληψη στερεών που συμβαίνει όταν έχει γίνει προκατεργασία με PEF, οπότε και δημιουργείται πιο εύκολα κρούστα, η οποία μετά από ένα στάδιο δυσχεραίνει την ξήρανση (Achanta & Okos 1996). Οι Ade-Omowaye et al. (2003) μελέτησαν την επίδραση της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση στην ξήρανση με αέρα κόκκινης πιπεριάς. Όπως αναφέρουν, η προκατεργασία με PEF ενισχύει τον αρχικό ρυθμό ξήρανσης, σε σχέση με τον ρυθμό του ανεπεξεργαστοί δείγματος, γι' αυτό και προτείνεται ως προκατεργασία της ξήρανσης για την παραγωγή προϊόντων ενδιάμεσης υγρασίας.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνολικοί χρόνοι επεξεργασίας που απαιτούνται για να επιτευχθεί μείωση της υγρασίας κατά 80% κατά την ξήρανση με αέρα σε θερμοκρασία 55°C.

**Πίνακας 5.46.** Συνολικός χρόνος επεξεργασίας για μείωση της υγρασίας κατά 80%, για δείγματα κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (CONTROL), για δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με PEF (PEF), για δείγματα που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

Δείγμα	Συνολικός Χρόνος Επεξεργασίας (min)
CONTROL	525
PEF	462
OSM	473
OSM_PEF	383

Ο συνολικός χρόνος στην περίπτωση των ωσμωμένων δειγμάτων αντιστοιχεί στον χρόνο ώσμωσης (120min) και στον χρόνο ξήρανσης. Τελικά, παρατηρείται ότι η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία οδηγεί σε μείωση του χρόνου επεξεργασίας κατά περίπου 60min, η ωσμωτική αφυδάτωση οδηγεί σε μείωση του συνολικού χρόνου κατά περίπου 50min ενώ ο συνδυασμός προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτικής αφυδάτωσης οδηγεί σε μείωση του χρόνου συνολικής επεξεργασίας κατά 140min. Παρότι ο ρυθμός ξήρανσης των ωσμωμένων δειγμάτων δεν μεταβάλλεται, ο συνολικός χρόνος που απαιτείται στα δείγματα που έχουν υποστεί προκατεργασία με παλμικά πεδία είναι μικρότερος. Αυτό οφείλεται, στη διαφορετική υγρασία των δειγμάτων μετά την ώσμωση που στην περίπτωση των ωσμωμένων δειγμάτων είναι 63% της αρχικής, ενώ στην περίπτωση της ώσμωσης μετά από προκατεργασία με PEF είναι 57% της αρχικής υγρασίας.

Στο στάδιο αυτό μελετήθηκε το τελικό προϊόν της ξήρανσης, στο οποίο δεν παρατηρείται περαιτέρω μείωση βάρους, ως προς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά.

**Πίνακας 5.47.** Τιμές υγρασίας και ενεργότητας μετά από ξήρανση στους 55°C για 18h, για δείγματα κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (CONTROL), για δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με PEF (PEF), για δείγματα που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

Δείγμα	Υγρασία	$a_w$
CONTROL	11,41%	0,4383
PEF	12,00%	0,4429
OSM	15,34%	0,2638
OSM_PEF	16,60%	0,2674

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι τα προϊόντα της ξήρανσης που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση έχουν σημαντικά χαμηλότερη ενεργότητα σε σχέση με αυτά που δεν έχουν υποστεί ώσμωση, ανεξάρτητα με το εάν έχουν επεξεργαστεί με παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Ταυτόχρονα, η υγρασία των προϊόντων αυτών είναι μεγαλύτερη, χαρακτηριστικό που οδηγεί σε μια πιο «φρέσκια» εικόνα του προϊόντος. Αυτό οφείλεται στα χαρακτηριστικά του ωσμωτικού μέσου, που οδηγεί σε χαμηλότερη ενεργότητα νερού, διατηρώντας το ποσοστό υγρασία υψηλό.

Παράλληλα μελετήθηκε η επίδραση της ξήρανσης στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος με σκοπό τη διερεύνηση δυνατοτήτων ανάπτυξης καινοτόμων αφυδατωμένων προϊόντων κολοκύθας.

**Πίνακας 5.48.** Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά μετά από ξήρανση στους 55°C, για δείγματα κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (CONTROL), για δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με PEF (PEF), για δείγματα που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM), για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM) και για δείγμα φρέσκια κολοκύθας (UNTREATED).

Δείγμα	Colour			Σκληρότητα- Fmax (N)	Συνολική Εντύπωση
	$L^*$	$a^*$	$b^*$		
UNTREATED	58,21±1,36 <sup>a</sup>	33,84±0,65 <sup>ac</sup>	48,89±0,94 <sup>ab</sup>	11,5±2,1 <sup>a</sup>	8,3±0,6 <sup>a</sup>
CONTROL	56,08±0,84 <sup>b</sup>	24,49±1,38 <sup>b</sup>	47,03±1,20 <sup>a</sup>	37,55±2,13 <sup>b</sup>	6,3±0,4 <sup>b</sup>
PEF	59,23±0,94 <sup>a</sup>	33,31±1,31 <sup>ac</sup>	51,51±1,59 <sup>c</sup>	47,48±2,29 <sup>c</sup>	6,5±0,3 <sup>b</sup>
OSM	57,17±1,55 <sup>ab</sup>	32,19±0,43 <sup>a</sup>	49,19±0,68 <sup>ab</sup>	11,63±1,67 <sup>a</sup>	8,1±0,3 <sup>a</sup>
OSM_PEF	58,69±0,58 <sup>a</sup>	35,12±1,32 <sup>c</sup>	49,76±1,27 <sup>bc</sup>	10,75±1,28 <sup>a</sup>	8,2±0,5 <sup>a</sup>

± αντιπροσωπεύει το σφάλμα. Τα διαφορετικά υπερκείμενα γράμματα δείχνουν τη σημαντική διαφορά των δειγμάτων ( $p < 0.05$ ) μέσα στην ίδια κλώνα.

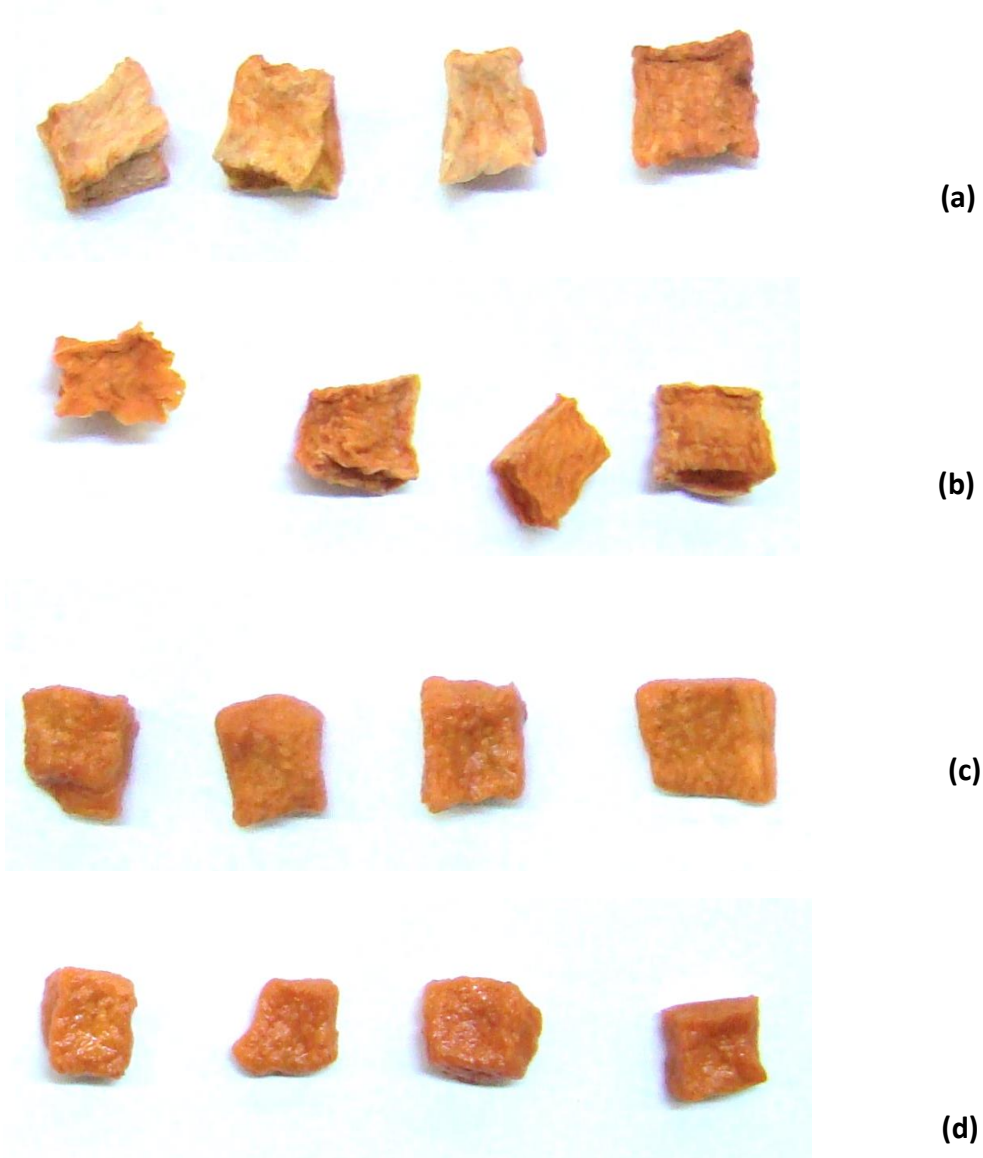
Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι η ξήρανση των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων έχει βελτιωμένα ποιοτικά αποτελέσματα σε σχέση με την ξήρανση στα προϊόντα χωρίς ώσμωση. Τα ωσμοαφυδατωμένα προϊόντα έγιναν πλήρως αποδεκτά από τους δοκιμαστές, οι οποίοι βαθμολόγησαν τη συνολική εντύπωση του προϊόντος πολύ θετικά. Ακόμη, η ωσμωτική προκατεργασία συμβάλλει στη διατήρηση της σκληρότητας των προϊόντων, η οποία δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά ( $p > 0.05$ ) με αυτή του φρέσκου δείγματος.

Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι η προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση βελτιώνει την ποιότητα των τελικών προϊόντων αφού μειώνει τη δομική κατάρρευση των φυτικών ιστών κατά τη διάρκεια της ξήρανσης (Del Valle et al. 1998, Lenart 1996, Simal et al. 1997) και ελαχιστοποιεί την απώλεια του χρώματος (Nsonzi & Ramaswamy 1998).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα σχετικά με το χρώμα, παρατηρείται μεταβολή της φωτεινότητας ( $L^*$ ) μεταξύ των δειγμάτων, η οποία δεν είναι σημαντική όταν έχει προηγηθεί επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία ή ωσμωτική αφυδάτωση. Στην περίπτωση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων η μεταβολή αυτή είναι σημαντική και ισοδυναμεί με μείωση της φωτεινότητας, που πιθανά οφείλεται στις αντιδράσεις αμαύρωσης που συμβαίνουν κατά την ξήρανση. Η μεταβολή του παράγοντα για το κόκκινο χρώμα,  $a^*$ , παρουσιάζει σημαντική μείωση στην περίπτωση των ξηραμένων δειγμάτων χωρίς προηγούμενη επεξεργασία. Όταν έχει προηγηθεί κατάλληλη μέθοδος προεπεξεργασίας, η παράμετρος  $a^*$ , δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Ο παράγοντας του κίτρινου χρώματος,  $b^*$ , παρουσιάζει μετρήσιμες μεταβολές χωρίς να εμφανίζει εξάρτηση από κάποια παράμετρο της διεργασίας.

Αντίστοιχα αποτελέσματα για την μεταβολή του χρώματος βρίσκονται βιβλιογραφικά. Οι Alibas et al. (2007), μελέτησαν την ξήρανση τεμαχισμένης κολοκύθας και παρατήρησαν σημαντική μείωση των παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$ . Ακόμη, οι Krokida et al. (2000) μελέτησαν την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης κατά την ξήρανση δειγμάτων μπανάνας και μήλου, και έδειξαν ότι δεν μαύρισαν όσο τα ανεπεξέργαστα δείγματα, ο παράγοντας  $L^*$  μειώθηκε, ενώ οι παράγοντες  $a^*$  και  $b^*$  αυξήθηκαν ελαφρώς.

Στην εικόνα 5.3. παρουσιάζονται οι φωτογραφίες των τελικών προϊόντων της ξήρανσης. Συγκρίνοντας τις φωτογραφίες των ανεπεξέργαστων δειγμάτων (a,b) και των δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση παρατηρείται ότι τα πρώτα έχουν υποστεί σημαντικά μεγαλύτερη συρρίκνωση, ενώ τα δεύτερα έχουν διατηρήσει την αρχική δομή τους.



**Εικόνα 5.3.** Δείγματα κολοκύθας μετά από ξήρανση στους 55°C για 18h, χωρίς επεξεργασία (CONTROL), δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία με PEF (PEF), δείγματα που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

Η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία φαίνεται να μην επηρεάζει κάποιο δείκτη ποιότητας εκτός του χρώματος. Αντίθετα, η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία λειτουργεί προστατευτικά ως προς τη μεταβολή του χρώματος κατά την ξήρανση με αέρα. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι η χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων επιτρέπει να κρατήσει στο τρόφιμο να διατηρήσει το χρώμα, την γεύση και τη διατροφική του αξία κατά την ξήρανσης (Qiu, Tuohela, Zhang 1997, Ruhlman, Jin, Zhang 2001).

Τελικά, η χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης πριν την ξήρανση με αέρα σε δείγμα κολοκύθας, προκαλεί μείωση του χρόνου επεξεργασίας και αύξηση των συντελεστών διάχυσης της υγρασίας. Η εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων προ της ωσμωτικής αφυδάτωσης ενισχύει την διεργασία της ώσμωσης και συμβάλει στην ταχεία ξήρανση του προϊόντος. Το τελικό προϊόν έχει χαμηλή ενεργότητα νερού και παρουσιάζει σημαντικά βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

## Κεφάλαιο 6: Σύνοψη Αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής αποτέλεσε η μελέτη της παραγωγής αφυδατωμένων προϊόντων κολοκύθας με τη χρήση εναλλακτικών μη θερμικών μεθόδων προκατεργασίας. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα κολοκύθας και ο συνδυασμός της με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και συμβατικής ξήρανσης με αέρα.

Κατά την **πρώτη θεματική ενότητα**, πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση σε φρέσκα τεμαχισμένα δείγματα κολοκύθας με σκοπό την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών της επεξεργασίας. Η επιλογή ενός πολυσυστατικού ωσμωτικού υλικού αποτέλεσε βασικό παράγοντα κατά τον πειραματικό σχεδιασμό, με στόχο τη μελέτη εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών όπως είναι οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (GOS) και ο όξινος ορός γιαουρτιού. Οι παράγοντες που μελετήθηκαν αφορούσαν τη μεταβολή της θερμοκρασίας (35-45-55°C), τον χρόνο επεξεργασίας (0-240 min), τη συγκέντρωση ωσμωτικού υλικού (5-10-15%w/w GOS) και το είδος του ωσμωτικού διαλύματος (ορός γιαουρτιού, νερό). Από τα παραπάνω προέκυψε ότι οι βέλτιστες συνθήκες για την ωσμωτική αφυδάτωση τεμαχισμένης κολοκύθας είναι σε ωσμωτικό μέσο με 40,0% γλυκερόλη, 32,5% όξινο ορό γιαουρτιού, 10% GOS, 10% τρεχαλόζη, 4% ασκορβικό οξύ, 2 % χλωριούχο νάτριο και 1,5% χλωριούχο ασβέστιο, για 2 ώρες (2 h), σε θερμοκρασία 55°C, με αναλογία ωσμωτικού μέσο προς τρόφιμο 1:5. Στις συνθήκες αυτές, επετεύχθη η μείωση της υγρασίας κατά 37% (Υγρασία: 59,96%), μείωση της ενεργότητας κατά 11,5% ( $a_w$ : 0,87), ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιούνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Στις συνθήκες αυτές δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή της οπτικής απόκρισης του δείγματος, ενώ η σκληρότητα αυξήθηκε κατά 20%. Παράλληλα, το ωσμοαφυδατωμένο προϊόν εμφανίζει σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης Βιταμίνης C ( $C_0=13,9\text{mg}/100\text{g} \rightarrow C_{\text{osm}}=810\text{mg}/100\text{g}$ ).

