



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Εφαρμογή τεχνολογίας εμποδίων για την
παρασκευή προϊόντων με βελτιωμένα
χαρακτηριστικά και αυξημένη διατηρησιμότητα»**

MSc Thesis

**“Implementation of hurdle technology for the
generation of products with improved quality and
increased shelf life”**

Διευθυντής

Καθ. Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων (ΠΑ.Δ.Α) Ιωάννης Τσάκνης



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Θάνου Ιωάννα

Thanou Ioanna

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Γιαννακούρου Μαρία

Giannakourou Maria

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2021



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science
FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc Thesis

**“Implementation of hurdle technology for the
generation of products with improved quality and
increased shelf life”**

NAME OF STUDENT

Thanou Ioanna

ioannavthanou@gmail.com

NAME OF THE SUPERVISOR

Giannakourou Maria

AIGALEO 2021

Έγινε δεκτή

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο «**Εφαρμογή τεχνολογίας εμποδίων για την παρασκευή προϊόντων με βελτιωμένα χαρακτηριστικά και αυξημένη διατηρησιμότητα**» που παρουσιάστηκε από τον ή την **ΘΑΝΟΥ ΙΩΑΝΝΑ**, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην **ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

05/03/2021

Όνομα επιβλέποντος

Γιαννακούρου Μαρία

Ημερομηνία

05/03/2021

Όνομα μέλους επιτροπής

Σινάνογλου Βασιλεία

Ημερομηνία

05/03/2021

Όνομα μέλους επιτροπής

Στρατή Ειρήνη

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Θάνου Ιωάννα** του **Βασίλη**, με αριθμό μητρώου **19005** φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών **Καινοτομία, Ποιότητα και Ασφάλεια Τροφίμων** του Τμήματος **Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων** της Σχολής **Επιστημών Τροφίμων** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Η Δηλούσα

Θάνου Ιωάννα



Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Θάνου Ιωάννα

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Δρ. Μαρία Γιαννακούρου για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε, καθώς και την υποστήριξη και εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Γιώργο Κατσαρό και την ομάδα του Εργαστηρίου Μηχανικής Τροφίμων του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Αγροτικών Προϊόντων του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ που μου επέτρεψαν να εργασθώ στο χώρο του εργαστηρίου και μου παρείχαν πολύτιμη αρωγή κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Ιδιαίτερα ευχαριστώ την Δρ Βάνα Ανδρέου, η συμβολή της όποιας ήταν καταλυτική για την εκπόνηση της εργασίας, τόσο μέσω της καθοδήγησης της κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, όσο και της βοήθειας και των συμβουλών που μου προσέφερε κατά τη συγγραφή της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για τη στήριξη και συμπαράσταση που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Τα σύκα, από την αρχαιότητα έως και σήμερα, αποτελούν φρούτα που καταναλώνονται ευρέως και χαίρουν μεγάλης αποδοχής από τους καταναλωτές λόγω των ευεργετικών τους ιδιοτήτων και των ιδιαίτερων οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών. Είναι, όμως, πολύ ευαλλοιώτα και η διάρκεια ζωής τους είναι σύντομη. Για αυτό το λόγο, υπήρχε ανέκαθεν η ανάγκη συντήρησής τους εφαρμόζοντας κάποια κατάλληλη μέθοδο. Η παραδοσιακή τεχνική συντήρησής τους είναι η ξήρανση, είτε με έκθεση στον ήλιο, είτε τεχνητά σε ξηραντήρες με ρεύμα αέρα, που επιφέρει μείωση της ενεργότητας ύδατος τους, με αποτέλεσμα την αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης και των αντιδράσεων υποβάθμισης. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου, ωστόσο, αποτελεί το γεγονός ότι επιφέρει σημαντικές μεταβολές στην υφή των σύκων, καθιστώντας τα πολύ σκληρά και πολλές φορές μη αποδεκτά από τους καταναλωτές. Λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει η εφαρμογή κάποιας προεπεξεργασίας πριν την ξήρανση. Μια τέτοια προεπεξεργασία είναι η ωσμωτική αφυδάτωση, που δεν επιφέρει θερμική καταστροφή και συγκρατεί τα θρεπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου σε μεγάλο βαθμό.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτά, αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής εργασίας αποτέλεσε η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προεπεξεργασίας της ξήρανσης σύκων σε ρεύμα αέρα, με σκοπό την παραγωγή ενός προϊόντος με βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, έναντι των συμβατικών αποξηραμένων σύκων.

Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε πλήρες κινητικό πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης σε σύκα Κύμης, προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστες παράμετροι στις οποίες πρέπει να λάβει χώρα η διεργασία. Σύκα Κύμης, βυθίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα διαφορετικών συγκεντρώσεων (80 και 95% γλυκερόλη και συνδυασμός γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης σε συγκέντρωση 40-40%) και η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συνολικό χρόνο 240 λεπτών, υπό ανάδευση. Μελετήθηκαν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και η μεταβολή της ενεργότητας ύδατος σε κάθε περίπτωση και προέκυψε ως βέλτιστη συνθήκη επεξεργασίας η εφαρμογή της θερμοκρασίας των 45°C και η χρήση ωσμωτικού διαλύματος συγκέντρωσης 80% γλυκερόλης. Λόγω εποχικότητας και έλλειψης διαθεσιμότητας των σύκων Κύμης δεν ακολούθησε ξήρανσή τους.

Για την ξήρανση χρησιμοποιήθηκαν μαύρα σύκα Μαρκοπούλου. Εφόσον είναι διαφορετικό είδος σύκου μελετήθηκαν κάποιες βασικές συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης για να βρεθούν και σε αυτή την περίπτωση οι βέλτιστες. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο, όπως στα σύκα Κύμης, και μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας

επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) και της διαφορετικής αναλογίας σύκου/διαλύματος (1/5 και 1/7), ενώ χρησιμοποιήθηκε ωσμωτικό διάλυμα 80% γλυκερόλης σε όλες τις περιπτώσεις. Ο συνολικός χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης σε αυτή την περίπτωση ήταν 300 λεπτά. Προέκυψε πως μεγαλύτερη απώλεια ύδατος και πρόσληψη στερεών αλλά και μικρότερη ενεργότητα ύδατος, παρουσιάστηκε στη θερμοκρασία επεξεργασίας των 45°C, σε αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, για χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 90 λεπτά και χρήση ωσμωτικού διαλύματος με συγκέντρωση γλυκερόλης 80%. Αυτές αποτέλεσαν τις βέλτιστες συνθήκες της επεξεργασίας.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία, σύκα Μαρκοπούλου που είχαν υποστεί ωσμωτική επεξεργασία και σύκα που δεν είχαν επεξεργαστεί, οδηγήθηκαν για ξήρανση σε ρεύμα αέρα σε θερμοκρασίες 50, 60 και 70°C και μελετήθηκε η μεταβολή της ενεργότητας ύδατός τους, της υφής και του χρώματός τους. Προέκυψε πως τα προεπεξεργασμένα σύκα παρουσίασαν πολύ μικρότερο χρόνο ξήρανσης σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Επιπλέον, εμφάνισαν πολύ πιο μαλακή υφή και βελτιωμένο χρώμα, λόγω της προκατεργασίας που είχαν υποστεί. Τέλος, αποξηραμένα δείγματα (επεξεργασμένα και μη) αποθηκεύτηκαν στους 25, 35 και 45°C για διάστημα 45 ημερών προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της υφής και του χρώματός τους. Προέκυψε πως η υφή των επεξεργασμένων δειγμάτων είναι βελτιωμένη κατά την αποθήκευσή τους, ενώ υπάρχει καλή διατήρηση του χρώματος στους 25°C.

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν κατά την έρευνα, συμπεραίνεται πως η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική προκατεργασία της ξήρανσης των σύκων σε ρεύμα αέρα, καθώς μειώνει το χρόνο ξήρανσης, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους, ενώ επιπλέον οδηγεί στην παραγωγή τελικού προϊόντος με βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, έναντι των συμβατικά αποξηραμένων σύκων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς τα σύκα που χρησιμοποιήθηκαν δεν προορίζονταν για διάθεση στην αγορά (β' διαλογής), επομένως η εφαρμογή της εν λόγω επεξεργασίας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα για την αξιοποίηση σύκων που πιθανόν θα οδηγούνταν για απόρριψη υπό άλλες συνθήκες.

Abstract

Since ancient times, fig fruits have been widely consumed, as they are a commodity of great acceptance by consumers, due to their beneficial properties and distinctive sensory characteristics. However, fresh figs are highly perishable and have a very short shelf life. Thus, it is necessary to find a suitable preservation method to prolong their shelf life. Drying is figs' traditional preservation method, and is frequently achieved either by sun drying or air-drying in a convective oven. Drying leads to a water activity decrease, resulting in the inhibition of microorganism growth and the delay of deterioration reactions. Nevertheless, drying leads to significant changes of product texture, causing hardening, resulting in decreased consumers acceptability. This can be alleviated by applying a pre-treatment prior to drying, such as osmotic dehydration (OD). OD is a non thermal processing that maintains the nutritional and quality characteristics of food to a large extent.

Taking all the above into consideration, the objective of this study concerns the implementation of OD as a pre-treatment of convectonal air-drying of figs, in order to create a dried final product of improved quality, compared to that of conventionally dried figs.

In this context, fresh "Kymi" figs were submitted to OD and their mass kinetics were studied, with the purpose of finding the optimum conditions where OD should be implemented. Figs were immersed in osmotic solution of different concentrations (80 and 95% glycerol and combination of glycerol-oligofructose in concentration of 40-40%). OD was performed in three different temperatures (25, 35 and 45°C) for a total time of 240 minutes, while stirring. Mass transfer phenomena and changes in water activity values were studied in each case. Results showed that the optimum process conditions are: 45°C temperature and 80% glycerol concentration in the osmotic solution. Due to the non availability of "Kymi" figs, due to their short seasonal harvest, subsequent drying was not applied for this species.

Drying was performed using figs of the culture "Black Markopoulo figs". Since this fig variety is different, OD had to be applied in some conditions, in order to define which is the optimum for this species. The OD process was performed in the same way as "Kymi" figs and the effect of different temperatures (25, 35 and 45°C) and different fig to solution mass ratio (1/5 and 1/7) was studied. In all cases, the osmotic solution consisted of 80% glycerol and total time of the OD process was 300 minutes. Higher water loss, solid gain, and water activity decrease, occurred at the temperature of 45°C, fig/solution mass

ratio of 1/5, total time of 90 minutes and osmotic solution of 80% glycerol concentration. These were the optimal processing conditions for “Markopoulo” figs.

In order to evaluate the effect of the OD pre-treatment, OD pre-treated and non pre-treated “Markopoulo” figs were submitted air-drying in a convective oven at temperatures of 50, 60 and 70°C. The changes in their water activity values, texture and color parameters were studied. It occurred that drying time of OD pre-treated figs was shortened compared to the non pre-treated samples. Furthermore, softer texture and improved color was achieved due to the pre-treatment. Finally, pre-treated and non pre-treated samples were stored at 25, 35 and 45°C for 45 days in order to examine the texture and color changes that take place during storage. Pre-treated samples showed improved texture during storage, while at 25°C color was also maintained.

Therefore, taking into account the results obtained during this research, it can be concluded that osmotic dehydration can be an effective pre-treatment in figs air-drying, since it substantially shortens drying time, resulting in saving energy and cost, while also improves the quality characteristics of the final dried product. This is particularly important, as the figs used were not intended for placing on the market, so the implementation of this processing presents significant advantages for the utilization of figs that would probably be discarded under other circumstances.

Περιεχόμενα

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας.....	IV
Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright.....	V
Ευχαριστίες	VI
Περίληψη.....	VII
Abstract	IX
Κατάλογος Πινάκων	XIII
Κατάλογος Εικόνων.....	XV
1. Εισαγωγή.....	1
2. Θεωρητικό υπόβαθρο	3
2.1. Το σύκο.....	3
2.1.1. Γενικά για το σύκο.....	3
2.1.2. Ιστορικό υπόβαθρο	4
2.1.3. Η καλλιέργεια του <i>Ficus carica</i>	5
2.1.4. Οικονομικά στοιχεία για την παραγωγή σύκων	8
2.1.5. Τα σύκα στην Ελλάδα.....	9
2.1.6. Διατροφική αξία και ευεργετικές επιδράσεις των σύκων στην υγεία	10
2.1.7. Σύσταση των σύκων.....	13
2.1.8. Απόρριψη τροφίμων (food waste) και διαλογή των σύκων	16
2.1.9. Απώλεια της ποιότητας των σύκων μετά τη συγκομιδή	18
2.1.10. Βέλτιστες συνθήκες αποθήκευσης φρέσκων σύκων.....	20
2.2. Ωσμωτική αφυδάτωση.....	22
2.2.1. Γενικά για την ωσμωτική αφυδάτωση	22
2.2.2. Μοντέλο μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική επεξεργασία	23
2.2.3. Παράμετροι που επηρεάζουν τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	26
2.2.4. Η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην ποιότητα και τις διατροφικές ιδιότητες των τροφίμων.....	30
2.2.5. Ωσμωτικά υλικά και η χρήση εναλλακτικών υδατανθράκων ως ωσμωτικά μέσα ...	30
2.2.6. Διαχείριση των ωσμωτικών διαλυμάτων	33

2.2.7.	Εφαρμογή ωσμωτικής επεξεργασίας για την επέκταση του χρόνου αποθήκευσης..	35
2.2.8.	Ωσμωτική αφυδάτωση σε σύκα.....	36
2.3.	Ξήρανση.....	37
2.3.1.	Γενικά για την ξήρανση	37
2.3.2.	Μηχανισμός της ξήρανσης.....	39
2.3.3.	Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ξήρανσης.....	42
2.3.4.	Μέθοδοι ξήρανσης.....	43
2.3.5.	Μεταβολές στα τρόφιμα κατά την ξήρανση.....	48
2.3.6.	Ξήρανση φρούτων	50
2.3.7.	Ξήρανση των σύκων	51
2.3.8.	Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης.....	56
3.	Σκοπός της εργασίας	58
4.	Υλικά και Μέθοδοι	59
4.1.	Πειραματική πορεία.....	59
4.2.	Εφαρμοζόμενες μέθοδοι	63
5.	Αποτελέσματα και Συζήτηση	71
5.1.	Σύκα Κύμης – μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	71
5.2.	Σύκα Μαρκοπούλου – μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης	103
5.3.	Σύκα Μαρκοπούλου – μελέτη της ξήρανσης	133
6.	Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα	152
6.1.	Συμπεράσματα.....	152
6.2.	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	153
	Αναφορές	154

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Μέση διατροφική σύσταση αποξηραμένων σύκων ανά 100 g (Sinha, 2003).	11
Πίνακας 2: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η οσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.....	72
Πίνακας 3: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η οσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.....	75
Πίνακας 4: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η οσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.....	78
Πίνακας 5: Τιμές συντελεστή διάχυσης για απώλεια ύδατος (D_{ew}) και πρόσληψη στερεών (D_{es}) στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για 80 και 95% συγκέντρωση γλυκερόλης και 40% γλυκερόλη – 40% ολιγοφρουκτόζη.	83
Πίνακας 6: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η οσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.....	84
Πίνακας 7: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η οσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.....	86
Πίνακας 8: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η οσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.....	87
Πίνακας 9: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της οσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.....	90
Πίνακας 10: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της οσμωτικής αφυδάτωσης στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.....	91
Πίνακας 11: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της οσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C, για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.....	93
Πίνακας 12: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b, σε θερμοκρασία 45°C και συγκέντρωση γλυκερόλης 80 και 95% και γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.	95
Πίνακας 13: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τέσσερις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.	96
Πίνακας 14: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.	97
Πίνακας 15: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.	98
Πίνακας 16: Τιμές pH, °Brix και a_w του οσμωτικού διαλύματος στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.....	99
Πίνακας 17: Τιμές pH και °Brix του οσμωτικού διαλύματος στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.	100

Πίνακας 18: Τιμές pH και °Brix του ωσμωτικού διαλύματος στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.	101
Πίνακας 19: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	104
Πίνακας 20: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	107
Πίνακας 21: Τιμές συντελεστή διάχυσης για απώλεια ύδατος (D_{ew}) και πρόσληψη στερεών (D_{es}) στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για αναλογίες σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7. .	112
Πίνακας 22: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	113
Πίνακας 23: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	114
Πίνακας 24: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	117
Πίνακας 25: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	119
Πίνακας 26: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, σε θερμοκρασία 25°C.	121
Πίνακας 27: Οι τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7, σε θερμοκρασία 25°C.	122
Πίνακας 28: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, σε θερμοκρασία 35°C.	123
Πίνακας 29: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7, σε θερμοκρασία 35°C.	124
Πίνακας 30: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, σε θερμοκρασία 45°C.	125
Πίνακας 31: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7, σε θερμοκρασία 45°C.	126
Πίνακας 32: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7.	128
Πίνακας 33: Τιμές pH, °Brix και a_w του ωσμωτικού διαλύματος στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	129
Πίνακας 34: Τιμές pH, °Brix και a_w του ωσμωτικού διαλύματος στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	130
Πίνακας 35: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w), απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) κατά τις 4 ανασυστάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα.	132

Πίνακας 36: Τιμές ενεργότητας ύδατος a_w για επεξεργασμένα (ωσμωμένα) και μη (control) δείγματα σε θερμοκρασίες ξήρανσης 70, 60 και 50°C.	134
Πίνακας 37: Τιμές συντελεστή διάχυσης D_{eff} σε θερμοκρασίες ξήρανσης 70, 60 και 50°C για μη επεξεργασμένα (control) και επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	140
Πίνακας 38: Τιμές σκληρότητας των επεξεργασμένων (ωσμωμένων) και μη (control) δειγμάτων στις τρεις θερμοκρασίες (70, 60 και 50°C).	141
Πίνακας 39: Τιμές παραμέτρων χρώματος L, a, b για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα στους 70°C.	145
Πίνακας 40: Τιμές παραμέτρων χρώματος L, a, b για τα επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα στους 70°C.	146
Πίνακας 41: Σύγκριση των τελικών τιμών (στο τέλος της ξήρανσης) των παραμέτρων χρώματος, σε θερμοκρασία 70°C, για επεξεργασμένα (ωσμωμένα) και μη (control) δείγματα.	147
Πίνακας 42: Διατροφικές και βιοενεργές ενώσεις στα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) και μη επεξεργασμένα (control) δείγματα.....	148
Πίνακας 43: Τιμές της σκληρότητας επεξεργασμένων (ωσμωμένων) και μη (control) δειγμάτων κατά την αποθήκευσή τους στους 25, 35 και 45°C.	149
Πίνακας 44: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b της εσωτερικής πλευράς του σύκου στις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης (25, 35 και 45°C) για τα μη επεξεργασμένα (control) και επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.....	150

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Διάφοροι τύποι σύκων (morningagclips.com).	4
Εικόνα 2: Σύκα πάνω στη συκιά (thecultureconcept.com).	5
Εικόνα 3: Κοινό σύκο (en.wikipedia.org/wiki/Common_fig).	6
Εικόνα 4: Αγριόσυκο (en.wiktionary.org/wiki/caprifig).	7
Εικόνα 5: Μοβ Συμυρνέικο σύκο (fourwindsgrowers.com).	7
Εικόνα 6: Σύκα του San Pedro (www.youtube.com/watch?v=ldgT3q7xa58).....	8
Εικόνα 7: Αποξηραμένα σύκα Κύμης (karpos.gr).	9
Εικόνα 8: Μαύρα Σύκα Μαρκοπούλου (atticafigs.gr).	10
Εικόνα 9: Κατά κεφαλήν απόρριψη τροφίμων σε επίπεδο καταναλωτή (κόκκινο) και στα στάδια πριν την διάθεση στην αγορά (γαλάζιο) σε διάφορες περιοχές (FAO, 2011).	16
Εικόνα 10: Ποσοστά απόρριψης φρούτων και λαχανικών ανά στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων σε διάφορες περιοχές (FAO, 2011).	17
Εικόνα 11: "Σκίσιμο" σύκων στο κάτω μέρος (Colelli & Amodio, 2020).	18
Εικόνα 12: Ποιοτικά χαρακτηριστικά σύκου (Colelli & Amodio, 2020).	19
Εικόνα 13: Εκτεταμένη ανάπτυξης μυκήτων σε φρέσκα σύκα (Colelli & Amodio, 2020).	20

Εικόνα 14: Φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την οσμωτική διεργασία (Λάζος & Λάζου, 2016).	23
Εικόνα 15: Σχηματική αναπαράσταση ιστού κυτταρικού υλικού και τρόπος μεταφοράς μάζας (Shi & Le Maguer, 2002, Λάζος & Λάζου, 2016).	25
Εικόνα 16: Επίδραση της συγκέντρωσης σακχαρόζης και της θερμοκρασίας επί των μεταβολών με το χρόνο των ολικών στερεών (TS), απώλεια νερού (WL), μείωση βάρους (WR) και πρόσληψη στερεών (SG) μήλων κατά την οσμωτική αφυδάτωση (Λάζος & Λάζου, 2016).	27
Εικόνα 17: Καμπύλη ξήρανσης (moisturecontrol.weebly.com).	40
Εικόνα 18: Καμπύλη ρυθμού ξήρανσης (Fox et al., 2014).	40
Εικόνα 19: Κάμιμος ξήρανσης (Λάζος & Λάζου, 2016).	45
Εικόνα 20: (α) απλός ξηραντήρας με δίσκους, (β) ξηραντήρας με δίσκους και βοηθητικούς ξηραντήρες (Λάζος & Λάζου, 2016).	45
Εικόνα 21: Ξηραντήρες σήραγγας κατ' ομορροή, αντιρροή και μικτή ροή (Λάζος & Λάζου, 2016).	46
Εικόνα 22: Ξηραντήρες μεταφορικής ταινίας δύο σταδίων (Λάζος & Λάζου, 2016).	46
Εικόνα 23: (A) παραδοσιακή ξήρανση μπανάνας στον ήλιο, (B) ηλιακός ξηραντήρας παραβολικού σχήματος (researchgate.net).	47
Εικόνα 24: Σύκα Κύμης πριν την οσμωτική αφυδάτωση (control) (προσωπικό αρχείο).	60
Εικόνα 25: Σύκα Μαρκοπούλου πριν την οσμωτική αφυδάτωση (control) (προσωπικό αρχείο).	61
Εικόνα 26: Ξήρανση των σύκων σε φούρνο SousVideTools Hendi 229002 6-Tray Shelf Fruit Dryer (προσωπικό αρχείο).	62
Εικόνα 27: AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE (προσωπικό αρχείο).	64
Εικόνα 28: Χρωματόμετρο Minolta CR-300 (Minolta Company, Chuo-Ku, Osaka, Japan) (spsystem.com).	65
Εικόνα 29: Αναλυτής υφής TA.HD Plus texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd., UK) (scancotec.com).	66
Εικόνα 30: Τυπικό γράφημα ανάλυσης υφής.	66
Εικόνα 31: Τιμές WL συναρτήσκει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση 80% γλυκερόλης.	73
Εικόνα 32: Τιμές SG συναρτήσκει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.	74
Εικόνα 33: Τιμές WL συναρτήσκει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.	76
Εικόνα 34: Τιμές SG συναρτήσκει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.	77
Εικόνα 35: Τιμές WL συναρτήσκει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.	79