Η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών που πραγματοποιείται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση εκφράστηκε μέσω των συντελεστών διάχυσης  $D_{ew}$  και  $D_{es}$  που υπολογίστηκαν με βάση του 2ο νόμο του Fick και τις κατάλληλες παραδοχές (για πλάκα), κυμάνθηκαν μεταξύ  $2,699-3,974 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $2,509-5,589 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  αντίστοιχα, με τις μέγιστες τιμές να παρατηρούνται στις επιλεγμένες συνθήκες. Κατά την πειραματική μελέτη αποδείχθηκε ότι η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ( $p < 0.05$ ), ενώ η εξάρτηση των συντελεστών διάχυσης από τη θερμοκρασία περιγράφεται από την εξίσωση του Arrhenius, από όπου και προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης ( $E_a=15,0 \text{ kJ/mol}$ ) και οι συντελεστές διάχυσης απώλειας νερού ( $D_{\text{ref}_w}=2,992 \pm 0,323 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) και πρόσληψης στερεών ( $D_{\text{ref}_s}=3,505 \pm 0,361 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ) στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{\text{ref}} = 40^\circ\text{C}$ ). Η χρήση όξινου ορού γιαουρτιού έναντι νερού στο ωσμωτικό διάλυμα, ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και προκαλεί αύξηση του

συντελεστή διάχυσης για την πρόσληψη στερεών κατά 20% έναντι του αντίστοιχου συντελεστή διάχυσης για το ωσμωτικό μέσο με νερό.

Παράλληλα, εξετάσθηκε η αποτελεσματικότητα των γαλακτο-ολιγοσακχαριτών (GOS) ως εναλλακτικό ωσμωτικό υλικό και μελετήθηκε σε σχέση με τη χρήση ωσμωτικού μέσου με φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (FOS). Η χρήση FOS στο ωσμωτικό μέσο έχει ερευνηθεί εκτενώς, με σημαντικά αποτελέσματα στην κινητική των φαινομένων μεταφοράς μάζας (Angilelli et al. 2015, Giannakourou, Taoukis 2003, Nambiar, 2016, Rubio-Arrea et al. 2015, Dermesonliouoglou et al. 20016). Από τη συγκριτική μελέτη των δύο υλικών, προκύπτει ότι η χρήση GOS έναντι FOS δεν επηρεάζει την πρόσληψη στερεών, ενώ προκαλεί μικρή μείωση της απώλειας νερού. Επομένως, τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα και οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες μπορούν να αποτελέσουν ένα καινοτόμο ωσμωτικό υλικό, ενισχύοντας τη διατροφική αξία του προϊόντος.

Τέλος, κατά την πρώτη θεματική ενότητα, μελετήθηκε ο εμπλουτισμός των δειγμάτων κολοκύθας με γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες από το ωσμωτικό διάλυμα. Οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες επιλέχθηκαν ως εναλλακτικό ωσμωτικό μέσο, εξαιτίας της υψηλής διατροφικής τους αξίας ως διαιτητικές ίνες και πρεβιοτικά. Με βάση τη μελέτη της μεταβολής των ολιγοσακχαριτών στο ωσμωτικό διάλυμα προέκυψε ότι σε θερμοκρασία 55°C, κατά την πρώτη ώρα επεξεργασίας, πραγματοποιείται εμπλουτισμός του δείγματος με ποσότητα GOS που αντιστοιχεί στο 70% της αρχικής ποσότητας στο ωσμωτικό μέσο. Η περαιτέρω επεξεργασία δεν οδηγεί σε μεγαλύτερα ποσοστά πρόσληψης.

Κατά τη **δεύτερη θεματική ενότητα** μελετήθηκε η διατηρησιμότητα τεμαχισμένων δειγμάτων κολοκύθας μετά την κατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση (55 °C, 2h, 10%w/w GOS). Η μελέτη της διατηρησιμότητας έγινε σε δείγματα ανεπεξέργαστης κολοκύθας, σε δείγματα ωσμωμένης κολοκύθας σε ωσμωτικό μέσο με νερό και σε δείγματα ωσμωμένης κολοκύθας σε ορό γιαουρτιού. Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, προσδιορίστηκαν οι μικροβιακές αλλοιώσεις και οι ποιοτικές και οργανοληπτικές μεταβολές της φρεσκοκομμένης κολοκύθας και των ωσμωαφυδατωμένων προϊόντων σε ισοθερμοκρασιακές συνθήκες (ψύξης T=5 °C, 10 °C, 15 °C καθώς και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, T=25°C).

Από τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών και ποιοτικών αναλύσεων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των ανεπεξέργαστων δειγμάτων κολοκύθας, συμπεραίνεται ότι ο καθοριστικός παράγοντας της διατηρησιμότητας για την τεμαχισμένη κολοκύθα είναι η ολική μικροβιακή χλωρίδα. Συγκεκριμένα, ο χρόνος ζωής των ανεπεξέργαστων δειγμάτων, ορίζεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, και με εφαρμογή της εξίσωσης του Arrhenius βρίσκεται ότι ο χρόνος ζωής στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) είναι 8 ημέρες.

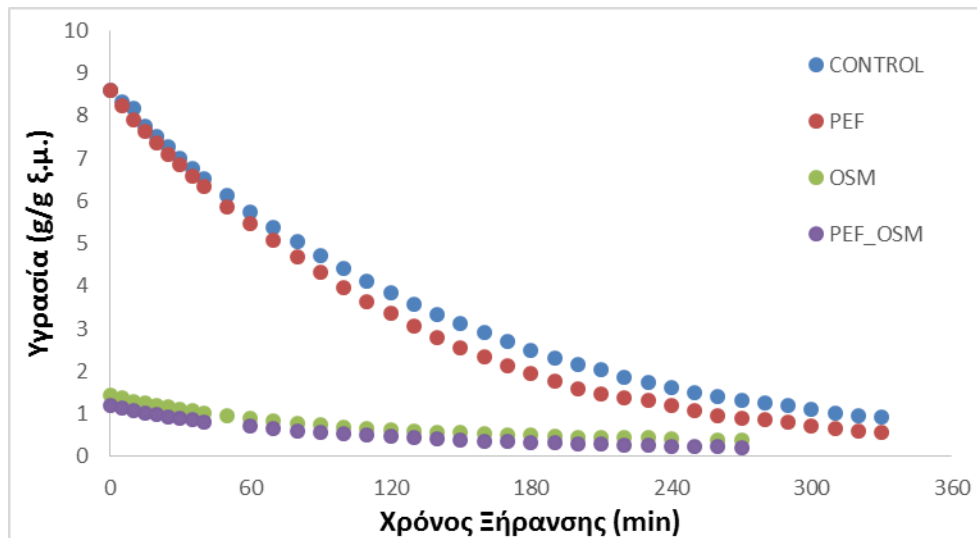


Μετά την ωσμωτική κατεργασία, το προϊόν εμφανίζει μη ανιχνεύσιμο μικροβιακό φορτίο, και σε συνδυασμό με τη χαμηλή ενεργότητα νερού των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων (0,87) και το χαμηλό pH ( $\approx 3,7$ ) δεν παρατηρείται ανάπτυξη μικροβιακού φορτίου κατά τη διάρκεια του πειράματος (90 ημέρες) ούτε σημαντική ποιοτική ή οργανοληπτική υποβάθμιση των δειγμάτων. Σαν αποτέλεσμα, η ωσμωτική αφυδάτωση επιτυγχάνει την επιμήκυνση του χρόνου ζωής των τεμαχισμένων δειγμάτων κολοκύθας κατά τουλάχιστον 80 ημέρες στη θερμοκρασία αναφοράς ( $T_{ref}=4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Κατά την **τρίτη θεματική ενότητα** μελετήθηκε η επίδραση που έχει η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία στην ωσμωτική αφυδάτωση ( $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2h, 10%w/w GOS, όξινος ορός γιαουρτιού). Η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία πριν τη ωσμωτική αφυδάτωση έχει αναφερθεί ότι προκαλεί μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά τη διάρκεια της αφυδάτωσης και βελτιώνει την ποιότητα των αφυδατωμένων προϊόντων (Ade-Omowaye et al. 2002, Lazarides, Nickolaides, Katsanidis 1995, Rastogi et al. 1999). Για την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών πραγματοποιήθηκε πείραμα μέτρησης του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, Z, όπου και υπολογίστηκε ότι η μέγιστη κυτταρική διάρρηξη ( $Z=1$ ) σε ένταση  $2\text{ kV/cm}$  πραγματοποιείται κατά την εφαρμογή 1500 παλμών ή ισοδύναμα για 0,01sec. Η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή απώλειας νερού κατά 3,7% και του συντελεστή πρόσληψης στερεών κατά 7% ( $D_{ew}=4,122\cdot 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ ,  $D_{es}=5,982\cdot 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ ). Παράλληλα, η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία προκαλεί ταχύτερη με' της ενεργότητας νερού, ενώ στις 2 h επεξεργασίας παρατηρείται μείωση της υγρασίας κατά 43% (Υγρασία: 54.7%) και μείωση της ενεργότητας νερού κατά 15% ( $a_w: 0,84$ ).