Εικόνα 36: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.	80
Εικόνα 37: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για συγκεντρώσεις 80 και 95% γλυκερόλης και 40% γλυκερόλη-40% ολιγοφρουκτόζη.	81
Εικόνα 38: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για συγκεντρώσεις 80 και 95% γλυκερόλης και 40% γλυκερόλη-40% ολιγοφρουκτόζη.	81
Εικόνα 39: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.	85
Εικόνα 40: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.	86
Εικόνα 41: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.	88
Εικόνα 42: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου για τις τρεις συγκεντρώσεις (80 και 95% γλυκερόλη και γλυκερόλη-ολιγοφρουκτόζη 40-40%) στους 45°C.	89
Εικόνα 43: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.	91
Εικόνα 44: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35, και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.	92
Εικόνα 45: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35, και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.	93
Εικόνα 46: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	105
Εικόνα 47: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	106
Εικόνα 48: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	108
Εικόνα 49: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	109
Εικόνα 50: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για αναλογίες σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7.	110
Εικόνα 51: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για αναλογίες σύκου/ διαλύματος 1/5 και 1/7.	110
Εικόνα 52: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	113
Εικόνα 53: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	115

Εικόνα 54: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου για τις αναλογίες σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7 στους 45°C.	116
Εικόνα 55: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.	118
Εικόνα 56: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.	119
Εικόνα 57: (a) σύκα πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control), (b) σύκα μετά από 300 λεπτά ώσμωση στους 25°C σε αναλογία 1/5, (c) σύκα μετά από 240 λεπτά ώσμωση στους 25°C σε αναλογία 1/7.	123
Εικόνα 58: (a) σύκα πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control), (b) σύκα μετά από 240 λεπτά ώσμωση στους 35°C σε αναλογία 1/5, (c) σύκα μετά από 300 λεπτά ώσμωση στους 35°C σε αναλογία 1/7.	125
Εικόνα 59: (a) σύκα πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control), (b) σύκα μετά από 240 λεπτά ώσμωση στους 45°C σε αναλογία 1/5, (c) σύκα μετά από 300 λεπτά ώσμωση στους 45°C σε αναλογία 1/7.	127
Εικόνα 60: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες (70, 60 και 50°C) για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα.	135
Εικόνα 61: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες (70, 60 και 50°C) για τα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	136
Εικόνα 62: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στους 70°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	137
Εικόνα 63: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στους 60°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	138
Εικόνα 64: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στους 50°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	139
Εικόνα 65: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 70°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	142
Εικόνα 66: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 60°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	142
Εικόνα 67: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 50°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	143
Εικόνα 68: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 70, 60 και 50°C για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα.	144
Εικόνα 69: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 70, 60 και 50°C για τα επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.	144

1. Εισαγωγή

Τα σύκα καταναλώνονται ευρέως παγκοσμίως και είναι αγαπημένο φρούτο των καταναλωτών, όμως ο ευαλλοίωτος χαρακτήρας τους οδηγεί σε ταχεία αλλοίωση, περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο τη διαθεσιμότητά τους. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με ξήρανση των σύκων, φυσική ή τεχνητή. Το προϊόν που προκύπτει μετά την ξήρανση όμως, λόγω της χαμηλής ενεργότητας ύδατος του, εμφανίζεται συρρικνωμένο, με αυξημένη σκληρότητα και σκουρότερο χρώμα. Θα μπορούσαν αυτά τα προβλήματα να αντιμετωπισθούν και να παραχθεί ένα προϊόν καλύτερης ποιότητας, με την ίδια όμως συντηρησιμότητα; Την απάντηση αυτού του ερωτήματος έχει ως σκοπό να βρει η παρούσα διπλωματική εργασία.

Μελετώντας διάφορες βιβλιογραφικές πηγές προέκυψε πως η απάντηση του παραπάνω ερωτήματος έγκειται στην εφαρμογή κάποιας προεπεξεργασίας πριν την ξήρανση του προϊόντος. Η εν λόγω προκατεργασία θα πρέπει να είναι μη καταστρεπτική και να συγκρατεί σε όσο μεγαλύτερο βαθμό γίνεται τα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του φρέσκου σύκου. Μια τέτοια μέθοδος, που προτείνεται ευρέως στη σύγχρονη βιβλιογραφία, είναι η ωσμωτική αφυδάτωση, η οποία αποτέλεσε τον πυρήνα της παρούσας έρευνας. Αρκετοί μελετητές έχουν εφαρμόσει ωσμωτική προεπεξεργασία σε διάφορους άλλους φυτικούς ιστούς, οι αναφορές σε σύκα όμως είναι περιορισμένες. Αυτό αποτέλεσε έναυσμα για την επιλογή της εν λόγω πρώτης ύλης, σε συνδυασμό με το έντονο ενδιαφέρον στην εγχώρια, αλλά και ευρύτερη Ευρωπαϊκή αγορά για το συγκεκριμένο ιστό.

Η θρεπτική αξία του σύκου και η ευρεία αποδοχή του από τους καταναλωτές το καθιστούν μια ενδιαφέρουσα πρώτη ύλη για επεξεργασία. Τα σύκα καλλιεργούνται κυρίως σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα και είναι πολύ διαδεδομένα στις Μεσογειακές χώρες. Από την αρχαιότητα ήταν γνωστά για τις ευεργετικές τους ιδιότητες καθώς έχουν αντικαρκινικές, αντιγηραντικές, αντιδιαβητικές, κ.ά. δράσεις, μιας και είναι φρούτα πλούσια σε φυτικές ίνες, κάλιο, ασβέστιο, σίδηρο και φαινολικές ενώσεις. Η ταχεία αλλοίωση τους κυρίως από μύκητες και έντομα, ακόμη και υπό συνθήκες ψύξης, αποτελεί το λόγο αφυδάτωσης τους, ώστε να είναι εφικτή η αποθήκευσή τους. Η ξήρανση τους στον ήλιο ή τεχνητά σε ρεύμα αέρα είναι μια αποτελεσματική τεχνική μείωσης της ενεργότητας ύδατος τους και παράγει προϊόντα που είναι σταθερά κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Από την άλλη, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνική αφυδάτωσης που παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που εφαρμόζονται, κάτι που σημαίνει ότι δεν επιφέρει σημαντική

θερμική καταστροφή στο τρόφιμο, και καθίσταται με αυτόν τον τρόπο κατάλληλη μέθοδος προκατεργασίας. Ποιες όμως θα ήταν οι συνθήκες που θα έπρεπε να εφαρμοσθούν κατά την ωσμωτική επεξεργασία ώστε να παραχθεί το βέλτιστο τελικό προϊόν; Κατά πόσο οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν την μετέπειτα εξέλιξη της ξήρανσης; Τα εν λόγω ερωτήματα αποτέλεσαν βασικό κομμάτι της παρούσας μελέτης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, η εν λόγω διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προεπεξεργασία της ξήρανσης σύκων για την παραγωγή τελικού αποξηραμένου προϊόντος βελτιωμένης ποιότητας, καθώς και τη μελέτη των βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης και ξήρανσης σε θερμό ρεύμα αέρα για την επίτευξη αυτού του σκοπού.

Στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας, θα πραγματοποιηθεί εκτενής μελέτη λαμβάνοντας υπόψη βιβλιογραφικές πηγές και πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν κατά την έρευνα. Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που οδήγησε στη σύλληψη της ιδέας και συνέβαλλε στην εκπόνηση των πειραμάτων και στη συνέχεια ακολουθεί ο σκοπός της εργασίας (Κεφάλαιο 3) όπως προέκυψε από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στο 4^ο Κεφάλαιο παρατίθενται οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραμάτων, ενώ περιγράφεται η πειραματική πορεία που ακολουθήθηκε. Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ενώ το Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει τα βασικά συμπεράσματα της εν λόγω μελέτης και μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1. Το σύκο

2.1.1. Γενικά για το σύκο

Το σύκο είναι ένα πολύ νόστιμο, μαλακό φρούτο που μπορεί να καταναλωθεί σε διάφορες μορφές: φρέσκο, σε κονσέρβα, αποξηραμένο ή ως γλύκισμα. Το φρέσκο σύκο θεωρείται πολυτελές φρούτο, ακόμη και σε χώρες που καλλιεργείται εκτενώς, λόγω των ευεργετικών ιδιοτήτων του και των ιδιαίτερων οργανοληπτικών του χαρακτηριστικών. Τα αποξηραμένα σύκα αποτελούν βασικό τρόφιμο στις Μεσογειακές χώρες, ενώ στην αρχαία Ρώμη χρησιμοποιούνταν ως τροφή των στρατευμάτων, σαν υποκατάστατο του ψωμιού. Από όλες τις καλλιέργειες σύκων στον κόσμο, πάνω από το 85% ξηραίνονται, πάνω από 10% κονσερβοποιούνται, ενώ μόνο το 3% περίπου καταναλώνονται ως φρέσκα (Sutton, 2014).

Τα σύκα περιλαμβάνουν πάνω από 800 διαφορετικά είδη, κάνοντας το γένος *Ficus* ένα από τα πιο δημοφιλή σε αριθμό ειδών από το σύνολο των φυτικών ιστών (Lansky & Raavilainen, 2010). Το γένος *Ficus* ανήκει στην οικογένεια Moraceae και τα περισσότερα είδη του αναπτύσσονται σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα με λίγα φρούτα από αυτά να θεωρούνται εδώδιμα (Condit, 1969). Το σύκο *Ficus carica* L. είναι αυτό που έχει τη μεγαλύτερη σημασία λόγω του ότι αποτελεί μέρος της ανθρώπινης διατροφής και είναι το μόνο είδος *Ficus* που καλλιεργείται για τα φρούτα του (Ferguson et al., 1990). Οι συκιές είναι από τα πρώτα δέντρα που καλλιεργήθηκαν στον κόσμο (Solomon et al., 2006), όπως αναγράφεται σε πηγές από τον 13^ο αιώνα π.Χ. (Ferguson et al., 1990). Παρόλο που η προέλευση τους δεν είναι απόλυτα γνωστή, οι συκιές θεωρείται πως προέρχονται από την δυτική Ασία (Stover et al., 2007a), στην «γόνιμη περιοχή της νότιας Αραβίας» (Ferguson et al., 1990; Crisoto et al., 2011).

Σήμερα, τα σύκα καλλιεργούνται σε περιοχές όπως το νοτιότερο μέρος της Αραβικής χερσονήσου, την Ιταλία, τη Βαλκανική χερσόνησο, και τη Ρωσία. Η καλλιέργεια τους ξεκίνησε πιθανώς στις νότιες περιοχές της Αραβικής χερσονήσου περί το 3000 π.Χ. Αργότερα επεκτάθηκε στο Ιράκ, τη Συρία και την Τουρκία και από εκεί σε όλες τις Μεσογειακές χώρες. Κατά την εποχή των ανακαλύψεων από τον Κολόμβο, το σύκο μεταφέρθηκε στις υποτροπικές περιοχές του δυτικού ημισφαιρίου. Καλλιεργείται εκτενώς στις τροπικές, υποτροπικές, και θερμές περιοχές του πλανήτη. Η κύρια παραγωγή του γίνεται στην περιοχή της Μεσογείου, από την Τουρκία στην ανατολή, έως την Ισπανία και την Πορτογαλία στην δύση. Έχει επίσης αναπτυχθεί εμπορικά σε περιοχές των ΗΠΑ και

την Χιλή, και σε περιορισμένη έκταση σε χώρες της Αραβίας, το Ιράν, την Ινδία, την Κίνα, και την Ιαπωνία (Sinha, 2003).



Εικόνα 1: Διάφοροι τύποι σύκων (morningagclips.com).

2.1.2. Ιστορικό υπόβαθρο

Τα σύκα, μαζί με τον λωτό, τα σταφύλια που είναι κατάλληλα για κρασί (vinifera) και τις ελιές, αποτελούσαν σημαντική καλλιέργεια στους αρχαίους πολιτισμούς της Ανατολικής Μεσογείου. Έχουν αναφερθεί σε πολλούς μύθους και τραγούδια ιστορικού και μυθολογικού υποβάθρου, όπως επίσης και στην Βίβλο (Sinha, 2003). Ιστορικές αναφορές αποδεικνύουν τη σημασία και αξία των σύκων στην Μεσόγειο. Τα σύκα και τα φύλλα της συκιάς χρησιμοποιούνταν στην παραδοσιακή ιατρική. Ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος στο έργο του «Φυσική Ιστορία» εξυμνεί «εκατόν έντεκα παρατηρήσεις» πάνω στα σύκα. Μέσα σε αυτές αναφέρει «αυτό το φρούτο αναζωογονεί τους νέους, βελτιώνει την υγεία των ηλικιωμένων και καθυστερεί την εμφάνιση ρυτίδων» (Crisosto et al., 2011).

Τα σύκα ήταν πάντοτε παρόντα στην ελληνική κοινωνία, με τις πρώτες καλλιέργειες σύκων να εμφανίζονται πιθανόν γύρω στο 900 π.Χ. στην κυρίως ενδοχώρα και πολλούς αιώνες νωρίτερα στην Κρήτη. Φαίνεται ότι τα σύκα ήταν γνωστά στην ακμή του Κρητικού πολιτισμού περί το 1500 π.Χ. Στην Ελληνική μυθολογία υπήρχε ένας Τιτάνας του οποίου το όνομα προέρχεται από τη λέξη σύκο (συκή). Το όνομά του ήταν Συκέας και ήταν ένας από τους Τιτάνες που επαναστάτησαν κατά του Δία. Μετά την ήττα των Τιτάνων, ο Συκέας δραπέτευσε και έμεινε υπό την προστασία της μητέρας του Γαίας (η γη), που τον μεταμόρφωσε σε συκιά. Στη δεύτερη γενιά μύθων, υπάρχει η ιστορία ενός Αθηναίου ονόματι Φυτάλου που καλωσόρισε τη θεά Δήμητρα στο σπίτι του και ανταμείφθηκε από αυτήν με το δώρο της πρώτης συκιάς. Φαίνεται πως στην αρχή τα σύκα

ήταν ένα πολύ σημαντικό τρόφιμο που καταναλωνόταν μόνο από πλούσιους ή για θρησκευτικούς σκοπούς. Η αξία του ήταν τόσο μεγάλη που όπως αναφέρει ο Πλούταρχος, ο Σόλων απαγόρευσε την εξαγωγή σύκων εκτός Αττικής, κάποια στιγμή περί το 590 π.Χ. Όσοι προσπαθούσαν να εξάγουν λαθραία σύκα εκτός Αττικής ήταν υπόλογοι στις αρχές και καταγγέλλονταν από «εκείνους που φανερώνουν σύκα» (συκοφάντες), μια εντυπωσιακή ετυμολογία για τη λέξη «συκοφαντία» (Sutton, 2014).

2.1.3. Η καλλιέργεια του *Ficus carica*

Τα *Ficus carica* φυτρώνουν μεμονωμένα, στη μασχάλη του βλαστού (βλ. Εικόνα 2), και έχουν χρώμα πράσινο, κίτρινο-καφετί, μοβ ή και μαύρο, ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας. Το σχήμα τους μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο αχλαδοειδές ή σφαιρικό, και η φλούδα τους βελούδινη ή λεία. Συνήθως, αυτά τα φρούτα είναι μετρίου μεγέθους, αλλά σε ορισμένες καλλιέργειες μπορούν να φτάσουν διάμετρο 6 εκατοστών. Οι χρωστικές που περιέχονται στην φλούδα του σύκου είναι οι χλωροφύλλες α και β, το β-καροτένιο, η λουτεΐνη, η βιολαξανθίνη και η νεοξανθίνη (Sinha, 2003).



Εικόνα 2: Σύκα πάνω στη συκιά (thecultureconcept.com).

Το εδώδιμο σύκο προέρχεται από μια πολύπλοκη ταξιανθία που ονομάζεται συκόνιο. Το συκόνιο είναι ένα ζουμερό, σύνθετο, κοίλο και σχεδόν κλειστό δοχείο με πολλαπλές ωοθήκες στην εσωτερική επιφάνεια. Η σάρκα του φρούτου είναι ζουμερή και γλυκιά όταν αυτό είναι ώριμο λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε σάκχαρα και χαμηλής σε οργανικά οξέα, και κολλώδης όταν είναι άγουρο (Colelli & Amodio, 2020).

Ανάλογα με την φύση των ανθών και τον τρόπο που γίνεται η επικονίαση τα σύκα μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις διαφορετικές τάξεις (Sinha, 2003):

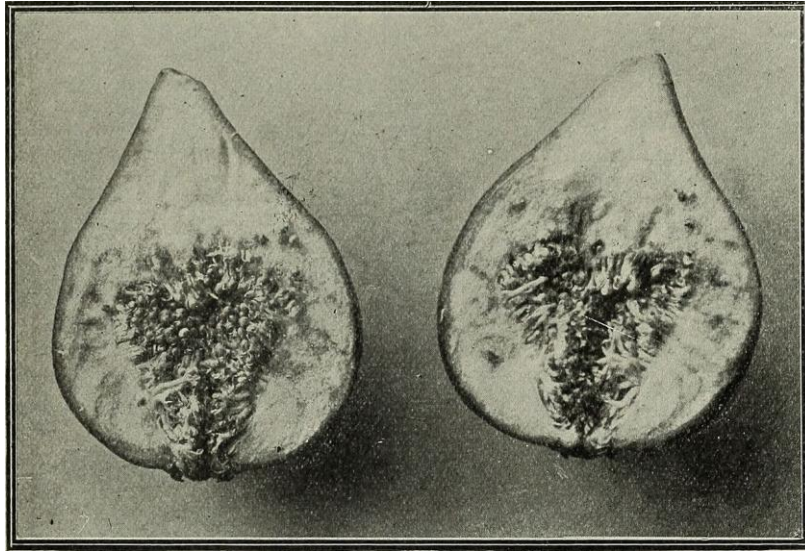
- 1) Κοινό σύκο ή σύκο της Αδριατικής
- 2) Αγριόσυκο (*caprifig*)
- 3) Σμυρνέικο σύκο (*Smyrna fig*)
- 4) Σύκο του San Pedro

Κοινό σύκο: Σε αυτόν τον τύπο, τα άνθη είναι θηλυκά, και τα φρούτα αναπτύσσονται χωρίς επικονίαση και γονιμοποίηση (παρθενοκαρπία) και δεν έχουν σπόρους. Παράγονται δύο σοδειές ετησίως. Στην πρώτη σοδειά (*brebas*) τα σύκα είναι πιο μεγάλα και ζουμερά και συνήθως καταναλώνονται φρέσκα. Στην δεύτερη σοδειά τα σύκα παράγονται στην «μασχάλη» των βλαστών και τα φρούτα καταναλώνονται φρέσκα ή αποξηραμένα (Sinha, 2003).



Εικόνα 3: Κοινό σύκο (en.wikipedia.org/wiki/Common_fig).

Αγριόσυκο (*caprifig*): Τα αγριόσυκα αναπτύσσονται φυσικά στην περιοχή της Μεσογείου και τη Δυτική Ασία και μάλλον αντιπροσωπεύουν τον προϊστορικό τύπο. Παρόλο που αυτά τα φρούτα δεν έχουν εμπορική αξία, καλλιεργούνται στις περισσότερες χώρες που παράγουν σύκα, μιας και είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη του Σμυρνέικου σύκου (*Smyrna fig*). Τα αγριόσυκα παράγουν τρεις σοδειές φρούτων το χρόνο (Sinha, 2003).



Εικόνα 4: Αγριόσυκο (en.wiktionary.org/wiki/caprifig).

Σμυρνέικο σύκο (Smyrna fig): Τα Σμυρνέικα σύκα παράγονται μέσω διασταυρούμενης επικονίασης από τα αγριόσυκα. Η διαδικασία αυτή γίνεται τεχνητά. Τα σύκα αυτά έχουν γεύση ξηρών καρπών λόγω της παρουσίας γόνιμων σπόρων. Είναι τα πιο σημαντικά σύκα από άποψη εμπορικής αξίας και καλλιεργούνται εκτενώς στην Μικρά Ασία, την Ελλάδα, την Αλγερία, και περιοχές της Πορτογαλίας και της Καλιφόρνια (Sinha, 2003).



Εικόνα 5: Μωβ Σμυρνέικο σύκο (fourwindsgrowers.com).

Σύκο του San Pedro: Είναι ένας ενδιάμεσος τύπος σύκου που παράγει δύο σοδειές ετησίως. Όπως και το κοινό σύκο, η πρώτη σοδειά (breba) είναι παρθενοκαρπική και δεν απαιτείται επικονίαση και γονιμοποίηση των ανθών, αλλά η δεύτερη σοδειά αναπτύσσεται μόνο όταν τα άνθη έχουν υποστεί επικονίαση, όπως στην περίπτωση των Σμυρνέικων σύκων (Sinha, 2003).



Εικόνα 6: Σύκα του San Pedro (www.youtube.com/watch?v=ldgT3q7xa58).

2.1.4. Οικονομικά στοιχεία για την παραγωγή σύκων

Η παραγωγή σύκων το 2007 ήταν πάνω από ένα εκατομμύριο τόνοι. Η Τουρκία και η Αίγυπτος είναι οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 50% της παγκόσμιας παραγωγής, ακολουθούμενες από το Ιράν, την Αλγερία και το Μαρόκο. Η παραγωγή σύκων σε αυτές τις πέντε χώρες αντιπροσωπεύει το 64% της παγκόσμιας παραγωγής. Η Τουρκία είναι επίσης η πρώτη χώρα στις εξαγωγές σύκων, ακολουθούμενη από τις ΗΠΑ, την Ισπανία, τη Συρία και την Ελλάδα. Οι κύριες χώρες στις οποίες εξάγονται τα σύκα είναι η Γερμανία, η Γαλλία, η Ιταλία και οι ΗΠΑ (FAO, 2007). Οι εισαγωγές ολόκληρων αποξηραμένων σύκων στις ΗΠΑ γίνονται κυρίως από την Τουρκία, την Ελλάδα και το Μεξικό, ενώ οι εισαγωγές πάστας σύκου προέρχονται κυρίως από την Ισπανία, την Πορτογαλία και την Τουρκία (CFAB, 2006). Ο Καναδάς, η Ιαπωνία και το Χόνγκ Κόνγκ είναι οι τρεις κύριες αγορές για τις εξαγωγές αποξηραμένων σύκων από τις ΗΠΑ (USDA, 2004).

2.1.5. Τα σύκα στην Ελλάδα

Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, στην Ελλάδα σήμερα παράγονται περίπου 5500 τόνοι αποξηραμένα σύκα από συκεώνες που καταλαμβάνουν έκταση περίπου 21000 στρεμμάτων (στοιχεία από την Ενιαία Αίτηση Εκμετάλλευσης για το έτος 2010). Οι κύριοι νομοί παραγωγής είναι: Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αρκαδίας και Εύβοιας. Σημαντικό μέρος της παραγωγής (περίπου 3500 τόνοι) διακινείται σε διάφορες χώρες της Ε.Ε. και εξάγεται σε Τρίτες χώρες (π.χ. ΗΠΑ, Καναδάς, Αυστραλία). Το 2012 εξήχθησαν περίπου 2925 τόνοι σε χώρες του εξωτερικού, με κύριες τις: Αυστρία (494 τόνοι), Καναδάς (452 τόνοι), ΗΠΑ (395 τόνοι), Ιταλία (324 τόνοι), Πολωνία (297 τόνοι) και Αυστραλία (234 τόνοι), με συνολική αξία περίπου 7,7 εκατομμύρια ευρώ. Το 2014 παρήχθησαν στους νομούς Μεσσηνίας και Ευβοίας 2220 και 1727 τόνοι σύκων αντίστοιχα. Από τα αποξηραμένα σύκα που κυκλοφορούν στην αγορά, αναγνωρισμένα με Προστατευμένη Ονομασία Προέλευσης (Π.Ο.Π.) είναι τα ξηρά σύκα Κύμης και τα ξηρά σύκα Ταξιάρχη.

Τα αποξηραμένα σύκα Κύμης είναι ένα μοναδικό προϊόν αναγνωρισμένο από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως προϊόν με Προστατευμένη Ονομασία Προέλευσης (ΠΟΠ). Είναι παραδοσιακό και παράγεται αποκλειστικά στην περιοχή της Κύμης του Ν. Ευβοίας από 25000 συκόδενδρα τοπικής ποικιλίας. Η ιδιαιτερότητα των σύκων Κύμης, είναι ότι πριν τοποθετηθούν για ξήρανση σχίζονται και ανοίγονται. Αφού τελειώσει η διαδικασία ξήρανσης, κλείνονται τα δύο σε ένα και προκύπτει η «ασκάδα». Τα Σύκα Κύμης καλύπτονται από ένα πολύ λεπτό φλοιό, είναι ιδιαίτερα γλυκά και έχουν ένα ιδιαίτερο ξανθό χρώμα.



Εικόνα 7: Αποξηραμένα σύκα Κύμης (karpos.gr).

Χαρακτηριστική ελληνική ποικιλία είναι και τα μαύρα σύκα Μαρκοπούλου. Είναι γλυκά και γευστικά σύκα με βαθύ ιώδες, μαύρο, ομοιόμορφο χρώμα. Το σχήμα των συγκεκριμένων καρπών είναι ελαφρώς πεπλατυσμένο, συνήθως μέτριου μεγέθους με πολύ μικρό κοτσάνι. Η ποικιλία είναι κατάλληλη για νωπή κατανάλωση και μεταποίηση. Τα μαύρα σύκα Μαρκοπούλου ωριμάζουν την περίοδο Αύγουστο έως Οκτώβριο.



Εικόνα 8: Μαύρα Σύκα Μαρκοπούλου (atticafigs.gr).

2.1.6. Διατροφική αξία και ενεργητικές επιδράσεις των σύκων στην υγεία

Τα σύκα οφείλουν την διατροφική τους αξία κυρίως στα μέταλλα και τα σάκχαρα που περιέχουν. Το ολικό περιεχόμενο τους σε μέταλλα είναι δύο με τέσσερις φορές μεγαλύτερο από αυτό των περισσότερων άλλων φρέσκων φρούτων, και μόνο το τυρί και ορισμένα είδη ξηρών καρπών περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό ασβεστίου. Είναι πιο πλούσια σε σίδηρο και χαλκό από σχεδόν όλα τα φρούτα και λαχανικά και τα περισσότερα αποξηραμένα φρούτα. Τα φρέσκα σύκα αποτελούνται από 84% σάρκα και 16% φλούδα. Η χημική τους σύσταση ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του σύκου. Η μέση διατροφική σύσταση των αποξηραμένων σύκων (ανά 100g) είναι η ακόλουθη (Sinha, 2003):

Πίνακας 1: Μέση διατροφική σύσταση αποξηραμένων σύκων ανά 100 g (Sinha, 2003).

Ενέργεια	220 cal
Πρωτεΐνες	3,3 g
Υδατάνθρακες	48,0 g
Λίπος	1,5 g
Φυτικές ίνες	12,4 g
Νάτριο	62 mg
Κάλιο	970 mg
Βιταμίνη C	1 mg
Θειαμίνη	0,08 mg
Ριβοφλαβίνη	0,1 mg
Νικοτινικό οξύ	0,8 mg
Παντοθενικό οξύ	0,5 mg
Φολικό οξύ	9 µg
Βιταμίνη B ₆	0,26 mg
Ασβέστιο	250 mg
Σίδηρος	4,2 mg
Φώσφορος	89 mg
Μαγνήσιο	80 mg
Χαλκός	0,3 mg
Ψευδάργυρος	0,7 mg

Τα σύκα είναι θρεπτικά φρούτα πλούσια σε φυτικές ίνες, κάλιο, ασβέστιο και σίδηρο (CFAB, 2007; CFFGA, 2000; Chessa, 1997), με υψηλότερα επίπεδα από εκείνα των άλλων κοινών φρούτων, όπως οι μπανάνες, τα σταφύλια, τα πορτοκάλια, οι φράουλες και τα μήλα (CFFGA, 2000; Chessa, 1997; Michailides, 2003). Τα σύκα δεν περιέχουν νάτριο, λίπος, και όπως και τα υπόλοιπα φρούτα χοληστερόλη. Επιπλέον, είναι σημαντική πηγή βιταμινών, αμινοξέων και αντιοξειδωτικών (CFAB, 2007; CFFGA, 2000; Solomon et al., 2006). Ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες όπως η βιταμίνη C, οι τοκοφερόλες, τα καροτενοειδή και τα φαινολικά συστατικά, έχει αποδειχθεί πως βοηθούν στη ρύθμιση του μεταβολισμού και την αποτοξίνωση από καρκινογόνες ουσίες, αποτρέπουν την εμφάνιση όγκων (Kader, 2001) και προλαμβάνουν νευροχημικές μεταβολές που προκαλούνται λόγω γήρανσης (Shukitt-Hale et al., 2007). Τα αποξηραμένα σύκα είναι πλούσια σε πολυφαινόλες, όπως ανθοκυάνες και φλαβονοειδή, σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τα περισσότερα φρούτα. Οι ποικιλίες σύκων που η επιδερμίδα τους είναι σκούρα περιέχουν

υψηλότερα επίπεδα πολυφαινολών, ανθοκυανίνων και φλαβονοειδών, και μεγαλύτερη αντιοξειδωτική δράση από τις ανοιχτόχρωμες ποικιλίες (Crisosto et al., 2011). Οι περισσότερες ενώσεις που έχουν αντιοξειδωτική δράση, όπως οι ανθοκυανίνες και τα φλαβονοειδή, βρίσκονται στη φλούδα του σύκου. Η κυανιδίνη (που θεωρείται η μόνη ανθοκυανίνη στα σύκα) είναι η κύρια ένωση στο χρώμα της φλούδας (Solomon et al., 2006).

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται η φαρμακευτική δράση των σύκων (Garg et al., 2019). Παρουσιάζουν αντιδιαβητικές (Perez et al., 1998), αντιπυρετικές (Patil et al., 2010), ηπατοπροστατευτικές (Gond & Khadabadi, 2008), αντιμυκητιακές (Mavlonov et al., 2008), αντιοξειδωτικές (Solomon et al., 2006), αντισπασμωδικές (Gilani et al., 2008), και αντιμικροβιακές ιδιότητες (Jeong et al., 2009). Χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο για την καταπολέμηση διαφόρων διαταραχών υγείας όπως γαστρεντερικά προβλήματα, φλεγμονές, και καρκίνο (Butu & Rodino, 2019). Σύμφωνα με τους Badgujar et al. (2014) το *F. carica* αποτελεί σημαντική πηγή βιοχημικά ενεργών ενώσεων, με πρακτικές εφαρμογές στην πρόληψη και θεραπεία νόσων όπως η αναιμία, ο καρκίνος, ο διαβήτης, η λέπρα, η παράλυση, οι ασθένειες του ήπατος και δέρματος και το έλκος.

Τα σύκα χρησιμοποιούνταν εκτενώς και στην παραδοσιακή ιατρική, για τις αιμορραγίες της μύτης, ως αφροδισιακά, για την καταπολέμηση της λέπρας, την υγεία των μαλλιών και ως αντιπυρετικά, καταπραϋντικά, και καθαρκτικά. Διάφορες φλεγμονές, όπως η παράλυση, ο πόνος στο στήθος, και οι αιμορροΐδες, επίσης μπορούν να καταπολεμηθούν από τα σύκα (Saif et al., 2020). Ο χυμός του φρούτου αναμειγμένος με μέλι χρησιμοποιείται για αιμορραγίες. Η πάστα του φρούτου εφαρμόζεται σε πρήξιμο, όγκους και φλεγμονές για να καταπραΰνει τον πόνο (Mawa et al., 2013).

2.1.7. Σύσταση των σύκων

Σάκχαρα

Η γλυκόζη και η φρουκτόζη είναι τα κύρια σάκχαρα στα σύκα (Aljane et al., 2007; Caliskan & Polat, 2011; Melgarejo et al., 2003; Slatnar et al., 2011; Veberic et al., 2008b; Vemmos et al., 2013). Η περιεχόμενη γλυκόζη σε ολόκληρο το φρούτο ποικίλει από 1216 έως 11050 mg/100g, και η φρουκτόζη από 1916 έως 11900 mg/100g (Aljane et al., 2007; Caliskan & Polat, 2011; Slatnar et al., 2011). Τα επίπεδα σακχαρόζης κυμαίνονται χαμηλότερα από 98 έως 320 mg/100g φρούτου (Veberic et al., 2008b). Η μικρή συγκέντρωση σακχαρόζης στο σύκο μπορεί να είναι αποτέλεσμα αναβολικών διεργασιών και αναπνοής κατά την ανάπτυξη του φρούτου. Επίσης, μπορεί να προκαλείται από την υψηλή δράση της ιμβερτάσης κατά την ωρίμανση. Αντίθετα, πολλά είδη φρούτων χαρακτηρίζονται από την συσσώρευση τόσο σακχαρόζης όσο και φρουκτόζης στον ώριμο καρπό (Veberic et al., 2016). Η φρουκτόζη σχηματίζεται από σορβιτόλη, η οποία μεταφέρεται από τα φύλλα στο φρούτο με τη μορφή σακχαρόζης (Vemmos et al., 2013). Η περιεκτικότητα σε σάκχαρα επηρεάζει την γλυκύτητα του φρούτου. Για παράδειγμα, η φρουκτόζη έχει μεγαλύτερη σχετική γλυκύτητα από τη γλυκόζη. Επομένως, η αντίληψη της γλυκύτητας σε διαφορετικές καλλιέργειες σύκων μπορεί να συνδεθεί με το ποσοστό της περιεχόμενης φρουκτόζης (Veberic et al., 2008b; Caliskan & Polat, 2011).

Οργανικά οξέα

Το περιεχόμενο των οργανικών οξέων είναι σημαντικό για την ανάπτυξη των φρούτων (Veberic et al., 2016). Τα χαρακτηριστικά για την οικογένεια Moraceae μηλικό και κιτρικό οξύ, βρίσκονται και στα σύκα. Το περιεχόμενο μηλικό οξύ ποικίλει από 66 έως 431 mg/100g φρούτου, ενώ το κιτρικό οξύ από 20,2 έως 461 mg/100g φρούτου (Veberic et al., 2008; Pande & Akoh, 2010; Slatnar et al., 2011). Έχει βρεθεί σε ροδάκινα πως το κιτρικό οξύ, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, προσδίδει περισσότερη οξύτητα στο φρούτο από το μηλικό οξύ (Colaric et al., 2005). Η γλυκύτητα του φρούτου δεν συνδέεται μόνο με τα διάφορα σάκχαρα του φρούτου αλλά και με συγκεκριμένα οξέα όπως το κιτρικό και το σικιμικό οξύ, τα οποία μπορούν να μειώσουν τη γλυκύτητα παρά την υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα (Colaric et al., 2005). Εκτός από τα κύρια οργανικά οξέα στο σύκο, μηλικό και κιτρικό οξύ, περιέχονται σε μικρότερες ποσότητες τα: ασκορβικό (14,2 mg/100g), σουκινικό (10,2 mg/100g), φουμαρικό (1,75 έως 10,67 mg/100g), σικιμικό (4,04 έως 5,47 mg/100g) και οξαλοξικό οξύ (17,5 mg/100g) (Veberic et al., 2008b; Pande & Akoh, 2010).

Καροτενοειδή

Το φυσικό κίτρινο, πορτοκαλί-κόκκινο χρώμα πολλών φρούτων πηγάζει από τα καροτενοειδή, μια ομάδα λιποδιαλυτών χρωστικών (Yemis et al., 2012). Τα καροτενοειδή που έχουν βρεθεί στα σύκα είναι η λουτεΐνη, η κρυπτοξανθίνη, το λυκοπένιο, το β-καροτένιο, η ζεαξανθίνη και το α-καροτένιο (Su et al., 2002; Yemis et al., 2012). Το λυκοπένιο ήταν το πιο άφθονο καροτενοειδές (0,32 mg/100g φρέσκου φρούτου), ακολουθούμενο από την λουτεΐνη (0,08 mg/100g), το β-καροτένιο (0,04 mg/100g), το α-καροτένιο (0,02 mg/100g) και την κρυπτοξανθίνη (0,01 mg/100g) (Su et al., 2002). Σε σύγκριση με άλλα φρούτα, τα επίπεδα καροτενοειδών στα σύκα είναι χαμηλά, μόλις 23,7 έως 110 μg/g ξηρού βάρους ολικά καροτενοειδή (Ouchemoukh et al., 2012; Yemis et al., 2012). Ωστόσο, στα αποξηραμένα σύκα, τα συνολικά καροτενοειδή είναι περισσότερα συγκριτικά με τα αποξηραμένα δαμάσκηνα, βερίκοκα και σταφίδες (Ouchemoukh et al., 2012). Η κύρια πηγή καροτενοειδών είναι η φλούδα του φρούτου (1,9 mg/100g φρέσκου φρούτου), ενώ η σάρκα περιέχει ένα μικρό ποσοστό (1,1 mg/100g φρέσκου φρούτου). Η σύνθεση των καροτενοειδών διαφέρει εξαιτίας διαφόρων παραγόντων όπως οι διαφορετικές καλλιέργειες και οι συνθήκες επεξεργασίας και αποθήκευσης (Yemis et al., 2012; Veberic et al., 2016).

Φαινολικές ενώσεις

Οι φαινολικές ενώσεις είναι μια ομάδα δευτεροταγών μεταβολιτών που υπάρχουν κοινώς στα φρούτα (Veberic et al., 2016). Δύο από τις σημαντικότερες κατηγορίες φαινολικών είναι τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά οξέα. Εκτός από τα σάκχαρα και τα οργανικά οξέα, τα φαινολικά συστατικά συμβάλλουν επίσης στην γλυκιά, πικρή ή στυφή γεύση των φρούτων. Ωστόσο, συμβάλλουν περισσότερο στο άρωμα (Tomas-Barberan & Espin, 2001).

Ανάμεσα σε άλλα φρούτα και λαχανικά, τα σύκα είναι πλούσια σε ανθοκυανίνες, φλαβονόλες, γλυκοσίδες και άλλες πολυφαινόλες που μπορούν να συνεισφέρουν στην υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα τους. Τα σύκα δεν έχουν μόνο υψηλή εμπορική αξία λόγω των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους αλλά και λόγω των γνωστών ευεργετικών τους συστατικών για την υγεία (Veberic et al., 2016).

Οι περισσότεροι μεταβολίτες που έχουν αντιοξειδωτική δράση, όπως οι πολυφαινόλες, περιέχονται στην φλούδα του φρούτου (Piga et al., 2008). Επομένως, τα σύκα σκούρου χρώματος φλούδας περιέχουν υψηλότερα ποσοστά αντιοξειδωτικών από εκείνα με ανοιχτόχρωμη φλούδα (Solomon et al., 2006; Veberic et al., 2016).

Διάφορες ομάδες φαινολικών ενώσεων έχουν βρεθεί στα σύκα: υδροξυκιναμωμικό οξύ, υδροξυβενζοϊκό οξύ, ελλαγικό οξύ, φλαβαν-3-όλες, ανθοκυανίνες και διάφοροι γλυκοσίδες (Veberic et al., 2016). Τα φλαβονοειδή και τα φαινολικά οξέα αποτελούν το 30 με 60% των ολικών πολυφαινολών. Από τα φαινολικά οξέα, το χλωρογενικό οξύ είναι το κυρίαρχο στα σύκα (Veberic et al., 2008a). Από τις φλαβανόλες, κυριαρχούν η κατεχίνη και η επικατεχίνη, τα σύκα όμως δεν περιέχουν αυτές τις ενώσεις σε μεγάλες ποσότητες σε σύγκριση με άλλα φρούτα. Στα σύκα έχουν βρεθεί και διάφορες κουμαρίνες: αγγελικίνη, μαρμεσίνη, ψωραλένιο και ουμπελλιφερόνη (Innocenti et al., 1982).

Αντιοξειδωτική δράση

Το ενδιαφέρον για φυσικά αντιοξειδωτικά είναι αυξημένο, ιδιαίτερα λόγω των αμφιβολιών για την ασφάλεια και τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις των συνθετικών αντιοξειδωτικών που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα (Veberic et al., 2016). In vitro και in vivo έρευνες έχουν δείξει ότι οι φυτοχημικές ενώσεις των σύκων μπορούν να επηρεάσουν διαδικασίες που τροποποιούν την ανάπτυξη ογκολογικών κυττάρων και να διορθώσουν νευροχημικές μεταβολές και αλλαγές συμπεριφοράς που σχετίζονται με την γήρανση. Τα αποξηραμένα σύκα είναι εξαιρετική πηγή θρεπτικών συστατικών και in vivo αντιοξειδωτικών, καθώς η αντιοξειδωτική ικανότητα του πλάσματος αυξάνεται σημαντικά για ώρες μετά την κατανάλωση σύκου (Vinson et al., 2005).

Γενικά οι γενότυποι με μαύρη και μωβ φλούδα εμφανίζουν μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα από τις ανοιχτόχρωμες ποικιλίες (Caliskan & Polat, 2011; Solomon et al., 2006). Ο λόγος είναι η υψηλή συγκέντρωση φαινολικών συστατικών στην φλούδα των μαύρων ποικιλιών (Piga et al., 2008; Veberic et al., 2016).

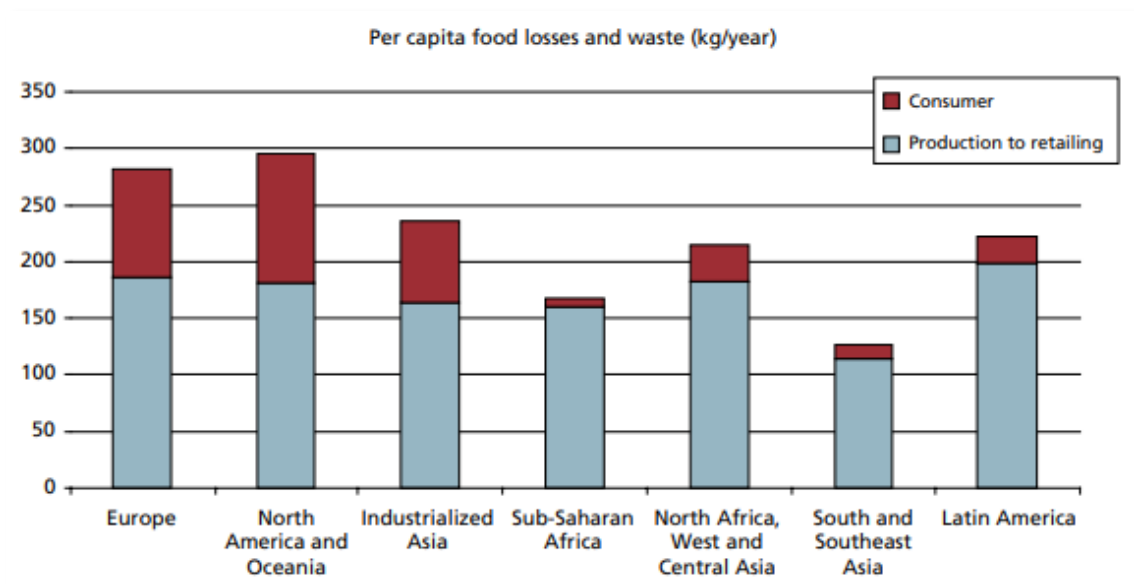
Οι διαφορές στην περιοχή ανάπτυξης του φρούτου και τα τεχνολογικά μέσα, το στάδιο ωρίμανσης, οι συνθήκες πριν και μετά τη συγκομιδή, και οι ετήσιες αποκλίσεις είναι οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στις διαφορές στην αντιοξειδωτική δράση (Veberic et al., 2016). Επιπλέον, η αντιοξειδωτική δράση εξαρτάται από την τεχνική της εκχύλισης και τις ιδιότητες του διαλύτη, όπως και την επεξεργασία και την θερμοκρασία ξήρανσης των σύκων (Ouchemoukh et al., 2012).

2.1.8. Απόρριψη τροφίμων (food waste) και διαλογή των σύκων

Η απόρριψη τροφίμων (food waste) έχει σημαντικό αντίκτυπο τόσο στην οικονομία όσο και στο περιβάλλον (λόγω της απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα από αυτά στην ατμόσφαιρα). Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει ποικίλουν και εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε περιοχής παραγωγής τροφίμων. Η ποσότητα των τροφίμων που απορρίπτονται σχετίζεται με το είδος του τροφίμου, τους χειρισμούς κατά την επεξεργασία και διανομή και από τη χρήση από τον τελικό καταναλωτή. Για να προστατευθεί το περιβάλλον αλλά και να αποφευχθεί η οικονομική ζημία είναι απαραίτητο να διατηρούνται τα ποσοστά απορριπτόμενων προϊόντων τροφίμων στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο.