Στη συνέχεια, μελετήθηκε ο συνδυασμός της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία ( $2\text{ kV/cm}$ , 1500p) και της ωσμωτικής αφυδάτωσης ( $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2h, 10%w/w GOS, όξινος ορός γιαουρτιού), στην ξήρανση δειγμάτων κολοκύθας με αέρα ( $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ο συντελεστής διάχυσης νερού κατά την ξήρανση υπολογίστηκε με βάση του 2ο νόμο του Fick και με τις κατάλληλες παραδοχές (για πλάκα). Στο διάγραμμα 6.1. παρουσιάζεται η μεταβολή της υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η προκατεργασία με ωσμωτική κατεργασία οδηγεί σε σημαντικά αυξημένο συντελεστή διάχυσης ( $D_{eff}=1,69\cdot 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ ) σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα ( $D_{eff}=1,15\cdot 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ ) ( $p<0.05$ ). Ακόμη, η προκατεργασία με παλμικά πεδία οδηγεί σε μικρότερη αλλά μετρήσιμη αύξηση του συντελεστή διάχυσης  $D_{eff}=1,25\cdot 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$  και σε ταχύτερη απώλεια υγρασίας. Ο συνδυασμός της ωσμωτικής κατεργασίας με τη χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων δεν προκαλεί αύξηση του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας.



**Σχήμα 6.1.** Μεταβολή υγρασίας σε συνάρτηση με τον χρόνο ξήρανση, για δειγμάτια κολοκύθας χωρίς επεξεργασία (CONTROL), για δειγμάτια που έχουν υποστεί επεξεργασία με PEF (PEF), για δειγμάτια που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση (OSM) και για δειγμάτια που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF\_OSM).

Όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία, η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση οδηγεί σε αυξημένο ρυθμό ξήρανσης μόνο κατά τα πρώτα στάδια της ξήρανσης, ενώ ο ρυθμός μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος ξήρανσης (>3h). Ωστόσο, η αρχική τιμή υγρασίας στην περίπτωση των ωσμοαφυδατωμένων δειγμάτων είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή των ανεπεξέργαστων και συνεπώς ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη της ίδιας τιμής υγρασίας είναι πολύ μικρότερος. Ο συνδυασμός της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και της ωσμωτικής αφυδάτωσης, φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός αναφορικά με τον απαιτούμενο συνολικό χρόνο επεξεργασίας. Για τη μείωση της αρχικής υγρασίας του τροφίμου κατά 80%, ο απαιτούμενος χρόνος μειώνεται κατά 27% (383 min) σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δειγμάτια (525 min), και κατά 20% (473 min) σε σχέση με τα δειγμάτια που έχουν υποστεί μόνο ωσμωτική αφυδάτωση.

Τελικά, μελετήθηκε η επίδραση της ξήρανσης στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, όπου και βρέθηκε ότι η προκατεργασία με ώσμωση συμβάλει στη διατήρηση της αρχικής σκληρότητας των δειγμάτων ενώ η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία συμβάλει στην προστασία του χρώματος κατά την ξήρανση. Παράλληλα, κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο φάνηκε ότι οι δοκιμαστές δείχνουν σημαντική προτίμηση στα προϊόντα που έχουν υποστεί προκατεργασία με ώσμωση πριν από την ξήρανση.

Καταλήγοντας, ο στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγμα τεμαχισμένης κολοκύθας και ο συνδυασμός της με την τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και της ξήρανσης με αέρα για τη δημιουργία καινοτόμων αφυδατωμένων προϊόντων κολοκύθας μεσαίας και χαμηλής υγρασίας αντίστοιχα.

Κατά τη μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης έγινε αξιολόγηση της επίδρασης εναλλακτικών ωσμωτικών μέσων (γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες, όξινο ορό γιαουρτιού) στην κινητική της αντίδρασης και στην ποιότητα των ωσμοαφυδατωμένων προϊόντων. Ο εμπλουτισμός του τροφίμου με σάκχαρα και η μερική απώλεια νερού προκαλούν σημαντική αύξηση της διατηρησιμότητας της τεμαχισμένης κολοκύθας, ενώ οδηγούν σε ένα προϊόν με βελτιωμένες διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες. Η χρήση όξινου ορού γιαουρτιού έναντι νερού στο ωσμωτικό διάλυμα ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που συμβαίνουν κατά την ώσμωση, χωρίς να προκαλεί μικροβιολογική αλλοίωση ή ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος. Συνεπώς, η χρήση του όξινου ορού ως εναλλακτικό ωσμωτικό μέσο κρίνεται αποδοτική και η αξιοποίηση του κατά την ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα μελέτης, που οδηγεί σε θετικά αποτελέσματα, σχετικά με την επίλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούνται από τα απόβλητα της βιομηχανίας γιαουρτιού.

Κατά τη μελέτη της ξήρανσης της κολοκύθας, προέκυψε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση ενισχύει σημαντικά τον ρυθμό απώλειας υγρασίας, ενώ η προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία οδηγεί σε αύξηση των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Τελικά, ο συνδυασμός της προκατεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση σε ένα ωσμωτικό διάλυμα με γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες και όξινο ορό γιαουρτιού, πριν την ξήρανση με αέρα, ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και οδηγεί σε ένα προϊόν με βελτιωμένες διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία *προτείνονται* τα ακόλουθα:

- Μελέτη της διάρκειας ζωής και των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων κολοκύθας, που έχουν υποστεί προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, ωσμωτική αφυδάτωση και συμβατική ξήρανση με αέρα
- Ανάλυση κόστους και ενεργειακών απαιτήσεων για τη συνολική διεργασία της ξήρανσης, με προκατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ώσμωση
- Μελέτη της διαχείρισης του ωσμωτικού διαλύματος και εύρεση μιας κατάλληλης μεθόδου επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης του.



## **Βιβλιογραφία**

- Aachary, A. A., & Prapulla, S. G. «Value addition to spent osmotic sugar solution (SOS) by enzymatic conversion to fructooligosaccharides (FOS), a low calorie prebiotic» *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(2), 284–288, 2009.
- AAgata, P., «Osmotic Dehydration of Pumpkin in Starch Syrup», *Journal of fruit and ornamental plant research*, Vol. 17/(2), 107–113, 2009.
- Ade-Omowaye, B. I. O., Angersbach, A., Taiwo, K. A., & Knorr, D. «Use of pulsed electric field treatment to improve dehydration characteristics of plant based foods», *Trends in Food Science and Technology*, 12(2001), 285–295, 2001.
- Ade-Omowaye, B. I. O., Rastogi, N. K., Angersbach, A., & Knorr, D. «Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper.», *Journal of Food Engineering*, 60(1), 89–98, 2003.
- Ade-Omowaye, B.I.O, Rastogi, N.K, Angersbach, A. and Knorr, D., «Osmotic dehydration of bell peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment», *Journal of Food Engineering*, 54: 35 – 43, 2002.
- Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S., «Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 29–43, 2016.
- Ahvenainen, R. «New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables» *Trends Food Science and Technology* 7, 179-187, 1996.
- Akbarian, M., Ghasemkhani, N., & Moayedi, F., «Osmotic dehydration of fruits in food industrial : A review», *International Journal of Bioscience*, 3(12), 1–16, 2013.
- Alibas Ilknur, « Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices», *LWT- Food Science and Technology*, Volume 40, Issue 8, 1445–1451, 2007.
- Allende, A., Tomas-Barberan, F. A., & Gil, M. I. «Minimal processing for healthy traditional foods» *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 513–519, 2006.
- Al-Sheraji, S. H., Ismail, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., & Hassan, F. A. «Prebiotics as functional foods: A review» *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1542–1553, 2013.
- Alvarez I., «Commercial applications for PEF in the wine, olive oil and tomato industries», 3rd School on Pulsed Electric Field Processing of Food. Dublin: School Proceedings, 119-128, 2016.

- Amami, E. Vorobiev, E. and Kechaou, N., «Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field», *LWT — Food Science and Technology*, 39: 1014 – 1021, 2006.
- Amami, E., Fersi, A., Vorobiev, E. and Kechaou, N., «Osmotic dehydration of carrot tissue enhanced by pulsed electric field, salt and centrifugal force», *Journal of Food Engineering*, 83: 605 – 613, 2007.
- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A.B. and Vorobiev, E., «Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color», *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 26: 93 – 10, 2014.
- Amami, E., Fersi, A., Khezami, L., Vorobiev, E. and Kechaou, N., «Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field», *LWT – Food Science and Technology*, 40: 1156 – 1166, 2007.
- Amami, E., A., Khezami, L., Vorobiev, E. and Kechaou, N., «Effect of Pulsed Electric Field and Osmotic Dehydration Pretreatment on the Convective Drying of Carrot Tissue», *Drying Technology*, 26: 231-238, 2008.
- Angersbach, Alexander, Volker Heinz, and Dietrich Knorr, «Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems», *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 1.2, 135-149, 2000.
- Angilelli, Karina G., Juliane R. Orives, Hágata C. da Silva, Rodolfo L. Coppo, Ivanira Moreira, and Dionisio Borsato. “Multicomponent Diffusion during Osmotic Dehydration Process in Melon Pieces: Influence of Film Coefficient”, *Journal of Food Processing and Preservation* 39 (4):329-337, 2015.
- Arima, H. K., & Rodriguez-Amaya, D. B. «Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins», *Journal of Micronutrient Analysis*, 4, 177–191, 1988.
- Artés, F., & Allende, A. «Minimal fresh processing of vegetables, fruits and juices» *Emerging Technologies for Food Processing*, 677–716, 2005.
- Asavasanti S, Ersus S, Ristenpart W, Strove P, Barret DM. «Critical field strength of onions tissues treated by pulsed electric fields», *J. Food Sci.* 75:433–4, 2010.
- Assis, F. R., Morais, R. M. S. C., & Morais, A. M. M. B. «Osmotic dehydration with sorbitol combined with hot air convective drying of apple cubes», *Journal of Food Science and Technology*, 1–9, 2017.
- Atares, L., Sousa Gallagher, M. J., & Oliveira, F. A. R., «Process conditions effect on the quality of banana osmotically dehydrated», *Journal of Food Engineering*, 103(4), 401–408, 2011.