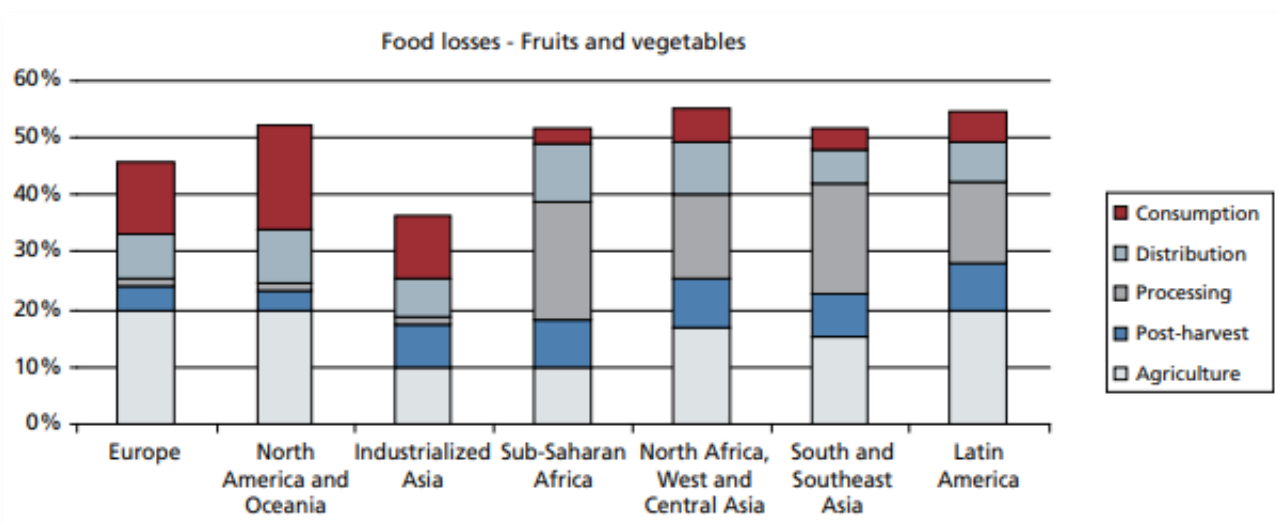
Απόρριψη είναι δυνατόν να συμβαίνει σε κάθε στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, είτε κατά την παραγωγή, είτε μετά τη συγκομιδή ή στα στάδια της μετέπειτα επεξεργασίας, όπως και στο τέλος της αλυσίδας, δηλαδή να γίνεται απόρριψη από τον τελικό καταναλωτή (Parfitt et al., 2010).

Περίπου το 1/3 των τροφίμων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση απορρίπτεται παγκοσμίως, ποσό που αντιστοιχεί σε 1,3 δισεκατομμύρια τόνους το χρόνο περίπου. Στις ανεπτυγμένες χώρες απορρίπτονται μεγάλες ποσότητες προϊόντων που είναι ακόμη κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, και μεγάλο ποσοστό των απορρίψεων γίνεται σε επίπεδο καταναλωτή. Αντίθετα, στις αναπτυσσόμενες χώρες τα τρόφιμα απορρίπτονται κυρίως στα αρχικά και ενδιάμεσα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων και όχι τόσο σε επίπεδο καταναλωτή (FAO, 2011).



Εικόνα 9: Κατά κεφαλήν απόρριψη τροφίμων σε επίπεδο καταναλωτή (κόκκινο) και στα στάδια πριν την διάθεση στην αγορά (γαλάζιο) σε διάφορες περιοχές (FAO, 2011).

Σύμφωνα με την έρευνα των Vanham et al. (2015) τα φρούτα και τα λαχανικά αποτελούν το 63% των τροφίμων που απορρίπτονται. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το γεγονός ότι είναι ευαλλοίωτα και είναι πιθανό να μην καταναλωθούν εγκαίρως, πριν την αλλοίωσή τους (De Laurentiis et al., 2018). Στα φρούτα και τα λαχανικά επίσης, κυριαρχούν οι απώλειες λόγω της διαλογής που γίνεται πριν την επεξεργασία τους ή την διάθεσή τους στην αγορά.



Εικόνα 10: Ποσοστά απόρριψης φρούτων και λαχανικών ανά στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων σε διάφορες περιοχές (FAO, 2011).

Συγκεκριμένα, στα φυτικά προϊόντα μπορεί να συμβαίνουν τραυματισμοί κατά τη συγκομιδή, ή αλλοίωση κατά την αποθήκευση μετά τη συγκομιδή, με αποτέλεσμα την απόρριψη των προϊόντων (FAO, 2011). Επιπλέον, ακόμη και αν τα φρούτα ή τα λαχανικά δεν έχουν τραυματισθεί ή αλλοιωθεί μπορεί να απορριφθούν κατά τη διαλογή τους εάν δεν πληρούν τα ποιοτικά κριτήρια που τίθενται για τη διάθεσή τους στο λιανικό εμπόριο (μέγεθος, σχήμα, χρώμα κ.ά.). Τα σύκα αποτελούν φρούτα που υφίστανται τέτοια διαλογή, επομένως μια μεγάλη ποσότητα από αυτά απορρίπτεται ως ακατάλληλα για διάθεση στην αγορά. Τα σύκα που διατίθενται στην αγορά ως φρέσκα πρέπει να είναι όμοιας διαμέτρου και να παρουσιάζουν ομοιομορφία. Εκείνα που κρίνονται ακατάλληλα λόγω μεγέθους ή σχήματος, συνήθως υφίστανται άλλες επεξεργασίες, όπως αφυδάτωση, παρασκευή πάστας ή μαρμελάδας, ή κονσερβοποίηση ώστε να μην απορριφθούν. Επιπλέον, μεγάλες ποσότητες απορρίπτονται λόγω του ευαλλοίωτου χαρακτήρα τους που οδηγεί σε ταχεία αλλοίωση μετά τη συγκομιδή. Αυτά τα σύκα, που δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για άλλες επεξεργασίες και απορρίπτονται, χρησιμοποιούνται πολλές φορές ως λίπασμα.

2.1.9. Απώλεια της ποιότητας των σύκων μετά τη συγκομιδή

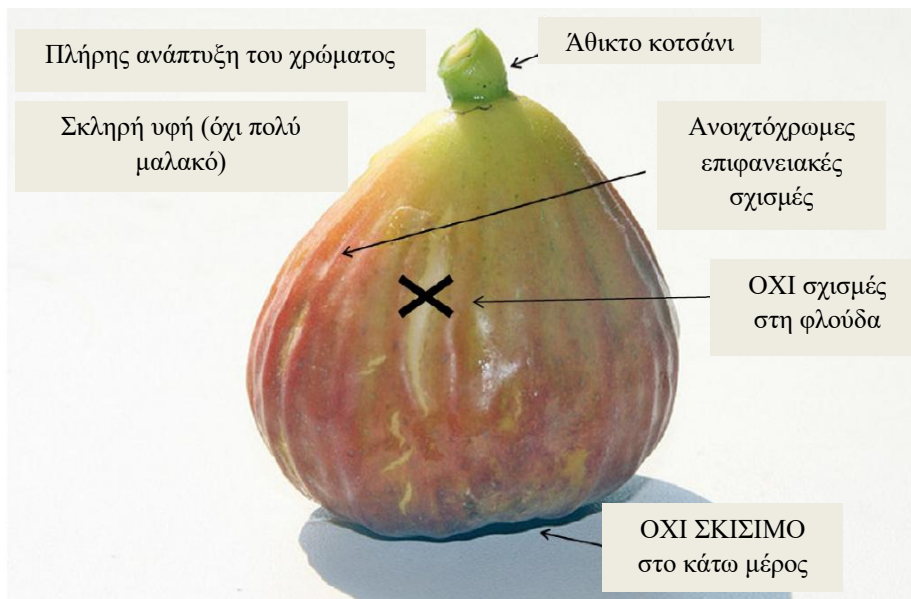
Η συγκομιδή των σύκων που καταναλώνονται φρέσκα γίνεται όταν αυτά έχουν σχεδόν ωριμάσει πλήρως και είναι σκληρά, έτσι ώστε να είναι έτοιμα για κατανάλωση και κατάλληλα για διάθεση στην αγορά. Όσο ωριμάζει το φρούτο είναι πιο επιθυμητό για κατανάλωση, γίνεται όμως και πιο ευαλλοίωτο. Το χρώμα της φλούδας και η σκληρότητα της σάρκας συνδέονται στενά με την ποιότητα του προϊόντος. Τα σύκα πρέπει να είναι συμπαγή, με άθικτα κοτσάνια και χωρίς σχισμές και σκισίματα στο κάτω μέρος (βλ. Εικόνα 11) (Colelli & Amodio, 2020).

Το σκίσιμο στο κάτω μέρος του φρούτου (βλ. Εικόνα 11) συμβαίνει εξαιτίας ξαφνικών αλλαγών στην εσωτερική πίεση στο φρούτο. Αυτές οι μεταβολές στην εσωτερική πίεση μπορεί να είναι αποτέλεσμα χαμηλών θερμοκρασιών και υψηλής υγρασίας όσο το φρούτο ωριμάζει. Το σκίσιμο λαμβάνει χώρα στην οστιόλη. Όταν το σύκο ανοίγει είναι ευκολότερο να προσβληθεί από μύκητες και έντομα (Crisosto et al., 2011).



Εικόνα 11: "Σκίσιμο" σύκων στο κάτω μέρος (Colelli & Amodio, 2020).

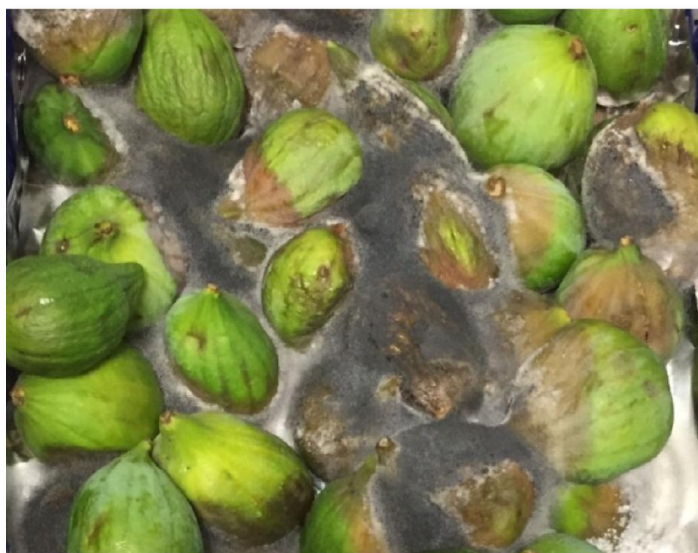
Άλλοι δείκτες ποιότητας περιλαμβάνουν την απουσία εξωτερικών κακώσεων (κάψιμο από τον ήλιο, πληγές, σκισίματα της επιδερμίδας), εντόμων και σήψης (Crisosto et al., 1998).



Εικόνα 12: Ποιοτικά χαρακτηριστικά σύκου (Colelli & Amodio, 2020).

Το στάδιο ωριμότητας κατά τη συγκομιδή έχει φανεί πως επιδρά στην συγκέντρωση διαλυτών στερεών (SSC) του σύκου, στην αποδοχή από τους καταναλωτές, τη σκληρότητα και την απώλεια αυτής κατά την αποθήκευση, την παραγωγή αιθυλενίου, τον ρυθμό αναπνοής, τη διάρκεια ζωής, τη διάμετρο οστιόλης και τη συρρίκνωση (Bremer, 2008; Crisosto et al., 2010). Επιπλέον, το επίπεδο της ωρίμανσης επιδρά στη γεύση, για παράδειγμα η ανεπιθύμητη γεύση των υπερώριμων σύκων εξαιτίας των προϊόντων ζύμωσης. Από την άλλη πλευρά, δεν επηρεάζονται από το στάδιο ωριμότητας το βάρος και μέγεθος του σύκου, η αντιοξειδωτική ικανότητα και το χρώμα και το πάχος της φλούδας (Crisosto et al., 2011).

Τα σύκα είναι πολύ ευαλλοίωτα και η αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος οδηγεί σε πρόωρη γήρανση, ζύμωση και σήψη, κάτι που περιορίζει την διάρκεια ζωής τους (Karabulut et al., 2009; Colelli & Amodio, 2020). Οι κύριοι λόγοι που προκαλούν απώλεια της ποιότητας είναι η ανάπτυξη μυκήτων (Michailides et al., 2008) (βλ. Εικόνα 13), οι μηχανικές κακώσεις και η απώλεια βάρους (Chessa, 1997; Piga et al., 1998; Venditti et al., 2005).



Εικόνα 13: Εκτεταμένη ανάπτυξης μυκήτων σε φρέσκα σύκα (Colelli & Amodio, 2020).

Οι πέντε κύριες ασθένειες των σύκων κατά την αποθήκευση μετά τη συγκομιδή είναι: μαύρισμα από μύκητες (smut), σάπισμα από *Alternaria* (προκαλείται από *Alternaria tenuis*, εμφανίζεται ως μικρές, στρογγυλές, καφέ ή μαύρες κηλίδες πάνω από την επιφάνεια του φρούτου), σάπισμα από μαύρη μούχλα (προκαλείται από *Aspergillus niger*, εμφανίζεται ως μαύρες ή κιτρινωπές κηλίδες στη σάρκα χωρίς εξωτερικά συμπτώματα), γκρίζα μούχλα ή σάπισμα από Βοτρύτη, και εσωτερική σήψη (fig endosepsis) (που προκαλείται από τον *Fusarium moniliforme*) (Colelli & Amodio, 2020).

Το πιο επιρρεπές μέρος του σύκου για αλλοίωση από μύκητες είναι η οστιόλη. Το φυσικό άνοιγμα του σύκου θα μπορούσε να αποτελέσει το σημείο πρόσβασης μέσω του οποίου οι μικροοργανισμοί μπορούν να φτάσουν στην εσωτερική κοιλότητα του φρούτου (Cantín et al., 2011). Η σοβαρότητα των ασθενειών που προκαλούνται από μύκητες αυξάνει λόγω της εξωτερικής επιφάνειας που καταστρέφεται εύκολα, του υψηλού περιεχομένου σε σάκχαρα του φρούτου (Colelli et al., 1991), και της παρουσίας σχισμών στην επιδερμίδα, και σκισίματος του φρούτου στο κάτω μέρος, που το καθιστούν πιο επιρρεπές στο σάπισμα (Colelli & Amodio, 2020).

2.1.10. Βέλτιστες συνθήκες αποθήκευσης φρέσκων σύκων

Τα σύκα ανήκουν στους κλιμακτηριακούς καρπούς, δηλαδή εμφανίζουν κλιμακτήριο περίοδο (απότομη αύξηση του αναπνευστικού ρυθμού), πρέπει επομένως η συγκομιδή τους να γίνεται πριν την πλήρη ωρίμανση τους (στην αρχή της κλιμακτηριακής περιόδου) και να ωριμάζουν αργά υπό κατάλληλες συνθήκες.

Βέλτιστη θερμοκρασία: Συνιστάται η αποθήκευση φρέσκων σύκων στους -1 έως 0°C και η διατήρηση της αλυσίδας ψύξης από τον αγρό έως τον τελικό καταναλωτή προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα του σύκου (Colelli & Amodio, 2020). Προτείνεται επίσης η ταχεία ψύξη στους 0°C με ψυχρό ρεύμα αέρα ώστε να προληφθεί η απώλεια βάρους (Crisosto & Kader, 2016). Σύκα που εκτέθηκαν για 6 ώρες σε καθυστερημένη ψύξη εμφάνισαν αρχική απώλεια βάρους περίπου 6% συγκριτικά με το ποσοστό 0,6% που παρουσίασαν εκείνα που δεν ψύχθηκαν με καθυστέρηση (Dollahite et al., 2007).

Βέλτιστη σχετική υγρασία: Η βέλτιστη σχετική υγρασία για την αποθήκευση των φρέσκων σύκων είναι μεταξύ 90 και 95%. Η διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή σε βέλτιστη θερμοκρασία και σχετική υγρασία εξαρτάται από την καλλιέργεια και το στάδιο ωρίμανσης κατά τη συγκομιδή και ποικίλει από 1 έως 2 εβδομάδες σε ατμοσφαιρικό αέρα και από 3 έως 4 εβδομάδες σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα για τις ποικιλίες της Καλιφόρνια “Black Mission” και “Calimyrna” (Colelli & Amodio, 2020).

Ελεγχόμενη/ τροποποιημένη ατμόσφαιρα: Η αποθήκευση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα έχει βρεθεί πως παρατείνει την διάρκεια ζωής και διατηρεί την ποιότητα των φρέσκων σύκων (Colelli & Amodio, 2020). Συγκεκριμένα, έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ μείωσε την παραγωγή αιθυλενίου, το μαλάκωμα, την εμφάνιση σήψης, και διατήρησε την λαμπερή εξωτερική εμφάνιση του φρούτου. Η διάρκεια ζωής του σύκου μετά τη συγκομιδή μπορεί να παραταθεί κατά 2-3 εβδομάδες στους 0-5°C σε εμπλουτισμένες με 15-20% CO₂ ατμόσφαιρες, όμως μπορούν να αναπτυχθούν δυσάρεστες οσμές κατά την τέταρτη εβδομάδα αποθήκευσης (Colelli et al., 1991). Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα με συνδυασμό 5-10% O₂ και 15-20% CO₂ είναι αποτελεσματική στον έλεγχο της σήψης, την διατήρηση της σκληρότητας και τη μείωση της αναπνοής και του ρυθμού παραγωγής αιθυλενίου παρατείνοντας έτσι το χρόνο αποθήκευσης του προϊόντος (Chessa, 1997; Crisosto & Kader, 2007).

Λαμβάνοντας υπόψη τον ευαλοϊώτο χαρακτήρα των φρέσκων σύκων κρίνεται αναγκαίο να εφαρμοσθεί μια κατάλληλη μέθοδος συντήρησης για το προϊόν. Όπως προαναφέρθηκε η ξήρανση των σύκων είναι μια τεχνική που εφαρμόζεται εδώ και αιώνες. Θα μπορούσε όμως να ληφθεί αποξηραμένο προϊόν καλύτερης ποιότητας συνδυάζοντας αυτή την παραδοσιακή τεχνική με μια πιο σύγχρονη μέθοδο, όπως η ωσμωτική αφυδάτωση, εναλλακτική που θα αναπτυχθεί εκτενώς σε επόμενη ενότητα, εφόσον αποτέλεσε το βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας;

2.2. Ωσμωτική αφυδάτωση

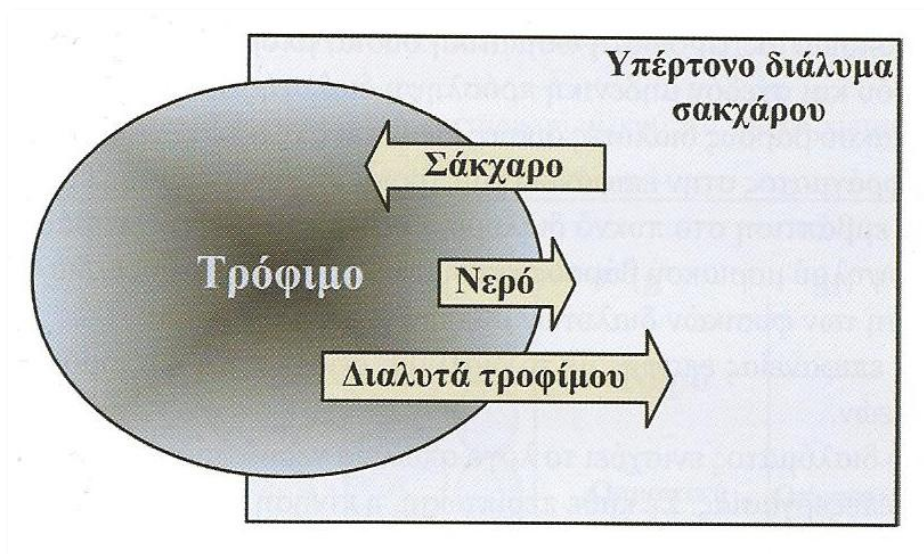
2.2.1. Γενικά για την ωσμωτική αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση (osmotic dehydration), που πρωτοπαρουσιάστηκε από τους Ponting et al. (1966), είναι μια τεχνική η οποία επιτρέπει την μείωση της περιεκτικότητας του νερού του τροφίμου (έως μια τελική τιμή της τάξης του 50-60% σε υγρή βάση), ενώ παράλληλα αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε στερεά συστατικά (Spiazzi & Mascheroni, 1997). Κατά τη διεργασία, το προϊόν βρίσκεται σε επαφή με διάλυμα χαμηλής ενεργότητας ύδατος (συμπυκνωμένα διαλύματα άλατος και/ή σακχάρου) στο οποίο πραγματοποιείται μεταφορά μάζας μέσω δύο ταυτόχρονων και αντίθετων ροών: διάχυση νερού από το τρόφιμο προς το διάλυμα, συνοδευμένο από φυσικές ουσίες (σάκχαρα, βιταμίνες, χρωστικές), και στην αντίθετη κατεύθυνση, διάχυση διαλυτών ουσιών από το διάλυμα προς το τρόφιμο. Ως αποτέλεσμα αυτής της ανταλλαγής, το προϊόν χάνει βάρος και συρρικνώνεται (Raoult-Wack et al., 1994). Η διαχυτότητα των σακχάρων είναι πολύ μικρότερη της διαχυτότητας του νερού. Αυτό κάνει δυνατό το σχεδιασμό διεργασιών οι οποίες οδηγούν σε σημαντική απομάκρυνση νερού με μόνο οριακή πρόσληψη σακχάρων.

Η μέθοδος αυτή της αφυδάτωσης ή ακριβέστερα της μερικής συμπύκνωσης περιλαμβάνει εμβάπτιση του τροφίμου σε διαλύματα υψηλής ωσμωτικής πίεσης, όπου τα κυτταρικά τοιχώματα δρουν ως ημιπερατές μεμβράνες, οι οποίες όμως δεν είναι πλήρως εκλεκτικές, επομένως μεταφέρονται διαλυτά συστατικά από το τρόφιμο στο διάλυμα (βλ. Εικόνα 14) (Torreggiani & Bertolo 2004, Chandra & Kumari, 2014).

Η ωσμωτική αφυδάτωση επιπλέον, αναφέρεται ως μια ήπια διεργασία για την ενσωμάτωση βιοδραστικών ενώσεων, όπως τα μέταλλα, οι βιταμίνες και τα αντιοξειδωτικά, στους ιστούς του τροφίμου χωρίς να καταστρέφεται η αρχική πρώτη ύλη. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται ιδιαίτερα ως προκατεργασία για άλλες επακόλουθες επεξεργασίες. Μέσω αυτής της επιλεκτικής ενσωμάτωσης ουσιών μέσα στο σύστημα του τροφίμου, είναι πιθανό να αλλάξουν οι θρεπτικές και λειτουργικές ιδιότητές του έως ένα σημείο, επιτυγχάνοντας στοχευμένη τροποποίηση της σύνθεσης του προϊόντος, ενώ διατηρείται σε μεγάλο βαθμό η ακεραιότητά του. Η συνδυαστική εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης με καινοτόμες τεχνολογίες όπως η υψηλή υδροστατική πίεση, οι υπέρηχοι, το παλμικό ηλεκτρικό πεδίο και η ακτινοβολία με ακτίνες γ, μπορεί να βελτιώσει την αξία του τελικού προϊόντος, όσον αφορά στη μικροβιολογική σταθερότητα και τα θρεπτικά, λειτουργικά και οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, ενώ την ίδια στιγμή εντείνεται η διαδικασία μεταφοράς μάζας. Νέες προοπτικές περιλαμβάνουν επίσης τη χρήση εναλλακτικών ωσμωτικών υλικών στα ωσμωτικά διαλύματα, όπως οι εναλλακτικοί

υδατάνθρακες, τα γαλακτώματα, και η συνδυαστική χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης με εδώδιμη επικάλυψη (Dermesonlouoglou et al., 2018).



Εικόνα 14: Φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική διεργασία (Λάζος & Λάζου, 2016).

2.2.2. Μοντέλο μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική επεξεργασία

Έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα πάνω στην ανάπτυξη μοντέλων για την πρόβλεψη της κινητικής της μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση σε ατμοσφαιρική πίεση. Η απώλεια νερού (water loss ή WL) και η πρόσληψη στερεών (solid gain ή SG) κατά τη διεργασία, που υπολογίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις (1 και 2 αντίστοιχα), χαρακτηρίζουν τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Αυτές οι παράμετροι (WL και SG) εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες. Η επιλογή των τιμών των παραμέτρων της διεργασίας παρουσιάζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν την τελική εφαρμογή και τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (Dermesonlouoglou et al., 2018).

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \text{ (g νερού/g αρχικής ξηρής ουσίας)} \quad (1)$$

$$SG = \frac{m - m_0}{m_0} \text{ (g ολικών στερεών/g αρχικής ξηρής ουσίας)} \quad (2)$$

Όπου M_0 η αρχική μάζα φρέσκου τροφίμου, m_0 η ξηρή μάζα του φρέσκου τροφίμου, M η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας και m η ξηρή μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας.

Εμπειρικά και ημιεμπειρικά μοντέλα συσχετίζουν τις παραμέτρους της επεξεργασίας με την απώλεια νερού (WL) και την πρόσληψη στερεών (SG), χωρίς να λαμβάνουν υπ' όψιν τα υποκείμενα φαινόμενα ταυτόχρονης μεταφοράς νερού και

διαλυμένων ουσιών (Azuaara et al., 1992; Kaymak-Ertekin & Sultanoglu, 2000; Sereno et al., 2001; Mercali et al., 2012; Herman-Lara et al., 2013).

Επιπλέον, δεν λαμβάνουν υπ' όψιν την πολυπλοκότητα της επεξεργασίας και η δυνατότητα εφαρμογής τους είναι περιορισμένη λόγω της ικανότητας τους να παρουσιάζουν δεδομένα μόνο σε παρόμοιες καταστάσεις με εκείνες στις οποίες αναπτύχθηκαν (Ochoa-Martinez & Ayala-Aponte, 2007). Μπορούν να εφαρμοστούν σε μη συνηθισμένες γεωμετρίες και μερικές μπορούν επίσης να προβλέψουν τις τιμές της ισορροπίας.

Ωστόσο, η γνώση πάνω στη μικροσκοπική ιστολογία και τα κυτταρικά χαρακτηριστικά, όπως οι τύποι του ιστού, οι γεωμετρικές ιδιότητες του κυττάρου, οι μηχανικές ιδιότητες του κυτταρικού τοιχώματος, και η παρουσία μεσοκυττάρων χώρων είναι σημαντική για την κατανόηση της σχέσης δομής-ιδιοτήτων και έπειτα για την εκτίμηση του βαθμού της μεταφοράς μάζας νερού και διαλυμένων ουσιών στο τρόφιμο (Aguilera et al., 2000; Mebatsion et al., 2008; Mercali et al., 2012).

Έχουν αναπτυχθεί μηχανιστικά μοντέλα λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτού του είδους τη δομή και/ή μακροσκοπικές και μικροσκοπικές προσεγγίσεις. Φαινομενολογικά μοντέλα μπορούν να καθορίσουν το συντελεστή διάχυσης αλλά απαιτούν τις τιμές ισορροπίας και είναι κατάλληλα μόνο για συμβατικές γεωμετρίες. Παρόλο που δίνουν μια καλή περιγραφή του μηχανισμού μεταφοράς μάζας, η προσέγγιση της διάχυσης έχει έναν αριθμό παραδοχών (όπως τιμές ισορροπίας, κλασικές γεωμετρίες, μη ύπαρξη εξωτερικής αντίστασης, μη συρρίκνωση του δείγματος, μη αποτελεσματικές αλλαγές διάχυσης με τη θερμοκρασία), και οι φαινομενικοί συντελεστές διάχυσης που υπολογίζονται εξαρτώνται από τις πειραματικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης (Dermesonlouoglou et al., 2018).

Τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση βασίζονται συνήθως σε διάφορες λύσεις του δεύτερου νόμου του Fick περί διάχυσης (Fick's Law of Diffusion) που παρουσιάζει τον μηχανισμό διάχυσης στην ωσμωτική αφυδάτωση σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης. Η ομάδα αναλυτικών λύσεων που προτάθηκε από τον Crank (1975) έχει εφαρμοσθεί στην ωσμωτική αφυδάτωση φρούτων και λαχανικών (Hawkes & Flink, 1978; Favetto et al., 1981; Magee et al., 1983), και αφορά στην επίλυση του νόμου του Fick για συγκεκριμένες γεωμετρίες.

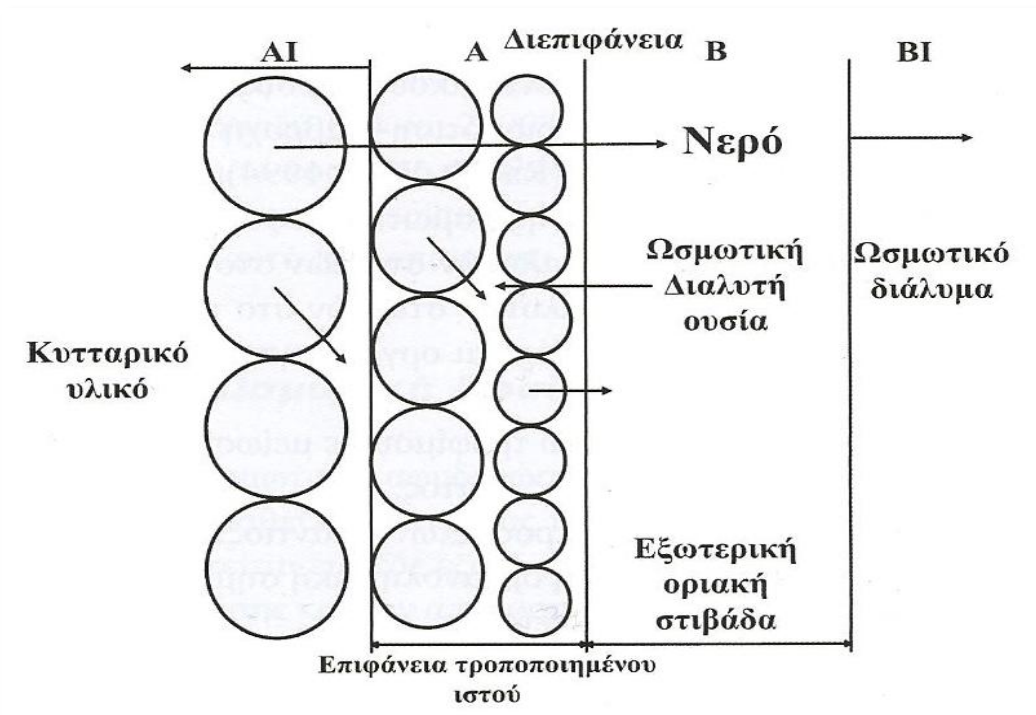
Θεωρώντας τα τρόφιμα ως πορώδη στερεά ο νόμος του Fick μπορεί να εφαρμοσθεί δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα. Λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του τροφίμου είναι δυνατό να υπολογισθούν οι συντελεστές διάχυσης νερού και στερεών, D_{ew} και D_{es} , αντίστοιχα, μέσω των οποίων μπορούν να συσχετισθούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας με παραμέτρους που καθορίζουν τις τελικές συνθήκες της διεργασίας.

Στην περίπτωση της γεωμετρίας αόριστης πλάκας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας νερού/στερεών περιγράφονται από τις εξισώσεις (3) και (4) (Crank, 1975; Rastogi & Raghavarao, 1997):

$$M_{OD} = \frac{(WL_t - WL_\infty)}{(WL_0 - WL_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 D_{ew} \frac{t}{l^2} \right] \quad (3)$$

$$S_{OD} = \frac{(SG - SG_\infty)}{(SG_0 - SG_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 D_{es} \frac{t}{l^2} \right] \quad (4)$$

Όπου M_{OD} και S_{OD} οι αδιάστατοι λόγοι απώλειας ύδατος και πρόσληψης στερεών αντίστοιχα, D_{ew} και D_{es} οι συντελεστές διάχυσης για νερό και στερεά αντίστοιχα, και l το ημιπάχος της πλάκας.



Εικόνα 15: Σχηματική αναπαράσταση ιστού κυτταρικού υλικού και τρόπος μεταφοράς μάζας (Shi & Le Maguer, 2002, Λάζος & Λάζου, 2016).

2.2.3. Παράμετροι που επηρεάζουν τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης

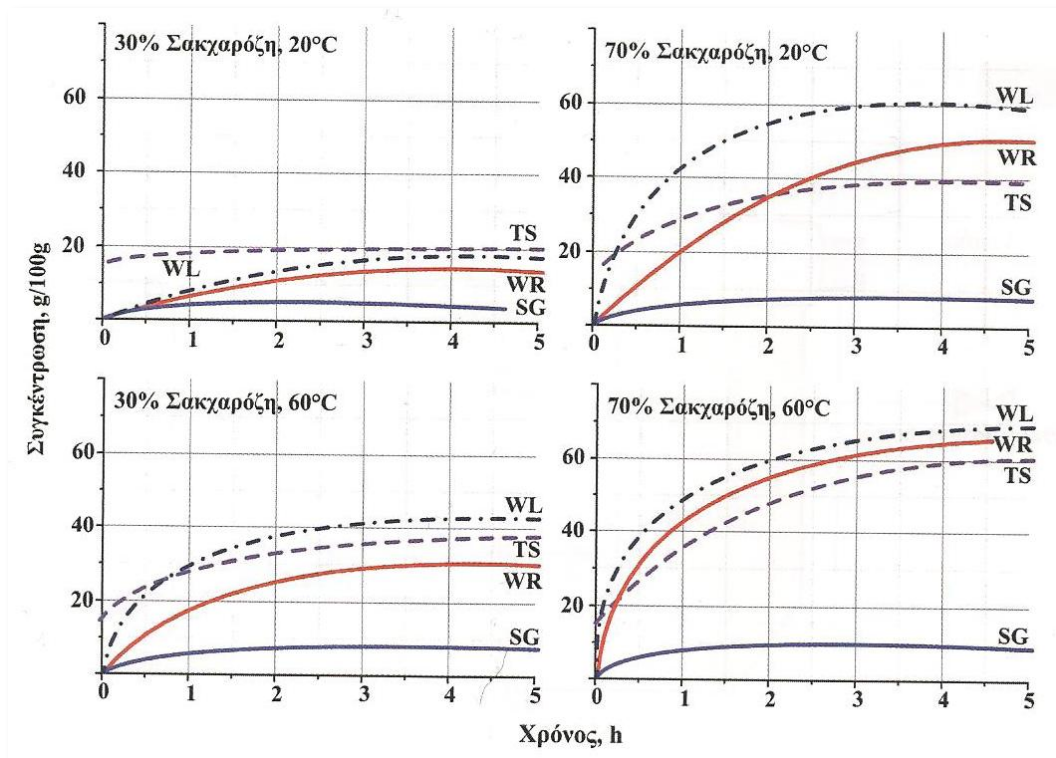
Οι συνθήκες επεξεργασίας, κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, έχουν δραματική επίδραση στην «απόδοση» της διεργασίας. Ο λόγος απώλεια νερού/πρόσληψη στερεών (WL/SG) για διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας μπορεί να διαφέρει μέχρι 120% ή και περισσότερο.

Ο ρυθμός απομάκρυνσης του νερού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η συγκέντρωση και η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος, ο χρόνος επαφής, το επίπεδο ανάδευσης του διαλύματος, το μέγεθος και σχήμα του τροφίμου, η αναλογία διαλύματος προς τρόφιμο και η εφαρμοζόμενη πίεση (κενό ή ατμοσφαιρική). Ανεξαρτήτως του είδους του υλικού, η απομάκρυνση του νερού είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την είσοδο σακχάρου προς τον ιστό και για όσο χρόνο οι μεμβράνες παραμένουν ανέπαφες (Λάζος & Λάζου, 2016).

Θερμοκρασία

Ο χρόνος εμβάπτισης και η θερμοκρασία επηρεάζουν τη μεταφορά μάζας και την ποιότητα του προϊόντος. Μελέτες πάνω στη βελτιστοποίηση της διάρκειας της διεργασίας της ώσμωσης υποδεικνύουν ότι η ανταλλαγή μάζας λαμβάνει χώρα στο μέγιστο βαθμό κατά τις δύο πρώτες ώρες της ωσμωτικής επεξεργασίας και επιταχύνεται με αύξηση της θερμοκρασίας (Gaspartero et al., 2003; Mokhtartian et al., 2014). Η θερμοκρασία ασκεί τη μεγαλύτερη επίδραση στη διαχυτότητα του νερού και των διαλυτών ουσιών.

Υψηλές θερμοκρασίες του ωσμωτικού διαλύματος οδηγούν σε μείωση του ιξώδους του διαλύματος και συνεπώς της εξωτερικής αντίστασης στη μεταφορά μάζας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απομάκρυνση νερού και η πρόσληψη στερεών (Phisut, 2012). Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του υπερτονικού διαλύματος τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης του νερού. Παρόλο που ο ρυθμός μεταφοράς μάζας αυξάνεται με τη θερμοκρασία, αυτή περιορίζεται έως τους 60°C καθώς σε υψηλότερη θερμοκρασία υπάρχει κίνδυνος βλάβης των κυτταρικών τοιχωμάτων και καταστροφής των κυτταρικών μεμβρανών (κυρίως στους φυτικούς ιστούς). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική απώλεια υδατοδιαλυτών ουσιών του τροφίμου, όπως οι βιταμίνες. Επιπλέον, η βλάβη του ιστού σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλεί δραματική μείωση στην αποτελεσματικότητα της αφυδάτωσης μέσω της αύξησης της διαχυτότητας των διαλυμένων ουσιών και της μείωσης της διαχυτότητας του νερού. Σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί ακόμα να συμβεί και ανεπιθύμητος δυσχρωματισμός του τροφίμου (Λάζος & Λάζου, 2016).



Εικόνα 16: Επίδραση της συγκέντρωσης σακχαρόζης και της θερμοκρασίας επί των μεταβολών με το χρόνο των ολικών στερεών (TS), απώλεια νερού (WL), μείωση βάρους (WR) και πρόσληψη στερεών (SG) μήλων κατά την οσμωτική αφυδάτωση (Λάζος & Λάζου, 2016).

pH

Το pH του διαλύματος μπορεί επίσης να επηρεάσει την οσμωτική επεξεργασία. Η οξύνιση αυξάνει το βαθμό απομάκρυνσης νερού μέσω αλλαγών στις ιδιότητες του ιστού και επακόλουθες αλλαγές στην υφή των τροφίμων.

Συγκέντρωση διαλύματος

Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος, το οσμωτικό διάλυμα γίνεται πιο κολλώδες και για αυτό το λόγο οι διαλυμένες ουσίες διεισδύουν με πιο αργό ρυθμό (Oladejo et al., 2013). Με αυτόν τον τρόπο η αντίσταση της μεταφοράς μάζας στο διάλυμα κοντά στην επιφάνεια των δειγμάτων αυξάνεται. Επομένως, η αύξηση της συγκέντρωσης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαχυτότητας του νερού και τη μείωση της διαχυτότητας των διαλυτών ουσιών.

Για την οσμωτική διεργασία χρησιμοποιούνται συνήθως διαλύματα υδατάνθρακα με αρχικές συγκεντρώσεις στην περιοχή των 40-70%. Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση του διαλύματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα και η έκταση της αφυδάτωσης. Ακόμη όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση του οσμωτικού διαλύματος, τόσο περισσότερη διαλυμένη ουσία εισέρχεται στο προϊόν. Αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει

στην παρασκευή τελικού προϊόντος γλυκού και μη αποδεκτού, ανάλογα με το είδος του σακχάρου που χρησιμοποιείται. Ο ρυθμός απώλειας νερού αρχικά είναι υψηλός, αλλά μετά από 1-2 ώρες μειώνεται σημαντικά (Λάζος & Λάζου, 2016).

Προσθήκη άλατος στο διάλυμα

Η προσθήκη άλατος σε ποσοστό 0,5-2,0% στο διάλυμα του σακχάρου μπορεί να αυξήσει το ρυθμό της ώσμωσης (Λάζος & Λάζου, 2016). Με τη χρήση, όμως, υψηλών συγκεντρώσεων άλατος μπορεί να επηρεασθεί αντίθετα η γεύση του προϊόντος.

Το χλωριούχο νάτριο (NaCl) έχει μεγαλύτερη ικανότητα μείωσης της ενεργότητας ύδατος και προκαλεί αξιοσημείωτο εμπλουτισμό κυρίως στους ζωικούς ιστούς, έχει όμως μειωμένη ικανότητα βελτίωσης της απώλειας ύδατος και μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας. Αντίθετα, τα διαλύματα σακχαρόζης, έχουν μεγαλύτερη ικανότητα μείωσης του περιεχόμενου ποσοστού υγρασίας. Ο συνδυασμός τους λοιπόν, μπορεί να δώσει ένα τριαδικό διάλυμα (tertiary solution) που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των δύο.

Επομένως, μείγματα σακχαρόζης και άλατος σε διαφορετικές αναλογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την επεξεργασία τόσο φυτικών όσο και ζωικών ιστών, για τη μείωση της διείδυσης και την επίτευξη υψηλότερων λόγων απώλεια νερού/πρόσληψη στερεών (σε σύγκριση με τις ουσίες μόνες τους) (Λάζος & Λάζου, 2016).

Ανάδευση του διαλύματος

Η ανάδευση είναι ένας από τους κύριους παράγοντες (Rastogi et al., 2002) για την αύξηση της μεταφοράς μάζας και την αποτροπή σχηματισμού ενός αραιωμένου στρώματος διαλύματος γύρω από τα δείγματα. Η ανάδευση του διαλύματος ενισχύει το λόγο απώλεια νερού/πρόσληψη στερεών, ειδικά κατά την πρώτη ώρα της επεξεργασίας. Ωστόσο, η ανάδευση μπορεί να είναι δύσκολη και ίσως προκαλέσει μηχανική ζημιά στα προϊόντα. Για αυτό το λόγο, σε κάθε περίπτωση, η κίνηση πρέπει να είναι ήπια για την αποφυγή της μηχανικής βλάβης του τροφίμου.

Αναλογία διαλύματος/τροφίμου

Η αναλογία διαλύματος/δείγματος πρέπει να επιλεγθεί κατάλληλα ώστε η κινητήρια δύναμη για την απομάκρυνση της υγρασίας να είναι επαρκής έως το τέλος της επεξεργασίας. Η κινητήρια δύναμη μειώνεται όταν τα ωσμωτικά διαλύματα αραιώνονται. Οι κοινώς προτεινόμενες και εφαρμόσιμες αναλογίες διαλύματος/προϊόντος είναι 3:1 με 5:1 (Beaudry et al., 2003; Ruiz-Lopez et al., 2010; Jain et al., 2011; Gupta et al., 2012), προκειμένου να αποφευχθεί σημαντική αραιώση του υπερτονικού διαλύματος.

Ακόμη, όσο μικρότερα είναι τα τεμάχια του τροφίμου τόσο ταχύτερη είναι η διεργασία, λόγω της αυξημένης επιφάνειας ανά μονάδα μάζας. Με αύξηση της επιφάνειας επαφής με το διάλυμα ενισχύονται η απομάκρυνση του νερού και η πρόσληψη στερεών. Όμως, όσο μικρότερα είναι τα τεμάχια του τροφίμου τόσο μεγαλύτερη είναι η βλάβη των κυττάρων, η οποία συμβαίνει κατά τον τεμαχισμό, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη απώλεια διαλυτών συστατικών του τροφίμου προς το διάλυμα.

Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη διεργασία

Εκτός των παραπάνω, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και παράμετροι που αφορούν τις κυτταρικές ιδιότητες του υλικού, όπως διαχυτότητα, πορώδες, συρρίκνωση κ.λπ., καθώς και άλλες ιδιότητες των διαλυμάτων όπως ιξώδες, πυκνότητα, μαζί με τις συνθήκες επεξεργασίας, όπως θερμοκρασία και σχήμα του υλικού (Chavan and Amarowicz, 2012; Fito et al., 2001a; Fito et al., 2001b; Tortoe, 2010). Γενικά, εξαρτώμενου του ιστού και των συνθηκών της ώσμωσης, όπως θερμοκρασία και πίεση, διάχυση, μεταφορά (συναγωγή) και πυκνότητα ροής, αυτές μπορούν να λάβουν χώρα συγχρόνως και να συνεισφέρουν στην πολυπλοκότητα της διεργασίας. Περαιτέρω μεταβολές στη σύνθεση και τη δομή, όπως συρρίκνωση, μείωση πορώδους, κατάρρευση κυττάρου, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά την ωσμωτική επεξεργασία, τροποποιούν τη συμπεριφορά του ιστού στη μετάδοση θερμότητας και μεταφορά μάζας και πρέπει επίσης να ληφθούν υπ' όψιν (Λάζος & Λάζου, 2016).

Η ωσμωτική κατεργασία επίσης επηρεάζεται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των διαλυμένων ουσιών (μοριακό βάρος, ιοντική κατάσταση, διαλυτότητα της ουσίας στο νερό, διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης, οργανοληπτικές ιδιότητες) και το κόστος (Bekele & Ramasawamy, 2010).

Οι υψηλού μοριακού βάρους διαλυτές ουσίες είναι πιο αποτελεσματικές στο σχηματισμό μιας πυκνής στιβάδας-φράγματος στην επιφάνεια του προϊόντος, ενισχύοντας έτσι την απομάκρυνση του νερού κατά την εμβάπτιση στο πυκνό διάλυμα (Λάζος & Λάζου, 2016).

2.2.4. Η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην ποιότητα και τις διατροφικές ιδιότητες των τροφίμων

Η ωσμωτική αφυδάτωση διεξάγεται σε ήπιες θερμοκρασίες (30-50°C) ώστε να αποφευχθούν καταστροφές που σχετίζονται με τις θερμικές επεξεργασίες, καθώς έχει ως σκοπό την μείωση του περιεχόμενου νερού με την ελάχιστη υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος. Τα προϊόντα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση παρουσιάζουν βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπως γλυκύτερη γεύση, συγκρινόμενα με τα συμβατικά αφυδατωμένα προϊόντα. Τα τελικά προϊόντα είναι πολύ ευχάριστα για απευθείας κατανάλωση λόγω των καλύτερων φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων και του διατροφικού τους προφίλ (Tortoe, 2010).