- Babalís, Stamatios J., et al., «Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*)», *Journal of Food Engineering* 75.2, 205-214, 2006.
- Badosa, E., Trias, R., Pares, D., Pla, M., & Montesinos, E. «Microbiological quality of fresh fruit and vegetable products in Catalonia (Spain) using normalised platecounting methods and real time polymerase chain reaction (QPCR).» *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(4), 605–611, 2008.
- Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N. Vorobiev, E. «Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry.» *Food Research International*, 77, 773–798, 2015.
- Barbosa-Canovas G.V., Gongora-Nieto M.M., Pothakamury U.R., Swanson B.G., « Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields», *Academic Press*, 1999.
- Barbosa-Canovas G.V., Vega-Mercado H. «Osmotic Dehydration. In: Dehydration of Foods», *Dehydration of Foods*. Springer, Boston, MA, 1996.
- Barry-Ryan, C., & O'Beirne, D. «Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method» *Journal of Food Science*, 63(5), 851–856, 1998.
- Barry-Ryan, C., Pacussi, J. M., and O'Beirne, D., «Quality of shredded carrots as affected by packaging film and storage temperature», *J. Food Sci.*65: 726–730, 2000.
- Barsotti, L., J. C. Cheftel, «Food processing by pulsed electric fields. II. Biological aspects», *Food Reviews International* 15.2, 181-213, 1999.
- Bchir B, Souhail Besbes, Romdhane Karoui, Hamadi Attia, Michel Paquot, Christophe Blecker, «Effect of Air-Drying Conditions on Physico-chemical Properties of Osmotically Pre-treated Pomegranate Seeds», *Food Bioprocess Technol*, 5:1840–185, 2012.
- Bekhit, A. E. D., & Oey, I. *Kiwifruit. Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging*, 479-502.
- Betoret, N., Puente, L., Daz, M. J., Pagan, M. J., García, M. J., Gras, M. L., Martínez-Monzo, J., & Fito, P. «Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation.» *Journal of Food Engineering*, 56, 273–277, 2003.
- Beuchat, L. R. «Pathogenic microorganisms associated with fresh produce», *J. Food Prot.* 59: 204–216, 1996.
- Biswal R.N., Bozorgmehr K., Tomokins F.D. & Liu X. «Osmotic concentration of green beans prior to freezing» *Journal of Food Science*, 1991.

- Bobinaite, R., Pataro, G., Lamanauskas, N., Šatkauskas, S., Viškelis, P. and Ferrari, G., «Application of pulsed electric field in the production of juice and extraction of bioactive compounds from blueberry fruits and their by-products», *Journal of Food Science and Technology*, 52 (9): 5898 – 5905, 2015.
- Brackett, R. E., «Microbiological Spoilage and Pathogens in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables», *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, pp. 269–312. Wiley, R. C., Ed., Chapman and Hall, New York, 1994.
- Brandl, M. T. «Fitness of human enteric pathogens on plants and implications for food safety». *Annual Review of Phytopathology*, 44, 367–392, 2006.
- Brecht, J. K., «Physiology of lightly processed fruits and vegetables», *Hort.Sci.* 301: 8–22., 1995.
- Castro-Giraldez M., Tylewicz U., Fito P.J., Rosa M.D. & Fito P. «Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration» *Journal of Food Engineering*, 2010.
- Chandrapala, J., Duke, M. C., Gray, S. R., Weeks, M., Palmer, M., & Vasiljevic, T. «Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature», *Separation and Purification Technology*, 160(7), 18–27, 2016.
- Chiralt, A., & Talens, P. «Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues», *Journal of Food Engineering*, 67(1–2), 167–177, 2007.
- Churey, J. J., & Splittstoesser, D. F. «Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables», *Journal of Food Protection*, 53(8), 701–703, 1990.
- Ciurzyńska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., & Lenart, A., «Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food» *Trends in Food Science and Technology*, 50, 186–192, 2016.
- Ciurzyńska, A., Lenart, A., & Greda, K. J. «Effect of pre-treatment conditions on content and activity of water and colour of freeze-dried pumpkin», *LWT - Food Science and Technology*, 59(2P1), 1075–1081, 2014.
- Contreras E., Smyrl T.G., «An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions», *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14, pp. 310-314, 1981.
- Costa Ribeiro, A. S., Aguiar-Oliveira, E., & Maldonado, R. R., «Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality», *LWT - Food Science and Technology*, 72, 407–415, 2016.
- Crittenden, R. G., & Playne, M. J., «Purification of food-grade oligosaccharides using immobilized cells of *Zymomonas mobilis*», *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58, 297–302, 2002.



- Da Silva, W. P., Do Amaral, D. S., Duarte, M. E. M., Mata, M. E. R. M. C., E Silva, C. M. D. P. S., Pinheiro, R. M. M., & Pessoa, T., «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, 2013.
- Dalla Rosa, M., & Giroux, F. «Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management», *Journal of Food Engineering*, 49(2–3), 223–236, 2001.
- De Gennaro S., Birch G.G., Parke S.A., Stancher B., «Studies on the physicochemical properties of inulin and inulin oligomers», *Food Chemistry*, 68, pp. 179-183, 2000.
- De Jong, P., Van Heesch, E. J. M., «Effect of pulsed electric fields on the quality of food products», *Milchwissenschaft*, 53(1), 4-8, 1998..
- De Vito, F., «Application of Pulsed Electric Field (PEF) Techniques in Food Processing», Ph.D. Course in Chemical Engineering. Department of Chemical and Food Engineering, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO, 2005.
- Deeth H.C., Datt N., Ross A.I.V. & Dam X.T. «Pulsed Electric Field Technology: Effect on Milk and Fruit Juices», *Advances in Thermal and Non-thermal Food Preservation*, Tewari G. & Juneja V.K. Blachwell Publishing, 2007.
- Del Nobile, M. A., Conte, A., Cannarsi, M., & Sinigaglia, M. «Use of biodegradable films for prolonging the shelf life of minimally processed lettuce» *Journal of Food Engineering*, 85(3), 317–325, 2008.
- Dermesonlouoglou Efimia K., Stella Pourgouri, Petros S.Taoukis, «Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber», *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 9, Issue 4, Pages 542-549, 2008.
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou M., Taoukis P.S., «Kinetic modelling of the degradation of quality of osmo-dehydrofrozen tomatoes during storage», *Food Chemistry*, Volume 103, Pages: 985-993, 2007.
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. «Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes», *Journal of Food Engineering*, 78(1), 272–280, 2007.
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M., Taoukis, P. S., «Kinetic modelling of the quality degradation of frozen watermelon tissue: Effect of the osmotic dehydration as a pre-treatment», *International Journal of Food Science and Technology* 42 (7):790-798, 2007.

- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M., & Taoukis, P. S., «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*, 212–221, 2016b.
- Dermesonlouoglou, E., Zachariou, I., Andreou, V., & Taoukis, P. S., «Effect of pulsed electric fields on mass transfer and quality of osmotically dehydrated kiwifruit», *Food and Bioproducts Processing*, 100, 535–544, 2016a.
- El-Aouar, Â. A., Azoubel, P. M., Barbosa, J. L., & Murr, F. E. X., «Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.)», *Journal of Food Engineering*, 75(2), 267–274, 2006.
- Ersus, S., Oztop, M. H., McCarthy, M. J., & Barrett, D. M. «Disintegration Efficiency of Pulsed Electric Field Induced Effects on Onion (*Allium cepa* L.) Tissues as a Function of Pulse Protocol and Determination of Cell Integrity by <sup>1</sup>HNMR Relaxometry», *Journal of food science*, 75(7), 2010.
- Fathi M., Mohebbi M. & Razavi S.M.A. «Application of Image Analysis and Artificial Neural Network to Predict Mass Transfer Kinetics and Color Changes of Osmotically Dehydrated Kiwifruit», *Food Bioprocess Technol*, 2011.
- Fellows P. «Dehydration» *Food Precessing Technology*. Cambridge: CRC Press, 2000.
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Gaspareto, O. C. P., & Oliveira, E. L., « Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying», *Food Research International*, 39(4), 492–498, 2006.
- Ferrando, M., & Spiess, W. E. L., «Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions», *Journal of Food Engineering*, 49(2–3), 115–127, 2001.
- Fischer C., Kleinschmidt T., «Synthesis of galactooligosaccharides using sweet and acid whey as a substrate», *International Dairy Journal*, Volume 48, Pages 15-22, 2015.
- Flink and T. P. Labuza, «Retention of 2-propanol at low concentration by freeze drying carbohydrate solutions» *J. Food Sci.* 37:617, 1972.
- Forni, E., Sormani, A., Scalise, S., & Torreggiani, D., «The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots», *Food Research International*, 30(2), 87–94, 1997.
- Froder, H., Martins, C. G., de Souza, K. L. O., Landgraf, M., Franco, B., & Destro, M. T. «Minimally processed vegetable salads: Microbial quality evaluation» *Journal of Food Protection*, 70(5), 1277–1280, 2007.
- Gachovska, T. K., Adedeji, A. A., Ngadi, M., & Raghavan, G. V. S. «Drying Characteristics of Pulsed Electric Field-Treated Carrot», *Drying Technology*, 26(10), 1244–1250, 2008.

- Gammariello, D., Conte, A., Di Giulio, S., Attanasio, M., & Del Nobile, M. a., «Shelf life of Stracciatella cheese under modified-atmosphere packaging», *Journal of Dairy Science*, 92(2), 483–490, 2009.
- Garcia, C. C., Mauro, M. A., & Kimura, M. « Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*) », *Journal of Food Engineering*, 82(3), 284–291, 2007.
- Garcia, Carolina Castilho, Maria Aparecida Mauro, and Mieko Kimura. "Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*)." *Journal of Food Engineering* 82.3, 284-291, 2007.
- García, M., Díaz, R., Martínez, Y., & Casariego, A. «Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya», *Food Research International*, 43(6), 1656–1660, 2010.
- Garcia-Martinez, E., Martinez-Monzo, J., Camacho, M. M., & Martinez-Navarrete, «Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation», *Food Research International*, 35, 307–313, 2002.
- Giannakourou M.C. & Taoukis P.S. 2003, «Kinetic modelling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions», *Food Chemistry Volume 83, Issue 1, Pages 33-41, 2003.*
- Giannakourou, M. C., and P. S. Taoukis. «Stability of dehydrofrozen green peas pretreated with nonconventional osmotic agents», *Journal of Food Science* 68 (6):2002-2010, 2003.
- Giannioti A., Sacchetti G., Guerzoni M.F. & Dala Rosa M. «Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit» *J. Food Eng.*, 2001.
- Gibson, G. R. «Fibre and effects on probiotics (the prebiotic concept)», *Clinical Nutrition Supplements*, 1, 25–31, 2004.
- Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. «Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics», *Journal of Nutrition*, 125, 1401–1412, 1995.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A., «Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango», *Journal of Food Engineering*, 58(1), 33–43, 2003.
- Gomez-Lopez, V. M., Devileghere, F., Bonduelle, V., & Debevere, J). «Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life» *International Journal of Food Microbiology*, 103(1), 79–89, 2005.
- Goula, A. M., Kokolaki, M., & Daftsiou, E., «Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes», *Food and Bioproducts Processing*, 105, 157–170, 2017.

- Hawkes J., Flink J.M., «Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration», *J. Food Process. Preserv.* 2:265, 1978.
- Ho, S. Y., & Mittal, G. S., «Electroporation of cell membranes: a review», *Critical reviews in biotechnology*, 16(4), 349-362, 1996.
- Hourigan, J. A., Lifran, E. V., Vu, L. T. T., Listiohadi, Y., & Sleigh, R. W., «Lactose: chemistry, processing and utilization», G. W. Smithers, & M. A. Augustin (Eds.), *Advances in dairy ingredients* (pp. 31e69). Ames, IA, USA: Wiley-Blackwell, 2013.
- Huang K. & Wang J. «Designs of pulsed electric fields treatment chambers for liquid foods pasteurization process: a review» *J. Food Eng.*, 2009.
- Huerta-Vera, K., Flores-Andrade, E., Pérez-Sato, J. A., Morales-Ramos, V., Pascual-Pineda, L. A., & Contreras-Oliva, A., «Enrichment of Banana with *Lactobacillus rhamnosus* Using Double Emulsion and Osmotic Dehydration», *Food and Bioprocess Technology*, 10(6), 1053–1062, 2017.
- Ispir, A., & Tođrul, I. T., «Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters», *Chemical Engineering Research and Design*, 87(2), 166–180, 2009.
- Jacob, J. K., & Paliyath, G., «Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality», *Food Research International*, 45(1), 93–102, 2012.
- Jaeger, H., Balasa, A., & Knorr, D., «Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials», *Food Biotechnology*, 2009.
- Jager, H., Schossler, K. and Knorr, D., «Process – Induced Minimization of Mass Transfer Barriers for Improved Drying», Tsotsas, E. and Mujumdar, A.S. (eds), *Modern Drying Technology, Volume 5, Process Identification*. John Wiley & Sons. Chapter 7, 2014.
- Jeyamkondan, S., Jayas, D. S., & Holley, R. A., «Pulsed electric field processing of foods: a review», *Journal of food protection*, 62(9), 1088-1096, 1999.
- Kasper H., «Protection against gastrointestinal diseases — Present facts and future developments», *International Journal of Food Microbiology*, 41, pp. 127-131, 1998.
- Khan M.R., «Osmotic dehydration technique for fruits preservation—A review», *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22 (2), pp. 71-85, 2012.
- Khoyi, M. R., & Hesari, J., «Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution.», *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1355–1360, 2007.
- Kowalska, H., Lenart, A., & Leszczyk, D. «The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin», *Journal of Food Engineering*, 86(1), 30–38, 2008.

- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B., «Effect of Osmotic Dehydration on Color and Sorption Characteristics of Apple and Banana», *Drying Technology*, 18(4–5), 937–950, 2000.
- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D., «Drying kinetics of some vegetables», *Journal of Food Engineering*, 59(4), 391–403, 2003.
- Krokida, M. K., Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D., «Effect of Pretreatment on Color of Dehydrated Products», *Drying Technology*, 18(6), 1239–1250, 2000.
- Krokida, M. K., Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D., «Drying Related Properties of Apple», *Drying Technology*, 18(6), 1251–1267, 2000.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D., «The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products», *International Journal of Food Science and Technology*, 36(1), 53–59, 2001.
- Krokida, M., & Maroulis, Z., «Quality Changes During Drying of Food Materials», *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*, (December), 61–105, 2001.
- Labuza, T. P., «The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration», *Food Technology*, 34(JANUARY 1980), 36–41.
- Laura A. Ramallo, Rodolfo H. Mascheronill, «Rate of water loss and sugar uptake during the osmotic dehydration of pineapple», *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol.48 no.5, 2005.
- Lazarides H.N., «Osmotic pre-concentration: Developments and prospects», R.P. Singh, F.A.R. Oliveira (Eds.), *Minimal processing of foods and process optimization: An interface*, CRC Press, London, UK, 1994.
- Lazarides H.N., «Reasons and Possibilities to Control Solids Uptake during Osmotic Treatment of Fruits and Vegetables», *Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation. Applications in Food Industries.*, Chiralt A., Barat J.M., Spiess W.E.L. & Behnsilian D. Fito P., Technomic Publishing Co., 2001.
- Lazarides H.N., Katsanidis E., Nickolaides A., «Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake», *Journal of Food Engineering*, 35: 151-166, 1995.
- Leadley, C. E., & Williams, A., «Pulsed electric field processing, power ultrasound and other emerging technologies», *Food processing handbook*, 201-235, 2006.
- Leadley, C.E. and William, A., «Pulsed Electric Field Processing, Power Ultrasound and Other Emerging Technologies», Brennan, J.G., Grandison, A.S. (eds), *Food Processing Handbook*. 2nd edition. WILEY – VCH. Chapter 7, 2006.