Η δομική καταστροφή κατά τη διάρκεια μεταγενέστερων επεξεργασιών όπως η ξήρανση ή η κατάψυξη μειώνεται σημαντικά (Maestrelli et al., 2001). Τα ωσμωτικά προκατεργασμένα κατεψυγμένα προϊόντα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και διατηρούν το χρώμα, τη γεύση και την υφή τους μετά την απόψυξη (Maestrelli et al., 2001; Dermesonlouoglou et al., 2007a,c, 2016).

Η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα αποθήκευσης με την επιλογή των κατάλληλων διαλυτών ουσιών και διατηρώντας μια ισορροπημένη αναλογία εμπλουτισμού και απομάκρυνσης νερού (Tortoe, 2010). Μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί με σκοπό τη διατήρηση της σύνθεσης του τροφίμου με τη μερική απομάκρυνση νερού και τον εμπλουτισμό του (Torreggiani, 1993). Μέσω αυτής της επιλεκτικής ενσωμάτωσης στο σύστημα του τροφίμου, είναι δυνατό, έως έναν ορισμένο βαθμό, να μεταβληθούν οι διατροφικές και λειτουργικές ιδιότητες, κατορθώνοντας έναν συγκεκριμένο σχηματισμό του προϊόντος (λειτουργικά τρόφιμα) χωρίς σημαντική τροποποίηση της ακεραιότητας του (matrix engineering).

2.2.5. Ωσμωτικά υλικά και η χρήση εναλλακτικών υδατανθράκων ως ωσμωτικά μέσα

Όσον αφορά στα ωσμωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται περισσότερο στις διεργασίες εμπλουτισμού, η επιλεγόμενη διαλυμένη ουσία πρέπει να έχει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό, χαμηλό κόστος, και θετική επίδραση στις οργανοληπτικές ιδιότητες και πρέπει να εξασφαλίζει τη σταθερότητα του τελικού προϊόντος (Brochier et al., 2015). Ενώ, η σακχαρόζη και/ή τα κοινά άλατα είναι τα πιο γνωστά ωσμωτικά υλικά για τους ιστούς φρούτων και λαχανικών, τελευταίες μελέτες προτείνουν και τη χρήση εναλλακτικών ωσμωτικών μέσων για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας.

Ο τύπος του ωσμωτικού μέσου που χρησιμοποιείται έχει ισχυρή επίδραση στην μεταφορά μάζας κατά τη διάρκεια της ώσμωσης λόγω του μοριακού βάρους και της ικανότητας δέσμευσης νερού (Sritongtae et al., 2011). Η τιμή της απώλειας νερού αυξάνεται με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (ωσμωμοριακότητα) του ωσμωτικού διαλύματος, αλλά και το μοριακό μέγεθος της διαλυμένης ουσίας έχει επίσης επίδραση στην απώλεια ύδατος και την πρόσληψη στερεών. Υλικά με μικρό μοριακό βάρος έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερη ωσμωτική πίεση και είναι πιο εύκολο να εισχωρήσουν στα κύτταρα σε σύγκριση με ωσμωτικά υλικά με μεγάλο μοριακό βάρος (Tortoe, 2010). Μελέτες έδειξαν ότι ο βαθμός εισχώρησης της ουσίας είναι ανάλογος της συγκέντρωσης του διαλύματος και αντιστρόφως ανάλογος του μοριακού μεγέθους του σακχάρου (Panagiotou et al., 1998; Giraldo et al., 2003).

Έχει γίνει εντατική έρευνα για κατάλληλα υποκατάστατα σακχαρόζης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ωσμωτική αφυδάτωση και να δώσουν ένα προϊόν με παρόμοια ή καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, και ειδικότερα, δομικές και οργανοληπτικές ιδιότητες. Η μερική αντικατάσταση της σακχαρόζης με πολυδριικές αλκοόλες ή ανεστραμμένα σάκχαρα είναι δυνατό να βελτιώσει την υφή και την ποιότητα του τροφίμου και ειδικά να βοηθήσει στην διατήρηση της υγρασίας του. Δεδομένου ότι η σακχαρόζη δεν είναι κατάλληλη για διαβητικούς, πρέπει να διερευνηθούν εναλλακτικά ωσμωτικά υλικά ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες αυτής της ειδικής ομάδας καταναλωτών (Nambiar et al., 2016).

Γλυκερόλη

Η γλυκερόλη είναι ένα πολύπλευρο οργανικό υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική, τη φαρμακευτική, τη βιομηχανία χαρτιού και υφάσματος αλλά και στη βιομηχανία τροφίμων (Mah et al., 2014). Αποτελεί χημικό συστατικό και στα τρόφιμα βρίσκεται στους χυμούς φρούτων, τα κρασιά, τα έλαια λαχανικών, το μέλι κ.ά. (Cordella et al., 2003). Η παραγωγή της συνδέεται με την παρουσία μικροοργανισμών που περιέχονται στα τρόφιμα.

Η γλυκερίνη, όπως ονομάζεται αλλιώς, είναι ένα άχρωμο, άοσμο υγρό με γλυκιά γεύση. Είναι κολλώδης σε θερμοκρασία δωματίου και δεν είναι τοξική σε μικρές συγκεντρώσεις. Στα τρόφιμα, η χρησιμότητα της γλυκερόλης έγκειται στην ικανότητα της να σχηματίζει ενδομοριακούς δεσμούς υδρογόνου, ιδιαίτερα με μόρια νερού. Αυτό αυξάνει την περιεκτικότητα του νερού στα συντηρηθέντα τρόφιμα, χωρίς όμως να επηρεάζεται η διάρκεια ζωής τους, και επιπλέον βελτιώνει το ιξώδες και την υφή. Η μικρή

τοξικότητα και η έλλειψη δυσάρεστης οσμής ή γεύσης επιτρέπουν τη χρήση της γλυκερόλης ως γαλακτοματοποιητή.

Η γλυκερόλη προάγει φαινόμενα μεταφοράς μάζας (απώλεια ύδατος και πρόσληψη στερεών) σε σύγκριση με τα συμβατικά διαλύματα σακχαρόζης. Χρησιμοποιείται ως πλαστικοποιητής στα τρόφιμα, καθώς έχει την ικανότητα να μειώνει τους εσωτερικούς δεσμούς υδρογόνου, ενώ αυξάνει τους διαμοριακούς χώρους, ώστε να βελτιώσει την υφή τους (Mc Hugh and Krochta, 1994). Χαρακτηρίζεται στον Codex Alimentarius ως υγραντικό/πηκτικό μέσο και έχει αντιμικροβιακές ιδιότητες (Moreira et al., 2007; Codex Alimentarius, 2012). Η θερμιδική της αξία είναι $1,8 \cdot 10^7$ J/kg (4,3 kcal/g) και αποτελεί παραπροϊόν της παραγωγής βιοκαυσίμων.

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (Food and Drug Administration ή FDA) έχει εγκρίνει τη χρήση της γλυκερόλης ως πρόσθετο στα τρόφιμα και τα υλικά συσκευασίας των τροφίμων και την αναγνωρίζει ως ασφαλές (GRAS) συστατικό.

Ολιγοφρουκτόζη

Μια σειρά δημοσιευμένων εργασιών μελετούν τη χρήση της ολιγοφρουκτόζης στα ωσμωτικά διαλύματα κατά την εφαρμογή ώσμωσης ως προκατεργασία πριν την κατάψυξη για την παραγωγή βελτιωμένων προϊόντων, όπως κατεψυγμένος πράσινος αρακάς (Giannakourou and Taoukis, 2003), τομάτες (Dermesonlouoglou et al., 2007c), αγγούρια (Dermesonlouoglou et al., 2008b), φράουλες (Dermesonlouoglou et al., 2016), και καρπούζια (Dermesonlouoglou et al., 2007a).

Η ολιγοφρουκτόζη είναι μια υποομάδα της ινουλίνης (ετερογενές μείγμα πολυμερών φρουκτόζης), που αποτελείται από πολυμερή με βαθμό πολυμερισμού (DP) ≤ 10 (Niness, 1999). Ανήκει στην ομάδα υδατανθράκων που είναι γνωστή ως φρουκτάνες (fructans). Έχει γλυκιά, ευχάριστη γεύση και μεγάλη διαλυτότητα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εμπλουτίσει τα τρόφιμα με διαιτητικές ίνες, χωρίς να προκαλεί καταστροφικές οργανοληπτικές επιδράσεις, να βελτιώσει τη γεύση, το άρωμα και την γλυκύτητα των τροφίμων με λίγες θερμίδες, και να βελτιώσει την υφή των προϊόντων με μειωμένη λιποπεριεκτικότητα. Βρίσκεται ευρέως στη φύση, σε μια ποικιλία φυτών και σε κάποια βακτήρια και μύκητες (Van Loo et al., 1995).

Το τελικό προϊόν ολιγοφρουκτόζης έχει 30% τη γλυκύτητα της σακχαρόζης και περιέχει 5% γλυκόζη, φρουκτόζη και σακχαρόζη σε ξηρή βάση. Χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με υψηλής έντασης γλυκαντικές ουσίες ως υποκατάστατο της ζάχαρης,

παρέχει ένα καλά ισορροπημένο γλυκαντικό προφίλ και καλύπτει την επίγευση της ασπαρτάμης ή της ακεσουλφάμης (Wiedmann and Jager, 1997).

Έχει μικρότερη θερμιδική αξία από τους τυπικούς υδατάνθρακες λόγω των β (2-1) δεσμών που συνδέουν τα μόρια της φρουκτόζης. Λόγω αυτών των δεσμών, δεν πέπτεται από τα εντερικά ένζυμα του ανθρώπινου οργανισμού. Έτσι, διέρχεται από το στόμα, το στομάχι και το λεπτό έντερο χωρίς να μεταβολίζεται. Επομένως, είναι κατάλληλη για κατανάλωση και από διαβητικούς (Niness, 1999).

Τριαδικά ωσμωτικά διαλύματα (tertiary osmotic solutions)

Τελευταία, η χρήση των πολυσύνθετων διαλυμάτων κερδίζει αυξανόμενο ενδιαφέρον. Το μείγμα άλατος και σακχάρου σε ένα τριαδικό διάλυμα έχει αναφερθεί ως πλεονεκτική μέθοδος για την ωσμωτική αφυδάτωση σε διάφορες εφαρμογές, καθώς οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια ύδατος/πρόσληψη στερεών χωρίς υπερβολική εφίδρωση ή αλάτισμα του προϊόντος (Rodrigues & Fernandes, 2007; Heredia and Andres, 2008; Aminzadeh et al., 2012; Mercali et al., 2012; Vasconcelos et al., 2012). Μελέτες για τη χρήση τριαδικών διαλυμάτων για τον καλύτερο έλεγχο της κύριας ροής μάζας είναι ανάμεσα στα κύρια ερευνητικά ενδιαφέροντα στο πεδίο της ωσμωτικής αφυδάτωσης που αφορούν στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, ανάλογα με την τελική χρήση του τροποποιημένου ιστού. Σε αυτό το πλαίσιο, ανάλογα με τον κύριο σκοπό της ωσμωτικής αφυδάτωσης (αφυδάτωση, αλάτισμα κ.λπ.), παίζει σημαντικό ρόλο όχι μόνο η συγκέντρωση αλλά και ο τύπος της ωσμωτικής διαλυμένης ουσίας (Dermesonlouoglou et al., 2018).

2.2.6. Διαχείριση των ωσμωτικών διαλυμάτων

Κάποιοι ερευνητές έχουν επισημάνει ότι η περιορισμένη βιομηχανική εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης οφείλεται σε προβλήματα διαχείρισης των χρησιμοποιούμενων ωσμωτικών διαλυμάτων και στην προβληματική απόρριψη τους στο περιβάλλον (Uzuegbu & Ukeka, 1987; Giroux et al., 2000).

Τα ωσμωτικά διαλύματα είναι δύσκολο να επαναχρησιμοποιηθούν και μπορούν να θεωρηθούν βιομηχανικά απόβλητα που φέρουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο, καθώς περιλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων στερεών και οργανικών ή ανόργανων διαλυτών ουσιών (υψηλό BOD και αιωρούμενα στερεά). Για αυτό το λόγο τα προϊόντα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση έχουν μεγάλο κόστος (García-Martínez et al., 2002).

Τα ωσμωτικά διαλύματα αποτελούν μεγάλο μέρος των συνολικών αποβλήτων διαφόρων βιομηχανιών. Είναι πρόβλημα όχι μόνο λόγω του υψηλού κόστους διαχείρισής

τους αλλά και γιατί σε πολλές περιπτώσεις η διαχείριση τους είναι μη εφικτή ή μη αποτελεσματική. Λόγω των προβλημάτων που προκαλούν, οι αρμόδιες αρχές δεν επιτρέπουν την απόρριψή τους στο κύριο αποχετευτικό σύστημα, χωρίς τουλάχιστον να υποστούν μια προεπεξεργασία (Romero Barranco et al., 2001).

Η επαναχρησιμοποίηση των ωσμωτικών διαλυμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική ώστε να καταστεί η διεργασία της ώσμωσης οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον (Valdez-Fragoso et al., 1998).

Οι λόγοι που επιβάλλουν την διαχείριση των ωσμωτικών διαλυμάτων είναι (Romero Barranco et al., 2001):

- Επανάκτηση υλικών για επαναχρησιμοποίηση ή ως εμπορεύσιμα παραπροϊόντα.
- Μείωση της κατανάλωσης νερού μέσω ανακύκλωσης των λυμάτων, για χρησιμοποίησή τους σε άλλες διεργασίες που δεν απαιτούν νερό υψηλής ποιότητας.
- Συμμόρφωση με τις απαιτούμενες προδιαγραφές των αρχών για τον έλεγχο των ρύπων.
- Μείωση του κόστους εμπορευματοποίησης των αποβλήτων που επιβάλλεται από τις δημοτικές αρχές για να καλυφθούν τα έξοδα της επεξεργασίας και απόρριψής τους.

Τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μπορούν παρόλα αυτά να συμπυκνωθούν εκ νέου στην αρχική τους συγκέντρωση και να επαναχρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία διαφόρων προϊόντων (Valdez-Fragoso et al., 1998). Οι πιο συχνά προτεινόμενες μέθοδοι συμπύκνωσης είναι: επανασύσταση των διαλυμάτων με κατάλληλη προσθήκη διαλυτών ουσιών (Ponting, 1973; Bongirwar and Sreenivasan, 1977; Levi et al., 1983; Giroux, 1992), εξάτμιση υπό ατμοσφαιρική πίεση (Jarayaman et al., 1974; Lericci et al., 1977 and 1983; Pavasovic et al., 1986; Lenart & Lewicki, 1988), εξάτμιση υπό κενό (Bongirwar and Screenivasan, 1977; Bolin et al., 1983) και ηλιακή εξάτμιση (Jackson & Mohamed, 1971; Graboski & Mujumdar, 1992). Το διάλυμα θα πρέπει να απορριφθεί με κατάλληλους χειρισμούς και σειρά επεξεργασιών που το καθιστούν ασφαλές για απόρριψη στον υδάτινο αποδέκτη, όταν δεν είναι πλέον δυνατή η επανασύσταση του με τις ανάλογες ιδιότητες.

2.2.7. Εφαρμογή ωσμωτικής επεξεργασίας για την επέκταση του χρόνου αποθήκευσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση (OD) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την μείωση της ενεργότητας ύδατος (a_w) σε τρόφιμα με σκοπό να βελτιώσει τις θρεπτικές, οργανοληπτικές και λειτουργικές ιδιότητες τους. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, νερό ρέει από το προϊόν προς το ωσμωτικό διάλυμα, ενώ μεταφέρονται διαλυτές ουσίες του διαλύματος προς το τρόφιμο (Raoult-Wack, 1994).

Η ενεργότητα ύδατος (a_w) είναι το μέγεθος που περιγράφει διαθέσιμο νερό για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών ή για χημικές αντιδράσεις κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση του τροφίμου. Εκφράζει, πιο συγκεκριμένα, την ελευθερία του νερού να κινείται ή να αλληλεπιδρά με τα άλλα συστατικά στο τρόφιμο και όχι απλώς την περιεκτικότητα σε νερό. Είναι επομένως φανερό ότι η παράμετρος αυτή αποτελεί το κλειδί για τη σταθερότητα του προϊόντος (Piggott and Tucker, 1990). Η ενεργότητα ύδατος εξαρτάται τόσο από τους διαλύτες όσο και από τις διαλυμένες ουσίες. Η ωσμωτική αφυδάτωση προκαλεί σημαντική μείωση της ενεργότητας ύδατος, με τα διαλύματα μεγαλύτερων συγκεντρώσεων να εμφανίζουν την ισχυρότερη επίδραση, δίνοντας έτσι προϊόντα χωρίς την συνήθη ποιοτική και διατροφική υποβάθμιση που παρατηρείται στις παραδοσιακές μεθόδους αφυδάτωσης (Tsironi & Taoukis, 2013).

Η μερική αφυδάτωση των τροφίμων μέσω ωσμωτικής επεξεργασίας έχει λάβει αυξανόμενη προσοχή ως προκατεργασία για επακόλουθες, πιο «κλασικές» επεξεργασίες για την βελτίωση των διατροφικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων (Torreggiani, 1993; Collignan et al., 2001; Rastogi et al., 2002; Cath et al., 2006). Η χρήση χαμηλών θερμοκρασιών κατά την προκατεργασία μπορεί να είναι περισσότερο κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί σε μια γραμμή παραγωγής (Collignan & Raoult-Wack, 1994). Οι περισσότερες μελέτες έχουν διεξαχθεί σε φυτικούς ιστούς και έχει αποδειχθεί η δυνατότητα επέκτασης της διάρκειας ζωής ωσμωμένων προϊόντων συντηρημένων σε ψύξη και κατάψυξη (Dermesonlouoglou et al., 2007a; Pereira et al., 2004; Kamińska et al., 2008).

Ο σκοπός της συντήρησης με την εφαρμογή ωσμωτικών προκατεργασιών είναι να παραχθούν προϊόντα που να μπορούν να αποθηκευθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να προηγηθεί ισχυρή θερμική επεξεργασία, ασηπτική συσκευασία, ή κατάψυξη. Είναι σημαντικό, όμως, να εξασφαλίζεται ότι τα προϊόντα που προκύπτουν είναι ασφαλή για ανθρώπινη κατανάλωση, όχι μόνο κατά την έξοδο τους από το εργοστάσιο αλλά και μέχρι την τελική τους κατανάλωση.

2.2.8. Ωσμωτική αφυδάτωση σε σύκα

Η εφαρμογή ωσμωτικής επεξεργασίας ως μέθοδος συντήρησης των σύκων δεν έχει μελετηθεί τόσο εκτενώς όσο σε άλλους φυτικούς ιστούς. Συνήθως η ωσμωτική αφυδάτωση εφαρμόζεται ως προκατεργασία άλλων μεθόδων συντήρησης προκειμένου να συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος, εφόσον από μόνη της δεν οδηγεί σε σταθερό προϊόν. Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως ότι μειώνει στο ελάχιστο την θερμική καταστροφή στους ιστούς του τροφίμου, στο χρώμα και τη γεύση, βελτιώνει την υφή, και μειώνει την κατανάλωση ενέργειας (Şahin & Öztürk, 2018). Στην περίπτωση των σύκων είναι χρήσιμο το γεγονός ότι μπορεί να συνδυαστεί με μεθόδους ξήρανσης για τη βελτίωση της ποιότητας του αποξηραμένου προϊόντος (Naikwadi et al., 2010) και τη μείωση των ενεργειακών αναγκών (Torreggiani, 1993). Είναι μια αποτελεσματική ενεργειακά μέθοδος καθώς το νερό δεν υφίσταται αλλαγή φάσης (Bolin et al., 1983), ενώ κάποιες ιδιότητες των προϊόντων όπως το χρώμα, η υφή και το άρωμα διατηρούνται κατά τη διεργασία, με αποτέλεσμα να προκύπτουν προϊόντα ανώτερης ποιότητας σε σύγκριση με τα συμβατικά αποξηραμένα ανάλογα.

Οι De Mello et al. (2019) εφάρμοσαν ωσμωτική αφυδάτωση σε πράσινα σύκα και μελέτησαν την επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων σακχαρόζης (40, 50 και 60°Brix), καθώς και την επίδραση της εφαρμογής κενού στην αποτελεσματικότητα της διεργασίας. Συμπέραναν πως σαφώς η συγκέντρωση του ωσμωτικού παράγοντα επηρεάζει την κινητική της ώσμωσης αλλά καθοριστικό ρόλο έχει και η φύση του υλικού. Η ποικιλία του σύκου, το είδος, το στάδιο ωρίμανσης, το πορώδες, το σχήμα και το μέγεθος συμβάλλουν σημαντικά στον ρυθμό μεταφοράς μάζας μεταξύ προϊόντος και διαλύματος. Επιπλέον, η εφαρμογή κενού στην αρχή της διεργασίας προήγαγε την απώλεια ύδατος και την πρόσληψη στερεών. Επιπλέον, οι Contreras και Smyrl (1981) υποστήριξαν ότι η ωσμωτική επεξεργασία είναι αποτελεσματική στην αποτροπή του αποχρωματισμού του φρούτου μέσω ενζυμικής αμαύρωσης, και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να αποφευχθεί η χρήση διοξειδίου του θείου ως συντηρητικού παράγοντα. Οι Piga et al. (2008) μελέτησαν διάφορες συνθήκες ώσμωσης και κατέληξαν πως στην περίπτωση των σύκων κανένας συνδυασμός συνθηκών από όσους εφάρμοσαν δε μπορεί να οδηγήσει σε σταθερό και ασφαλές προϊόν έτοιμο για κατανάλωση που να μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντιθέτως η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να αποτελέσει μια εξαιρετική μέθοδο προεπεξεργασίας για άλλες μεθόδους που οδηγούν σε ασφαλή προϊόντα, όπως η ξήρανση και η κατάψυξη.

2.3. Ξήρανση

2.3.1. Γενικά για την ξήρανση

Παραδοσιακά, έχουν εφαρμοσθεί πολλές μέθοδοι συντήρησης των τροφίμων όπως η ζύμωση, η αφυδάτωση, ή η αλάτιση. Οι κύριες τεχνικές συντήρησης των τροφίμων κατηγοριοποιούνται σε τρεις δράσεις (Rahman, 2007):

- Καθυστέρηση ή αναχαίτιση της χημικής υποβάθμισης και της μικροβιολογικής ανάπτυξης.
- Απευθείας αδρανοποίηση βακτηρίων, ζυμών, μυκήτων ή ενζύμων.
- Αποφυγή επιμόλυνσης πριν και μετά την επεξεργασία.

Η ξήρανση είναι μια από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης των τροφίμων, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως και σήμερα. Η ξήρανση ή αφυδάτωση είναι εξ ορισμού η απομάκρυνση νερού μέσω εξάτμισης, από στερεά ή υγρά τρόφιμα, με σκοπό την παραγωγή ενός τροφίμου με χαμηλή περιεχόμενη υγρασία. Οι κύριες τεχνολογικές παράμετροι της ξήρανσης των τροφίμων και κατ' επέκταση οι λόγοι εφαρμογής της είναι (Berk, 2009; Fox et al., 2014):

- Συντήρηση ως αποτέλεσμα της μείωσης της ενεργότητας ύδατος άρα εξασφάλιση μακράς διάρκειας ζωής του προϊόντος.
- Μείωση του βάρους και του όγκου με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους μεταφοράς.
- Μετατροπή του τροφίμου σε μια πιο σταθερή μορφή που είναι πιο εύκολο να αποθηκευτεί, να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί, π.χ. μετατροπή των υγρών όπως το γάλα σε σκόνη που μπορεί να ανασυσταθεί στην αρχική μορφή με την προσθήκη νερού, διευκολύνοντας έτσι τους χειρισμούς.
- Προσθήκη ενός επιθυμητού χαρακτηριστικού σε ένα τρόφιμο όπως διαφορετική γεύση, τραγανότητα, ελαστικότητα κλπ, δηλαδή δημιουργία ενός νέου προϊόντος (π.χ. μετατροπή των σταφυλιών σε σταφίδες).

Η συντήρηση των τροφίμων βασίζεται στο ότι η ελάττωση της υγρασίας κάτω ενός ορίου (περίπου 10%) έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή της δράσης μικροοργανισμών και ενζύμων. Η χαμηλή ενεργότητα ύδατος, η οποία επιτυγχάνεται με την ξήρανση, επεκτείνει το χρόνο ζωής των αποξηραμένων τροφίμων χωρίς να απαιτείται ψύξη κατά την αποθήκευση και διακίνησή τους. Κατά την ξήρανση, συνήθως συμβαίνει σημαντική ελάττωση βάρους και όγκου και έτσι μειώνεται το κόστος αποθήκευσης και

μεταφοράς. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά στα αποξηραμένα τρόφιμα όπως είναι η υποβαθμισμένη, ζαρωμένη εμφάνιση του προϊόντος, η μειωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού και η ατελής επανενυδάτωση λόγω μετουσίωσης πρωτεϊνών, η απώλεια κάποιων θρεπτικών συστατικών και οι μεταβολές σε χρώμα, υφή και γεύση κυρίως σε φρούτα και λαχανικά (Prabhakar & Mallika, 2014).

Οι παράγοντες που ελέγχουν την διαδικασία της ξήρανσης είναι η μετάδοση θερμότητας ώστε να προσφερθεί η απαιτούμενη για την εξάτμιση του νερού ενέργεια και η απομάκρυνση των υδρατμών (μεταφορά μάζας) από το τρόφιμο. Η διαδικασία της ξήρανσης είναι πολύπλοκη και περιλαμβάνει βασικές διεργασίες, όπως εξάτμιση, ροή θερμότητας, ροή μάζας (νερού), μετακίνηση ρευστών, διάχυση, ψυχομετρία, ρευστοποίηση, μεταφορά, διήθηση, ανάμιξη, καύση, διαχωρισμό κατά μέγεθος και κρυστάλλωση (Λάζος & Λάζου, 2016).

Γενικά η ξήρανση των τροφίμων συντελείται σε τρία στάδια: την επεξεργασία πριν την ξήρανση, την ίδια τη διεργασία της ξήρανσης και τους χειρισμούς μετά την ξήρανση που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος ανάλογα με το είδος του τροφίμου και τη χρήση για την οποία προορίζεται (Lewicki, 2006).

Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται οι όροι ξήρανση και αφυδάτωση. Ο όρος ξήρανση (drying) ορίζεται ως η φυσική διεργασία κατά την οποία το τρόφιμο ξηραίνεται με την επίδραση φυσικών αιτιών, όπως ο ήλιος και ο ξηρός αέρας. Με τον όρο αφυδάτωση (dehydration) εννοείται η τεχνητή ξήρανση, δηλαδή η ξήρανση η οποία επιτυγχάνεται με τεχνητή θερμότητα. Παρόλα αυτά συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται και οι δύο όροι σε όλες τις περιπτώσεις (Λάζος & Λάζου, 2016).

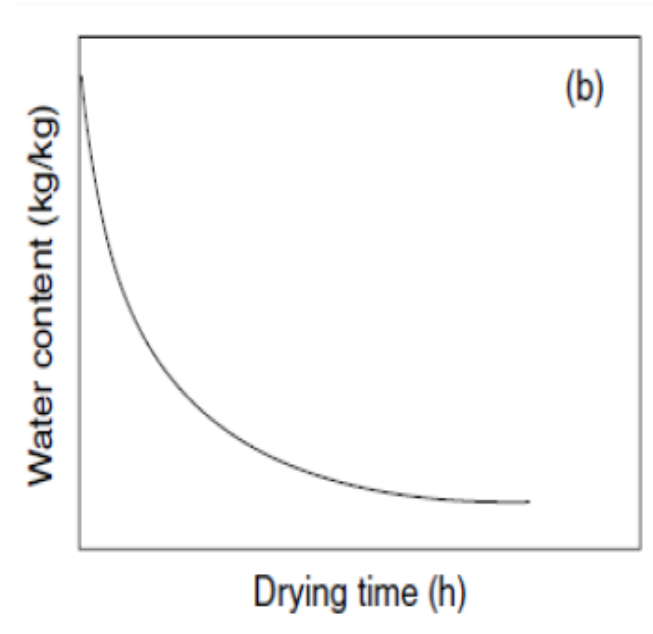
2.3.2. Μηχανισμός της ξήρανσης

Παρά τη σημασία της ξήρανσης ως βιομηχανικής μεθόδου και την πρόσφατη εξέλιξη στην έρευνα για τη διεργασία, οι φυσικές αρχές των πολύπλοκων φαινομένων που συμβαίνουν κατά την αφυδάτωση και επανενυδάτωση δεν είναι πλήρως κατανοητές. Η μαθηματική περιγραφή της ξήρανσης είναι ιδιαίτερα δύσκολη στην περίπτωση των τροφίμων. Τα πιο σημαντικά θέματα κατά την αφυδάτωση των τροφίμων είναι (Berk, 2009):

- *Η κινητική της ξήρανσης:* με κάποιες εξαιρέσεις όπως η ξήρανση με ψεκασμό (spray drying), η ξήρανση είναι σχετικά αργή διεργασία. Η γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό ξήρανσης είναι απαραίτητη για τον βέλτιστο σχεδιασμό και λειτουργία των συστημάτων ξήρανσης.
- *Ποιότητα του προϊόντος:* η απομάκρυνση νερού δεν είναι η μόνη επίπτωση των περισσότερων μεθόδων ξήρανσης. Άλλες σημαντικές ποιοτικές μεταβολές στη γεύση, το άρωμα, την εμφάνιση, την υφή και τη θρεπτική αξία μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα των συνθηκών της διεργασίας. Η έκταση αυτών των μεταβολών εξαρτάται από τις εφαρμοζόμενες συνθήκες.
- *Κατανάλωση ενέργειας:* οι πιο κοινές μέθοδοι ξήρανσης χρησιμοποιούν μεγάλα ποσά ενέργειας με σχετικά μικρή αποτελεσματικότητα. Από άποψη ενέργειας, η ξήρανση είναι μια ενεργειοβόρος διαδικασία απομάκρυνσης νερού, συγκριτικά με άλλες μεθόδους όπως η εξάτμιση ή ο διαχωρισμός με μεμβράνες.

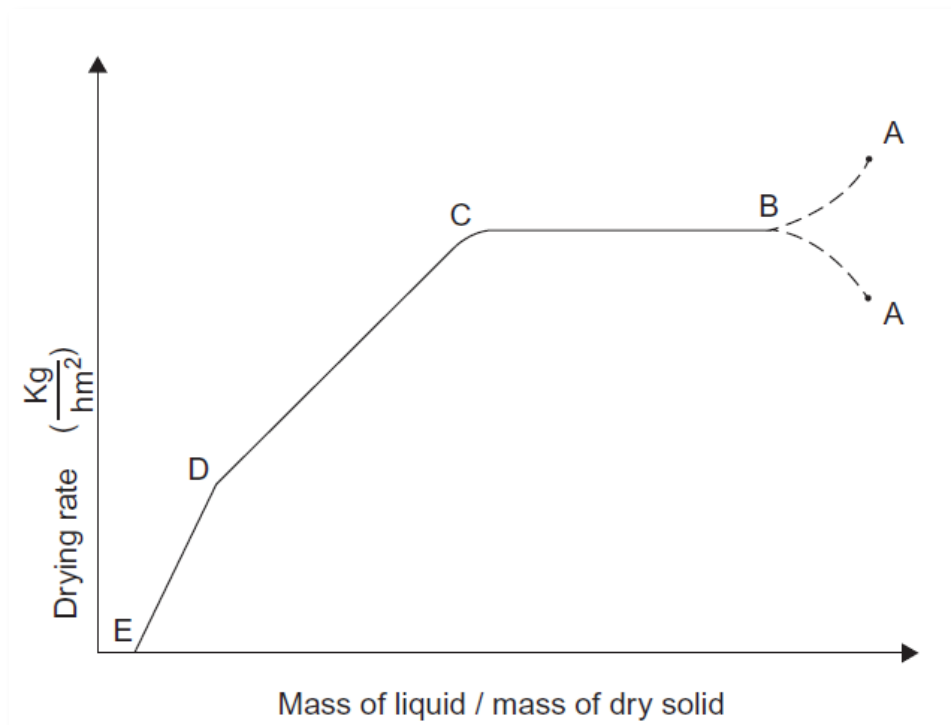
Ο μηχανισμός της απομάκρυνσης νερού μέσω ξήρανσης περιλαμβάνει δύο ταυτόχρονες διεργασίες, μεταφορά θερμότητας για την εξάτμιση του νερού στο τρόφιμο και μεταφορά μάζας (των υδρατμών) που σχηματίζονται έξω από το τρόφιμο. Επομένως, η ξήρανση είναι μια διεργασία που βασίζεται σε ταυτόχρονη μεταφορά μάζας και θερμότητας (Berk, 2009).

Κατά την ξήρανση είναι απαραίτητο να απομακρυνθεί τόσο το ελεύθερο νερό από την επιφάνεια όσο και το δεσμευμένο νερό από το εσωτερικό. Αν προσδιορισθεί η περιεκτικότητα υγρασίας προς το χρόνο ξήρανσης θα ληφθεί μια καμπύλη από την οποία προκύπτει ο ρυθμός ξήρανσης (βλ. Εικόνα 17) (Λάζος & Λάζου, 2016).



Εικόνα 17: Καμπύλη ξήρανσης (moisturecontrol.weebly.com).

Τα χαρακτηριστικά της ξήρανσης του υλικού μπορούν να περιγραφούν μέσω γραφικής παράστασης του ρυθμού ξήρανσης προς την αντίστοιχη περιεκτικότητα υγρασίας. Μια τυπική καμπύλη ξήρανσης παρουσιάζεται στη συνέχεια (βλ. Εικόνα 18) (Fox et al., 2014).



Εικόνα 18: Καμπύλη ρυθμού ξήρανσης (Fox et al., 2014).

Το καμπύλο τμήμα AB αντιπροσωπεύει την ασταθή περίοδο προσαρμογής και μπορεί να εμφανίσει ανοδικό ή καθοδικό ρυθμό. Η κρίσιμη περιεκτικότητα υγρασίας (σημείο C) ορίζεται ως η μέση περιεχόμενη υγρασία του στερεού τη στιγμή που εμφανίζεται το πρώτο ξηρό σημείο στην επιφάνεια του υλικού. Εξαρτάται από την ευκολία με την οποία κινείται η υγρασία μέσα στο υλικό και ως εκ τούτου από το πορώδες του υλικού, το πάχος του δείγματος και τον ρυθμό ξήρανσης (Fox et al., 2014). Το τμήμα BC είναι η περίοδος σταθερού ρυθμού όπου ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας προς το υλικό και ο ρυθμός μεταφοράς μάζας προς τον αέρα βρίσκονται σε ισορροπία (Λάζος & Λάζου, 2016). Το τμήμα CD αποτελεί την πρώτη περίοδο της φάσης ελαττούμενου ρυθμού και είναι η περίοδος μεταξύ της εμφάνισης του πρώτου ξηρού σημείου στην επιφάνεια του υλικού έως την εξάλειψη του τελευταίου υγρού σημείου, όπου η ξήρανση γίνεται με μειωμένο ρυθμό. Το τμήμα DE είναι η δεύτερη περίοδος της φάσης ελαττούμενου ρυθμού όπου η περιεχόμενη υγρασία συνεχίζει να μειώνεται έως το σημείο E, που συμβολίζει την υγρασία ισορροπίας. Η υγρασία ισορροπίας λαμβάνεται όταν η πίεση υδρατμών έξω από το στερεό ισούται με την μερική πίεση υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Δεν εξαρτάται από τον ρυθμό ξήρανσης αλλά από τις ιδιότητες του υλικού. Μόνο τα υγροσκοπικά υλικά, εκείνα δηλαδή που η μερική πίεση υδρατμών ποικίλει με την περιεκτικότητα υγρασίας, εμφανίζουν υγρασία ισορροπίας (Fox et al., 2014).

Σε πολλά ομοιογενή υλικά η κίνηση της υγρασίας από το εσωτερικό του τροφίμου προς την επιφάνεια διέπεται κυρίως από μοριακή διάχυση λόγω διαφοράς συγκέντρωσης και για αυτό το λόγο ακολουθεί το νόμο του Fick. Η παρακάτω εξίσωση (5) αφορά τη γεωμετρία πλάκας (Crank, 1975; Rastogi & Raghavarao, 1997):

$$\omega = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 D_{eff} \frac{t}{l^2} \right] \quad (5)$$

$$\omega = \frac{M_t - M_0}{M_{\infty} - M_0} \quad (6)$$

Όπου ω η αδιάστατη υγρασία, D_{eff} ο συντελεστής διάχυσης, και l το ημιπάχος της πλάκας, M_t η υγρασία σε ξηρή βάση σε χρόνο ξήρανσης t , M_{∞} η περιεχόμενη υγρασία που αντιστοιχεί στην υγρασία στην επιθυμητή a_w , και M_0 η αρχική υγρασία σε ξηρή βάση.

Ο συντελεστής διάχυσης D_{eff} , αν και θεωρείται σταθερός, μειώνεται με την ελάττωση της περιεχόμενης υγρασίας. Ο υπολογισμός του γίνεται υπερβολικά σύνθετος αν πρέπει να ληφθεί ταυτόχρονα υπόψη και η επίδραση όλων των μεταβλητών που τον επηρεάζουν (θερμοκρασία, περιεχόμενο νερό, συρρίκνωση, μηχανικά μεταφερόμενο νερό μέσα στο τρόφιμο). Η ακριβής πειραματική μέτρηση του είναι σχεδόν αδύνατη, λόγω

έλλειψης απαιτούμενων οργάνων για τη μέτρηση του περιεχόμενου νερού στα στερεά του τροφίμου, επομένως το μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιεί καθορισμένο και σταθερό D_{eff} . Η εξάρτηση του συντελεστή D από τη θερμοκρασία ξήρανσης μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά μέσω της σχέσης του Arrhenius $D_r = D^{(-\Delta E/RT)}$ όπου ΔE η ενέργεια ενεργοποίησης για τη διάχυση του νερού (Αναγνωστοπούλου & Ταλέλλη, 2008). Λόγω της πολυπλοκότητας και της δυσκολίας διαφοροποίησης μεταξύ της τριχοειδούς ροής και της ροής λόγω διαφοράς συγκέντρωσης δεν λαμβάνονται υπόψη οι τριχοειδείς και βαρυτικές δυνάμεις ώστε να προκύψει η εμπειρική εξίσωση (Fox et al., 2014):

$$\frac{dw}{dt} = k \cdot \omega \quad (7)$$

Όπου k η εμπειρική σταθερά ξήρανσης και ω η αδιάστατη υγρασία.

2.3.3. Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ξήρανσης

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ξήρανσης (Λάζος & Λάζου, 2016):

Επιφάνεια: η ταχύτητα αφυδάτωσης είναι ανάλογη της επιφάνειας, επομένως αυξανόμενης της επιφάνειας αυξάνεται και ο ρυθμός ξήρανσης.

Θερμοκρασία: όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του μέσου θέρμανσης και του τροφίμου τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ξήρανσης, εφόσον δεν υπάρξει «σκλήρυνση» ή «πέτσιασμα». Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας, επομένως τόσο ταχύτερα λαμβάνεται η αναγκαία θερμότητα για την εξάτμιση του νερού και την απομάκρυνσή του.

«Σκλήρυνση» ή «πέτσιασμα»: αν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλή ενώ η σχετική υγρασία χαμηλή υπάρχει κίνδυνος η υγρασία να απομακρύνεται πιο γρήγορα από ότι δύναται να διαχυθεί από το υγρό εσωτερικό του προϊόντος, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας σκληρής στοιβάδας που εμποδίζει την απομάκρυνση της υγρασίας.

Πίεση: με την ελάττωση της πίεσης αυξάνεται η τάση των ατμών, άρα εφαρμόζοντας κενό θα αυξηθεί ο ρυθμός ξήρανσης.

Αέρας/μέσο θέρμανσης: ο αέρας χρησιμοποιείται ως μέσο θέρμανσης λόγω του ότι είναι άφθονος, κατάλληλος και η υπερθέρμανση του τροφίμου μπορεί να ελεγχθεί. Απαιτείται περισσότερος αέρας για τη μετάδοση της θερμότητας από ότι για τη μεταφορά υδρατμών, ενώ όσο ξηρότερος είναι ο αέρας τόσο πιο γρήγορα γίνεται η ξήρανση, καθώς ο ξηρός αέρας έχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης υγρασίας σε σύγκριση με τον υγρό αέρα.

Τρόφιμο: οι ουσίες που είναι διαλυμένες στο νερό αυξάνουν το σημείο ζέσεως του νερού και για δεδομένη θερμοκρασία ελαττώνουν την τάση ατμών. Το δεσμευμένο νερό απομακρύνεται δύσκολα, ενώ παρουσία ορισμένων υλών, όπως οι λιπαρές ύλες, στην επιφάνεια παρεμποδίζει την ξήρανση.

2.3.4. Μέθοδοι ξήρανσης

Η ξήρανση μπορεί να διαιρεθεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το μέσο αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται, σε κενό ή σε αέρα (Mat Desa et al., 2019). Στην πράξη, η θερμότητα μπορεί να παρασχεθεί στα τρόφιμα με διάφορα μέσα όπως με μεταφορά ή αγωγή, με ακτινοβολία, μικροκύματα, ραδιοσυχνότητα και θέρμανση Joule (Chen & Mujumdar, 2008). Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας, η βιομηχανική ξήρανση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε ξήρανση με συναγωγή και ξήρανση με αγωγή (Berk, 2009):

- *Ξήρανση με συναγωγή:* ζεστό και ξηρό αέριο (συνήθως ατμοσφαιρικός αέρας) χρησιμοποιείται για να προμηθεύσει την απαιτούμενη θερμότητα για την εξάτμιση και να απομακρύνει τους υδρατμούς από την επιφάνεια του τροφίμου. Τόσο η θερμότητα όσο και οι ανταλλαγές μάζας μεταξύ αέρα και υλικού γίνονται απαραίτητα με μεταφορά με συναγωγή, αν και είναι δυνατό να συμβούν και με μεταφορά με αγωγή και ακτινοβολία έως ένα βαθμό. Αυτός ο τρόπος είναι γνωστός και ως ξήρανση σε ρεύμα αέρα.
- *Ξήρανση με αγωγή:* η υγρασία του τροφίμου έρχεται σε επαφή με μια καυτή επιφάνεια (ή με υπέρθερμο ατμό) και έτσι το νερό στο τρόφιμο «βράζει». Η ξήρανση υπό κενό, η ξήρανση με χρήση τυμπάνων και η ξήρανση σε υπέρθερμο ατμό είναι περιπτώσεις αυτού του τρόπου ξήρανσης.

Η ξήρανση υπό κατάψυξη (freeze-drying) ή λυοφιλίωση είναι μια άλλη μέθοδος απομάκρυνσης νερού που βασίζεται στην εξάχνωση του νερού από το παγωμένο υλικό υπό κενό.

Η ξήρανση μπορεί να επιτευχθεί με πολλές μεθόδους, είτε με τεχνητή ξήρανση, απευθείας ξήρανση στον ήλιο (έκθεση στο περιβάλλον), ή ηλιακή ξήρανση (σε ειδικούς θαλάμους όπου η θερμότητα προσφέρεται από το φως του ήλιου) (Mat Desa et al., 2019). Μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο κύριους τύπους σύμφωνα με την θερμοκρασία λειτουργίας, υψηλή ή χαμηλή (Ekechukwu & Norton, 1999). Στην τεχνητή ξήρανση χρησιμοποιούνται ξηραντήρες ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια προϊόντος και να παράγονται προϊόντα καλής και σταθερής ποιότητας, μιας και οι παράμετροι της ξήρανσης

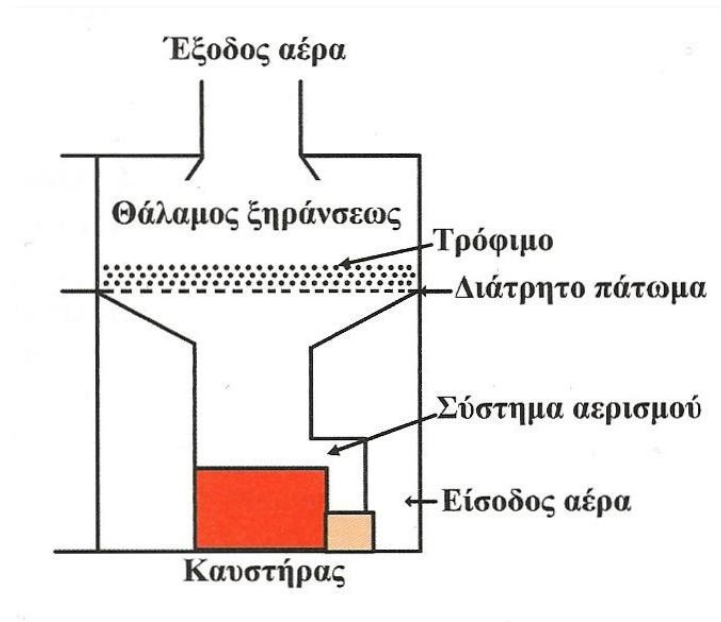
μπορούν να ελεγχθούν και να τροποποιηθούν, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα (Muji et al., 2014). Αυτή η μέθοδος προτιμάται στη βιομηχανία λόγω της ταχείας ξήρανσης που επιφέρει και κατά συνέπεια η έκθεση του προϊόντος σε θέρμανση είναι η ελάχιστη δυνατή με αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα τελικού προϊόντος (Ekechukwu & Norton, 1999; Muji et al., 2014). Εκτός της ξήρανσης υπό κατάψυξη (freeze drying), εφαρμόζεται θερμότητα η οποία μεταφέρεται με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Σήμερα, χρησιμοποιούνται και πιο σύγχρονες τεχνικές για βελτιστοποίηση της διαδικασίας της ξήρανσης, όπως υπέρηχοι, υπέρθερμος ατμός, ξήρανση με ψεκασμό (spray drying), εφαρμογή φυγόκεντρου δύναμης, υπερκρίσιμου CO₂ και αντλίας θερμότητας (Sagar, 2010). Παρά την συνεχή εξέλιξη της τεχνητής ξήρανσης όμως, απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας και προκύπτουν υψηλά λειτουργικά κόστη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η τιμή του τελικού προϊόντος (Sharma et al., 2009).