- Lebovka, N. I., Praporscic, I., Ghnimi, S., & VAngersbach A., Heinz V. & Knorr D. Vorobiev, E., «Temperature enhanced electroporation under the pulsed electric field treatment of food tissue», *Journal of food engineering*, 69(2), 177-184, 2005.
- Lee, J. S., & Lim, L. S., «Osmo-dehydration pretreatment for drying of pumpkin slice», *International Food Research Journal*, 18(4), 1223–1230, 2011.
- Lelieveld, H. L., Notermans, S., & De Haan, S. W. H. (Eds.). *Food preservation by pulsed electric fields: from research to application*. Elsevier, 2007.
- Lenart A.& Flink J.M., «Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process», *J. Food Technol.* 19:45, 1984.
- Lenart, A., «Mathematical modelling of osmotic dehydration of apple and carrot», *Polish Journal of Food Nutrition Science*, 1 pp. 1-33, 1992.
- Lenart, A., «Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application», *Drying Technology*, 14(August), 391–413, 1996.
- Lucera, A., Şimşek, F., Conte, A., & Del Nobile, M. A., «Minimally processed butternut squash shelf life», *Journal of Food Engineering*, 113(2), 322–328, 2012.
- Lyu, J., Yi, J., Bi, J., Chen, Q., Zhou, L., & Liu, X., «Effect of sucrose concentration of osmotic dehydration pretreatment on drying characteristics and texture of peach chips dried by infrared drying coupled with explosion puffing drying», *Drying Technology*, 3937(September), 2017.
- Mandala, I. G., Anagnostaras, E. F., & Oikonomou, C. K., «Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics», *Journal of Food Engineering*, 69(3), 307–316, 2005.
- Matusek, A., Czukor, B., & Mersz, P., «Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(3), 365–373, 2008.
- Mavroudis N.E., Gekas V., Sjöholm I. «Osmotic dehydration of apples-Effects of agitation and raw material characteristics» *J. of Food Eng.*, 1998.
- Mayor, L., Cunha, R. L., & Sereno, A. M., «Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin», *Food Research International*, 40(4), 448–460, 2007.
- Mayor, L., Moreira, R., & Sereno, A. M., «Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits», *Journal of Food Engineering*, 103(1), 29–37, 2011.

- Mayor, L., Moreira, R., Chenlo, F., & Sereno, A. M., «Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions», *Journal of Food Engineering*, 74(2), 253–262, 2006.
- Mohamed, M. and Amer – Eissa, A.H., «Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology», Amer – Eissa, A.H. (ed), *Structure and Function of Food Engineering*. INTECH. Chapter 1, 2012.
- Moreira R, Chenlo F, Torres MD, Vazquez G., «Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions», *LWT-Food Science and Technology* 40, 1507-1514, 2007.
- Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., & Serra, J. A., «Effect of blanching / osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries», *Food Research International*, 33, 2000.
- Mussatto, S. I., & Mancilha, I. M., «Non-digestible oligosaccharides: A review», *Carbohydrate Polymers*, 68(3), 587–597, 2007.
- Nguyen-the, C., Carlin, F. «The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables», *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34, 371-401, 1994.
- Oliveira, M., Usall, J., Viñas, I., Anguera, M., Gatus, F., & Abadias, M., «Microbiological quality of fresh lettuce from organic and conventional production», *Food Microbiology*, 27(5), 679–684, 2010.
- Orikasa, Takahiro, et al., «Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying», *Journal of Food Engineering* 85.2, 303-308, 2008.
- Osorio, C., Sofía, M., Paola, M., González-miret, M. L., Heredia, F. J., & Lucía, A., «Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits», *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8 (2007) 353–359, 2007.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B., «Effect of Osmotic Agent on Osmotic Dehydration of Fruits», *Drying Technology*, 17(1–2), 175–189, 1999.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B., «Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits», *International Journal of Food Science & Technology*, 33(3), 267–284, 1998.
- Parniakov, O., Bals, O., Lebovka, N., & Vorobiev, E. «Pulsed electric field assisted vacuum freeze-drying of apple tissue», *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 35, 52-57, 2016.
- Phisut, N., «Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits», *International Food Research Journal*, 19 (1), pp. 7-18, 2012.

- Picart, L., & J. C. Cheftel, «Pulsed electric fields», *Food preservation techniques*. CRC Press, Boca Raton, FL: 360-427, 2003.
- Ponce A.G., Roura S.I., C.E. del Valle, R. Fritz, «Characterization of native microbial population of Swiss chard (*Beta vulgaris*, type cicla)» *LWT-Food Science and Technology*, 35 (4), pp. 331-337, 2002.
- Ponting J.D., Watters G.G., Forrey R.R., R. Jackson and W. L. Stanley, «Osmotic dehydration of fruits», *Food Technol.* 20(10):125, 1966.
- Ponting, J.D., «Osmotic dehydration of fruits--Recent modifications and applications», *Process Biochem.*, 12: 18, 1973.
- Ponting, J.D., Waters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., and Stanley, W.L., «Osmotic dehydration of fruits», *Food Technol.* 20: 125, 1966.
- Praporscic, Iurie, Veaceslav Muravetchi, and Eugene Vorobiev, «Constant rate expressing of juice from biological tissue enhanced by pulsed electric field», *Drying technology* 22.10, 2395-2408, 2004.
- Puertolas E., Luengo E., Ivarez I.A., Raso J., « Improving Mass Transfer to Soften Tissues by Pulsed Electric Fields: Fundamentals and Application», *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 3:263–82, 2012.
- Qiang, X., YongLie, C., & QianBing, W., «Health benefit application of functional oligosaccharides», *Carbohydrate Polymers*, 77(3), 435–441, 2009.
- Qin B.L., Pothakamury U.R., Vega-Mercado H., Martin-Belloso O.M., Barbosa-Canovas G.V. & Swanson B.G. «Food pasteurisation using high-intensity pulsed electric fields.» *Food Technology*, 1995.
- Raghavan, G. S. V., & Silveira, A. M., «Shrinkage Characteristics of Strawberries Osmotically Dehydrated in Combination with Microwave Drying», *Drying Technology*, 19(2), 405–414, 2001.
- Rahman M.S. & Labuza T.P. «Water Activity and Food Preservation», *Handbook of Food Preservation*, Rahman M.S. New York: CRC Press, 2007.
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M., «Fresh fruits and vegetables - An overview on applied methodologies to improve its quality and safety», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 1–15, 2013.
- Rao V., «The prebiotic properties of oligofructose at low intake levels», *Nutrition Research*, 21, pp. 843-848, 2001.
- Raoult-Wack, A. L., «Recent advances in the osmotic dehydration of foods», *Trends in Food Science and Technology*, 5(8), 255–260, 1994.



- Raso, J., Frey, W., Ferraric, G., Pataro, G., D. Knorr, D., Teissief, J. and Miklavčič, D., «Electroporation and Pulsed Electric Fields in Bio- and Food Technologies» *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37: 312 – 321, 2016.
- Rastogi, N. K., & Raghavarao, K. S. M. S., «Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: Considering Fickian diffusion in cubical configuration», *LWT - Food Science and Technology*, 37(1), 43–47, 2004.
- Rastogi, N. K., M. N. Eshtiaghi, and D. Knorr., «Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots», *Journal of Food Science* 64.6, 1020-1023, 1999.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., & Knorr, D., «Recent developments in osmotic dehydration : methods to enhance mass transfer», *Trends in Food Science & Technology* 13, 48–59, 2002.
- Rastogi, N. K., Suguna, K., Nayak, C. A., & Raghavarao, K. S. M. S., «Combined effect of  $\gamma$ -irradiation and osmotic pretreatment on mass transfer during dehydration.», *Journal of Food Engineering*, 77(4), 1059–1063, 2006.
- Rivero-Urgell, M., & Santamaria-Orleans, A. «Oligosaccharides:Application in infant food.», *Early Human Development*, 65, S43–S52, 2001.
- Roberfroid, M., & Slavin, J., «Nondigestible oligosaccharides. Critical Reviews», *Food Science and Nutrition*, 40, 461–480, 2000.
- Rodrigues, A. C. C., Cunha, R. L., & Hubinger, M. D., «Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing», *Journal of Food Engineering*, 59(2–3), 129–135, 2003.
- Roller, S., & Seedhar, P., «Carvacrol and cinnamic acid inhibit microbial growth in fresh-cut melon and kiwifruit at 4° and 8°C», *Letters in Applied Microbiology*, 35(5), 390–394, 2002.
- Rubio-Arreaz, S., Capella, J. V., Ortolá, M. D., & Castelló, M. L. «Modelling osmotic dehydration of lemon slices using new sweeteners», *International Journal of Food Science & Technology*, 50(9), 2046–2051, 2015.
- Sako, T., Matsumoto, K., & Tanaka, R., «Recent progress on research and applications of non-digestible galacto-oligosaccharides», *International Dairy Journal*, 9(1), 69–80, 1999.
- Sanchez, G., Elizaquivel, P., & Aznar, R. «A single method for recovery and concentration of enteric viruses and bacteria from fresh-cut vegetables», *International Journal of Food Microbiology*, 152(1–2), 9–13, 2012.

- Sánchez-Vega, R., Elez-Martínez, P. and Martín-Belloso, O., «Influence of high-intensity pulsed electric field processing parameters on antioxidant compounds of broccoli juice», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29: 70 – 77, 2015.
- Sanz S., M. Gimenez, C. Olarte, C. Lomas, J. Portu, «Effectiveness of chlorine washing disinfection and effects on the appearance of artichoke and borage», *Journal of Applied Microbiology*, 93 (6), pp. 986-993, 2002.
- Saulis, G., «Electroporation of cell membranes: The fundamental effects of pulsed electric fields in food processing», *Food Engineering Reviews*, 2(2), 52–73, 2010.
- Scolari, G., & Vescovo, M., «Microbial antagonism of *Lactobacillus casei* added to fresh vegetables», *Italian Journal of Food Science*, 16(4), 465–475, 2004.
- Selma, M. V., Allende, A., Lopez-Galvez, F., Conesa, M. A., & Gil, M. I. «Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for the fresh-cut vegetable industry», *Food Microbiology*, 25(6), 809–814, 2008.
- Sereno, A. M., Moreira, R., & Martinez, E., «Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt», *Journal of Food Engineering*, 47(1), 43–49, 2001.
- Silva C. L.M., Goncalves E. M. & Brandao T. R.S. «Freezing of Fruits and Vegetables», *Frozen Food Science and Technology*, Evans J.A. Blackwell Publishing, 2008.
- Silva, K. S., Fernandes, M. A., & Mauro, M. A., *Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple», Journal of Food Engineering*, 134, 37–44, 2014.
- Singh, B., Kumar, A., & Gupta, A. K., «Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes», *Journal of Food Engineering*, 79(2), 471–480, 2007.
- Sinjitha S. Nambiar, Anindya Basu, Nandini P. Shetty, Navin K. Rastogi, S.G. Prapulla, «Infusion of fructooligosaccharide in Indian gooseberry (*Emblica officinalis*) fruit using osmotic treatment and its effect on the antioxidant activity of the fruit», *Journal of Food Engineering*, Volume 190, Pages: 139-146, 2016.
- Smithers, G. W., «Whey-ing up the options - Yesterday, today and tomorrow», *International Dairy Journal*, 48, 2–14, 2015.
- Soliva-Fortuny, R. C., & Martín-Belloso, O., «New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: A review», *Trends in Food Science and Technology*, 14(9), 341–353, 2003.
- Soliva-Fortuny, R., Balasa, A., Knorr, D., & Martín-Belloso, O., «Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review», *Trends in Food Science & Technology*, 544–556, 2009.

- Steer, Carpenter, Tuohy, & Gibson, «Perspectives on the role of the human gut microbiota and its modulation by pro- and prebiotics», *Access Volume 13, Issue 2 December 2000*, pp. 229-254.
- Taiwo, K. A., Eshtiaghi, M.N., Ade-Omowaye, B.I.O and Knorr, D., «Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics», *International Journal of Food Science & Technology*, 38 (6): 693 – 707, 2003.
- Taiwo, K.A., Angersbach, A. and Knorr, D., « Effects of Pulsed Electric Field on quality factors and mass transfer during osmotic dehydration of apples», *Journal of Food Process Engineering*, 26 (1): 31 – 48, 2003.
- Teissie, J., Eynard, N., Vernhes, M. C., Benichou, A., Ganeva, V., Galutzov, B., & Cabanes, P. A., «Recent biotechnological developments of electropulsation. A prospective review», *Bioelectrochemistry*, 55(1), 107-112, 1998.
- Thalerngnawachart, S., & Duangmal, K. «Influence of humectants on the drying kinetics, water mobility, and moisture sorption isotherm of osmosed air-dried papaya», *Drying Technology*, 34(5), 574-583, 2016.
- Therdthai, N., Zhou, W., & Pattanapa, K. «Microwave vacuum drying of osmotically dehydrated mandarin», *International journal of food science & technology*, 46(11), 2401-2407, 2011.
- Tobergte, D. R., & Curtis, S., «Handbook of Food Preservation», *Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53)*, 2013.
- Toepfel S., Heinz V.& Knorr D., «Potential of high hydrostatic pressure and pulsed electric fields for energy efficient and enviromentally friendly food processing» *Food Rev. Int.*, 2006.
- Toepfl S., «Current industrial applications of Pulsed Electric Fields», *3rd School on Pulsed Electric Field Processing of Food. Dublin: School Proceedings*, 2016. 129-131.
- Tomas-Barberan, F.A., Gil, M.I. «Improving the Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetables Products», *Woodhead Publishing, Cambridge, UK*, 2008.
- Torreggiani, D., & Bertolo, G., «Osmotic pre-treatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects», *Journal of Food Engineering*, 49(2–3), 247–253, 2001.
- Torreggiani, D., «Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing», *Food Research International*, 26(1), 59–68, 1993.
- Tortoe, C., «A review of osmodehydration for food industry», *African Journal of Food Science*, 4 (6), pp. 303-324, 2010.

- Tournas, V. H. «Moulds and yeasts in fresh and minimally processed vegetables, and sprouts» *International Journal of Food Microbiology*, 99(1), 71–77, 2005.
- Vega – Mercado, H., Gongora – Nieto, M.M., Barbosa – Canovas, G.V. and Swanson, B.G., «Pulsed Electric Fields in Food Preservation», Rahman, M.N. (ed), (2007). *Handbook of Food Preservation*. 2nd edition. CRC Press. Chapter 33, 2007.
- Vega – Mercado, H., Martin – Beloso, O., Qin, B.L., Chang, F. J., Gongora – Nieto, M.M., Barbosa – Canovas, G.V. and Swanson, B.G., «Non-thermal food preservation: Pulsed electric fields», *Trends in Food Science & Technology*, 8: 151 – 157, 1997.
- Vial, C., S. Guilbert, and J. L. Cuq. «Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content», *Sciences des aliments* 11.1, 63-84, 1991.
- Voragen, A. G. J., «Technological aspects of functional food-related carbohydrates», *Trends in Food Science & Technology*, 9, 328–335, 1998.
- Welti-Chanes, J., Lopez-Malo, A., Palou, E., Bermudez, D., Guerrero-Beltran, J. A., & Barbosa-Canovas, G. V., «Fundamentals and applications of high pressure processing to foods.», *Novel food processing technologies*, 157-181, 2005.
- Wiktor, A., Iwaniuk, M., Śledź, M., Nowacka, M., Chudoba, T., & Witrowa-Rajchert, D., «Drying Kinetics of Apple Tissue Treated by Pulsed Electric Field», *Drying Technology*, 31(1), 112–119, 2013.
- Wiktor, A., Schulz, M., Voigt, E., Witrowa – Rajchert, D. and Knorr, D., «The effect of pulsed electric field treatment on immersion freezing, thawing and selected properties of apple tissue», *Journal of Food Engineering*, 146: 8 – 16, 2015.
- Wiktor, A., Śledź, M., Nowacka, M., Chudoba, T., & Witrowa-Rajchert, D., «Pulsed Electric Field Pretreatment for Osmotic Dehydration of Apple Tissue: Experimental and Mathematical Modeling Studies», *Drying Technology*, 32(4), 408–417, 2014.
- Wiktor, A., Nowacka, M., Dadan, M., Rybak, K., Lojkowski, W., Chudoba, T. and Witrowa-Rajchert, D., «The effect of pulsed electric field on drying kinetics, color, and microstructure of carrot», *Drying Technology*, 34: 1286 – 1296, 2016.
- Wiktor, A., Śledź, M., Nowacka, M., Rybak, K., Chudoba, T. and Lojkowski, W., «The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30: 69 – 78, 2015.

- Woonton, B. W., Kulozik, U., De Silva, K., & Smithers, G. W., «Modern chromatographic separation technologies for isolation of dairy ingredients», G. W. Smithers, & M. A. Augustin (Eds.), *Advances in dairy ingredients* (pp. 137-159). Ames, IA, USA: Wiley-Blackwell, 2013.
- Yadav, A. K., & Singh, S. V., «Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review», *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1654–1673, 2014.
- Yanbo Wang, «Prebiotics: Present and future» *Food science and technology*, Volume 42, Issue 1, Pages 8-12, January 2009.
- Yao, Z., & Le Maguer, M., «Mathematical Modelling and Simulation of Mass transfer in Osmotic Dehydration Processes. Part III: Parametric Study», *Journal of Food Engineering*, 8774(32), 33–46, 1997.
- Zaritsky A., Horswitz M., Chernow B., «Glucagon antagonism of calcium channel blocker-induced myocardial dysfunction», *Crit Care Med*, 16, pp. 246-251, 1988.
- Zhou, C. L., Liu, W., Zhao, J., Yuan, C., Song, Y., Chen, D., Li, Q. H., «The effect of high hydrostatic pressure on the microbiological quality and physical-chemical characteristics of Pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) during refrigerated storage», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 21, 24–34, 2014.
- Zimmermann U, Pilwat G, Riemann F., «Dielectric breakdown of cell membranes», *Biophys. J.* 14:881–99, 1974.