Για τα συστήματα ξήρανσης χαμηλής θερμοκρασίας, οι ξηραντήρες μπορούν να λειτουργήσουν είτε με καύσιμα είτε με ηλιακή ενέργεια. Τα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας είναι καταλληλότερα για ξήρανση με ηλιακή ενέργεια καθώς η απαιτούμενη θερμότητα μπορεί να αντληθεί από τη φύση (Ekechukwu & Norton, 1999). Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν διαρκή εξαερισμό, με φυσικό ή βεβιασμένο τρόπο, για την απομάκρυνση της υγρασίας, και έτσι η διαδικασία είναι πολύ πιο αργή συγκριτικά με τα συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Γενικά, η τεχνητή ξήρανση δεν είναι επιβλαβής και τοξική, παρέχει βελτιωμένη ομοιομορφία και διάρκεια ζωής, ωστόσο, μειώνει δραστικά την ποιότητα του προϊόντος σε πολλές περιπτώσεις (Onwude et al., 2016).

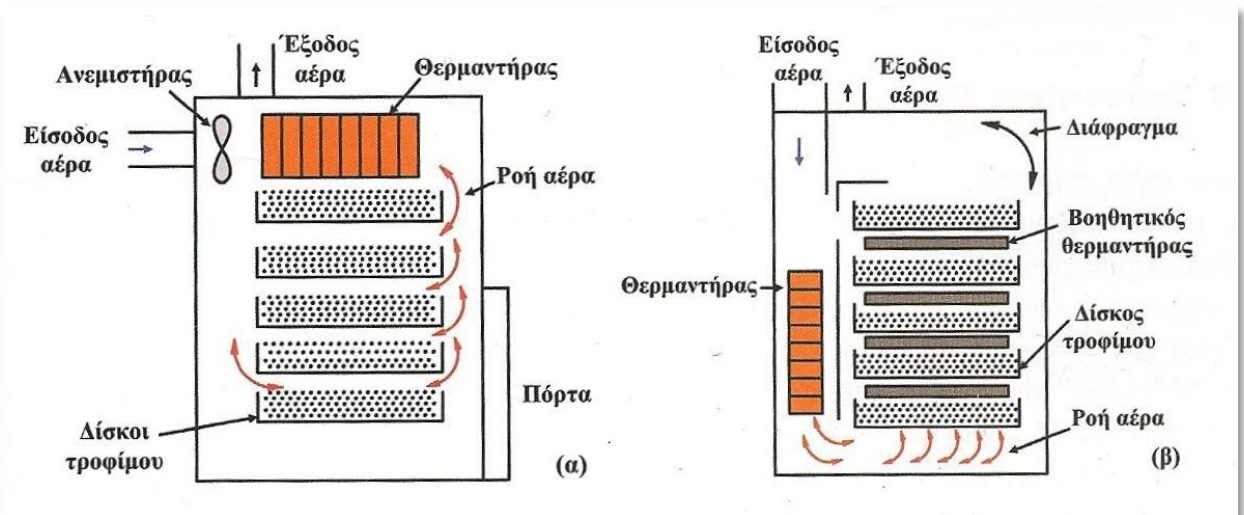
Ξήρανση σε θερμό ρεύμα αέρα

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο συνηθισμένη στην ξήρανση των τροφίμων. Σε αυτή την τεχνική, θερμός αέρας διαχέεται γύρω από την επιφάνεια του τροφίμου και η θερμότητα μεταφέρεται μέσω αγωγής εντός του στερεού. Στη συνέχεια, οι κύριοι μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας είναι η διάχυση και οι διαφορές υδροστατικής πίεσης στο τρόφιμο (Ahmed et al., 2011). Σε αυτή τη μέθοδο το δείγμα τοποθετείται σε ένα δίσκο. Ο αέρας θερμαίνεται και κυκλοφορεί κυκλικά μέσα στο θάλαμο μέσω ενός ανεμιστήρα. Μετά την απορρόφηση θερμότητας από τον θερμό αέρα το δείγμα ξηραίνεται. Η διαδικασία συνεχίζει έως ότου η υγρασία του δείγματος να φτάσει την επιθυμητή τιμή (Bennamoun & Li, 2018). Οι ξηραντήρες που χρησιμοποιούνται σε αυτή την τεχνική είναι κάμινι ξήρανσης (βλ. Εικόνα 19), ξηραντήρες βαθέως στρώματος ή δοχείου, ξηραντήρες θαλάμου ή ξηραντήρες με δίσκους (βλ. Εικόνα 20), ξηραντήρες σήραγγας (βλ. Εικόνα 21),

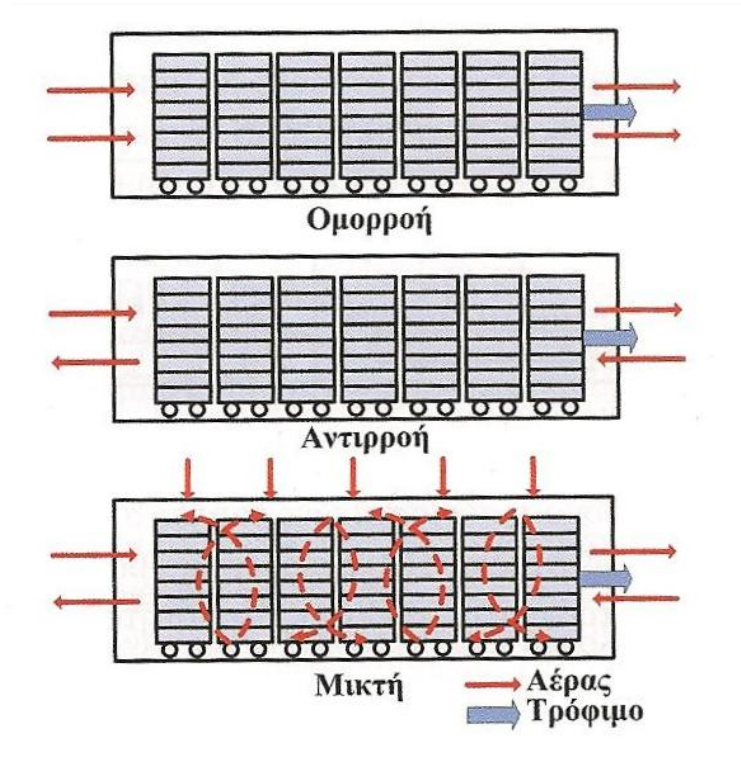
ξηραντήρες μεταφορικής ταινίας (βλ. Εικόνα 22), ξηραντήρες ρευστοποιημένου στρώματος, πνευματικοί ή στιγμιαίοι ξηραντήρες, ξηραντήρες σκάφης ή ξηραντήρες μεταφορικής ταινίας σχήματος σκάφης, και περιστροφικοί ξηραντήρες (Λάζος & Λάζου, 2016).



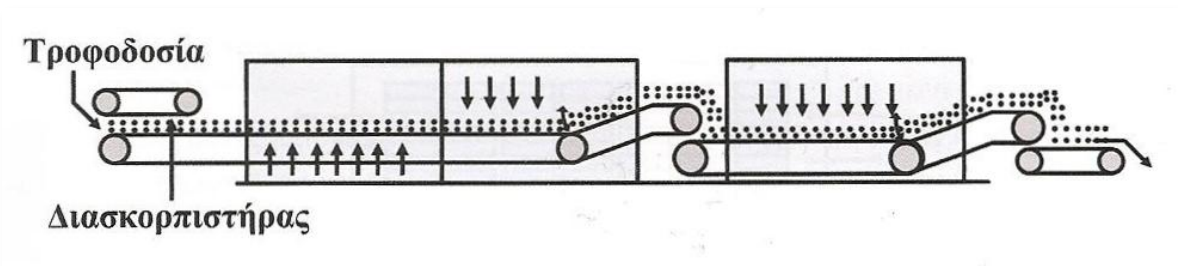
Εικόνα 19: Κάμινος ξήρανσης (Λάζος & Λάζου, 2016).



Εικόνα 20: (α) απλός ξηραντήρας με δίσκους, (β) ξηραντήρας με δίσκους και βοηθητικούς ξηραντήρες (Λάζος & Λάζου, 2016).



Εικόνα 21: Ξηραντήρες σήραγγας κατ' ομοροή, αντιροή και μικτή ροή (Λάζος & Λάζου, 2016).



Εικόνα 22: Ξηραντήρες μεταφορικής ταινίας δύο σταδίων (Λάζος & Λάζου, 2016).

Ηλιακή ξήρανση

Μια εναλλακτική τεχνική για τα φρούτα, αντί για τη δαπανηρή βιομηχανική ξήρανση, είναι η ξήρανση με ηλιακή ενέργεια που διακρίνεται στην απευθείας έκθεση στον ήλιο και σε αυτήν που λαμβάνει χώρα σε ξηραντήρες που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια (Mat Desa et al., 2019).

Απευθείας ξήρανση στον ήλιο (sun drying)

Σε αυτή την τεχνική το προϊόν εκτίθεται απευθείας στον ήλιο ώστε να γίνει η ξήρανση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Γίνεται συχνά αφήνοντας τα φρούτα να αφυδατωθούν in-situ πάνω στο δέντρο, όπου «πεθαίνουν» χωρίς να έχει γίνει συγκομιδή (Ekechukwu & Norton, 1999). Άλλος ένας τρόπος είναι όταν τα προϊόντα μετά τη συγκομιδή απλώνονται σε μια

επιφάνεια όπου αφήνονται για να αφυδατωθούν έως την επιθυμητή τελική υγρασία σε περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτή η τεχνική συνήθως εφαρμόζεται σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα με θερμοκρασία περίπου 30°C (Chua & Chou, 2003) πρέπει όμως να δίνεται η κατάλληλη προσοχή λόγω των περιστασιακών περιόδων βροχών σε αυτά τα κλίματα (Ekechukwu & Norton, 1999). Παρόλο που αυτή η μέθοδος είναι φιλική προς το περιβάλλον, είναι η πιο αργή και η αποτελεσματικότητα της ξήρανσης είναι μικρή σε περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρατεταμένη έκθεση στον ήλιο οδηγεί σε κακή ποιότητα τελικού προϊόντος, ενώ η προσβολή από έντομα, η ρύπανση από σκόνη και η μικροβιακή ανάπτυξη αποτελούν κοινά προβλήματα της διαδικασίας (Mat Desa et al., 2019). Επιπλέον, έχουν βρεθεί απώλειες προϊόντος σε ποσοστό 30-40% της τελικής παραγωγής στις αναπτυσσόμενες χώρες (Kumar et al., 2016).

Ξηραντήρες με ηλιακή ενέργεια (solar drying)

Σε σύγκριση με την απευθείας ξήρανση στον ήλιο, η ξήρανση με ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιεί εξοπλισμό και συστήματα ώστε να αντλεί και να συσσωρεύει την απαιτούμενη ενέργεια λειτουργίας από το φως του ήλιου (Chua & Chou, 2003). Αυτό το σύστημα έχει αρκετά πλεονεκτήματα όσον αφορά στην ποιότητα του αφυδατωμένου προϊόντος. Θεωρείται παραλλαγή της απευθείας ξήρανσης στον ήλιο, ενώ παράλληλα διατηρείται η αποτελεσματικότητα σε κόστος, ανάλογα με τον σχεδιασμό του ξηραντήρα (Mat Desa et al., 2019). Γενικά, οι ηλιακοί ξηραντήρες χρησιμοποιούν αέρα που θερμαίνεται με ηλιακή ενέργεια στους 50-60°C υπό ελεγχόμενη θερμοκρασία και συνθήκες ρυθμού απομάκρυνσης υγρασίας, οδηγώντας έτσι σε σταθερή και βελτιωμένη ποιότητα προϊόντος (Singh et al., 2018).



Εικόνα 23: (A) παραδοσιακή ξήρανση μπανάνας στον ήλιο, (B) ηλιακός ξηραντήρας παραβολικού σχήματος (researchgate.net).

Συμπερασματικά, η απευθείας ξήρανση στον ήλιο έχει ως πλεονεκτήματα την μικρή ή και μηδενική επένδυση σε αρχικό κεφάλαιο, το χαμηλό λειτουργικό κόστος και το ότι αποτελεί αιεφόρα τεχνική ξήρανσης. Ως μειονεκτήματα θεωρούνται η αργή ξήρανση, η μεγάλη απώλεια προϊόντος, η ευαισθησία σε επιμολύνσεις, η προσβολή από έντομα και σκόνη και η μικροβιακή ανάπτυξη, η χαμηλή ποιότητα τελικού προϊόντος, οι μη ελεγχόμενες συνθήκες ξήρανσης, η μεγάλη απαίτηση σε εργατικά, η απαίτηση για μεγάλο χώρο και το ότι εξαρτάται πολύ από τις κλιματολογικές συνθήκες. Η τεχνητή ξήρανση έχει ως πλεονεκτήματα την καλύτερη ποιότητα τελικού προϊόντος, τις προσαρμόσιμες παραμέτρους της ξήρανσης, την ταχεία ξήρανση και το μειωμένο εργατικό κόστος. Έχει ως μειονεκτήματα το υψηλό κόστος κεφαλαίου και λειτουργικό κόστος, τις μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια, το αυξημένο κόστος του προϊόντος, καθώς και το ότι μπορεί να είναι δύσκολη η λειτουργία αλλά και η υψηλή θερμοκρασία να υποβαθμίσει την ποιότητα του προϊόντος. Η ξήρανση με ηλιακή ενέργεια έχει ως πλεονεκτήματα την καλή έως εξαιρετική ποιότητα προϊόντος, το χαμηλό κόστος κεφαλαίου, την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους, τον επαρκή έλεγχο των παραμέτρων της ξήρανσης, τον μειωμένο χρόνο ξήρανσης σε σχέση με την απευθείας έκθεση στον ήλιο, την ευκολία κατασκευής του εξοπλισμού με ήδη διαθέσιμα υλικά και την ευκολία στη χρήση. Έχει ως μειονεκτήματα την εξάρτηση από τις περιβαλλοντικές συνθήκες ανάλογα με τον σχεδιασμό και ότι εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα (Mat Desa et al., 2019).

2.3.5. Μεταβολές στα τρόφιμα κατά την ξήρανση

Η συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών καθώς εξελίσσεται η ξήρανση έχει επιπτώσεις στην φύση των τροφίμων. Αυτές οι μεταβολές μπορεί να είναι αντιστρέψιμες (στην περίπτωση επανενυδάτωσης) ή μη αντιστρέψιμες. Ο τρόπος που γίνεται η ξήρανση, οι συνθήκες και η έκτασή της καθορίζουν την αντιστρεψιμότητα (Horner, 2003).

Φυσικές μεταβολές: στα στερεά τρόφιμα είναι αναμενόμενες οι μεταβολές στο χρώμα και την υφή κατά την ξήρανση με αποτέλεσμα το προϊόν να συρρικνώνεται και να χάνει το αρχικό του σχήμα. Καθώς οι διαλυμένες ουσίες συγκεντρώνονται στον περιβάλλοντα χώρο, ωσμωτικές δυνάμεις ωθούν τα μόρια του νερού μακριά από τα υδρόφιλα μακρομόρια, τα οποία τείνουν να συσσωματώνονται. Κάποια όπως το άμυλο και η κυτταρίνη σε τόσο εκτεταμένο βαθμό που σχεδόν κρυσταλλώνουν. Παρόλο που η αφυδάτωση μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στη δομή των μακρομορίων π.χ. την μετουσίωση των πρωτεϊνών, πειραματικά δεδομένα έχουν δείξει πως πολλές

μετουσιωμένες δομές συγκρατούν περισσότερο νερό ενυδάτωσης από τις μη μετουσιωμένες δομές. Αυτό συμβαίνει καθώς η μετουσιωμένη δομή συχνά εκθέτει υδρόφιλες ομάδες οι οποίες δεν ήταν εκτεθειμένες στην αρχική μορφή. Επομένως, οι κύριες μεταβολές υφής στα τρόφιμα, που χαρακτηρίζονται από κατάρρευση των κυτταρικών τοιχωμάτων και μεμβρανών και την μεταβολή από την ζελατινώδη στην ινώδη υφή συμβαίνουν κυρίως λόγω της φυσικής συσσωμάτωσης των μακρομορίων παρά λόγω της μετουσίωσης (Horner, 2003).

Μεταβολές υφής: ο συντελεστής της ελαστικότητας στους φυτικούς ιστούς μειώνεται ραγδαία καθώς κατά την ξήρανση τα κύτταρα χάνουν την σπαργή τους και ο ιστός συρρικνώνεται. Επομένως, η υφή των φυτικών ιστών εμφανίζεται αντίθετη από αυτή του φρέσκου τροφίμου, καθώς μειώνεται η ενεργότητα ύδατος. Γίνεται εμφανές λοιπόν, ότι οι παράμετροι της υφής των τροφίμων όπως η τραγανότητα και η σκληρότητα κατά την ξήρανση εξαρτώνται από την φύση του κυττάρου. Ωστόσο, η προκατεργασία με διάλυμα γλυκερόλης βοηθά στην προστασία των κυτταρικών τοιχωμάτων του φυτικού ιστού από την διάρρηξη και διάσπαση κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα (Horner, 2003).

Διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών: αντιδράσεις που προκαλούνται λόγω θερμότητας όπως η ενζυμική και η μη ενζυμική αμαύρωση μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές στην γεύση, το άρωμα και το χρώμα. Αυτές οι μεταβολές δεν είναι πάντοτε ανεπιθύμητες. Για την αποφυγή των ενζυμικών μεταβολών στα αποξηραμένα τρόφιμα πρέπει να γίνεται έλεγχος της ποικιλίας και του σταδίου ωριμότητας της πρώτης ύλης που θα υποστεί επεξεργασία. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξασφαλισθεί ότι η πρώτη ύλη περιέχει όσο το δυνατόν μικρότερη ποσότητα του υποστρώματος ή του ενζύμου που προκαλεί την αμαύρωση. Το ζεμάτισμα των λαχανικών πριν την αφυδάτωση καταστρέφει το ένζυμο. Το διοξείδιο του θείου δρα τόσο ως «δηλητήριο» για το ένζυμο όσο και ως παρεμποδιστικός παράγοντας και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται για την διατήρηση του χρώματος των αποξηραμένων φρούτων και λαχανικών. Λόγω της πτητικότητας του, απομακρύνεται εύκολα από το τρόφιμο κατά το μαγείρεμά του. Το διοξείδιο του θείου εφαρμόζεται στον φυτικό ιστό προτού οδηγηθεί για ξήρανση μέσω εμβάπτισης αυτού σε ένα διάλυμα μεταδιθειώδους νατρίου για κατάλληλο χρονικό διάστημα ανάλογα με την πρώτη ύλη (Horner, 2003).

2.3.6. Ξήρανση φρούτων

Στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά οι απώλειες μετά τη συγκομιδή ποικίλουν από 20 έως 40%. Τα φρούτα και τα λαχανικά είναι σημαντικές πηγές απαραίτητων θρεπτικών συστατικών όπως βιταμινών, μετάλλων και φυτικών ινών. Παρόλο που η εφαρμογή ψύξης μπορεί να διατηρήσει φρέσκο το προϊόν, είναι δύσκολο να παραμείνει το ίδιο χαμηλή η θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια της διακίνησης. Η ξήρανση είναι μια εναλλακτική λύση για τη διαχείριση προϊόντων μετά τη συγκομιδή όπου η αλυσίδα ψύξης δεν εφαρμόζεται σωστά. Ξήρανση υφίστανται συνήθως οι πιο ευαλλοιώτες καλλιέργειες προκειμένου να αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους και να εξασφαλισθεί ότι είναι ασφαλή για κατανάλωση (Prabhakar & Mallika, 2014).

Η ξήρανση στον ήλιο είναι η παραδοσιακή μέθοδος ξήρανσης των φρούτων. Φρούτα όπως τα σταφύλια, τα σύκα και τα βερίκοκα μπορούν να αφυδατωθούν με αυτή τη μέθοδο, απαιτείται όμως μεγάλος διαθέσιμος χώρος για μεγάλες ποσότητες προϊόντος. Γενικά τα φρούτα υφίστανται κάποια προκατεργασία πριν την ξήρανση ώστε να διατηρηθεί η ποιότητά τους. Παραδείγματα τέτοιων προκατεργασιών αποτελούν η εμβάπτιση των φρούτων σε αλκαλικά διαλύματα και η επεξεργασία ανοιχτόχρωμων φρούτων και λαχανικών με διοξείδιο του θείου πριν την ηλιακή ξήρανση ώστε να διατηρηθεί το χρώμα τους, τα θρεπτικά τους συστατικά και να παραμείνουν σταθερά κατά την αποθήκευση (Prabhakar & Mallika, 2014).

Εμπορικά, τα φρούτα και τα λαχανικά μπορούν να αφυδατωθούν με διάφορες μεθόδους όπως ξήρανση με κατάψυξη, ωσμωτική αφυδάτωση, εφαρμογή κενού, ρευστοποιημένη κλίση, ωμική θέρμανση, αντλία θερμότητας, μικροκύματα, ή συνδυασμό αυτών. Ο χρόνος ξήρανσης ποικίλει ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται, το μέγεθος και την περιεκτικότητα σε υγρασία των προς ξήρανση δειγμάτων (Prabhakar & Mallika, 2014).

2.3.7. Ξήρανση των σύκων

Η μέθοδος της ηλιακής ξήρανσης έχει εφαρμοσθεί σε πολλά φρούτα και λαχανικά, όπως και στα σύκα, λόγω της απλότητάς της και του χαμηλού λειτουργικού της κόστους. Σε αυτή την επεξεργασία τα σύκα διαλέγονται με το χέρι όσο είναι σε ημι-αφυδατωμένη κατάσταση και υφίστανται ξήρανση στον ήλιο για περίπου μία εβδομάδα (Yemis et al., 2012). Η ηλιακή ξήρανση μπορεί να εξασφαλίσει κατάλληλη συντήρηση των σύκων, ωστόσο, πολλές φορές είναι δύσκολη η επιλογή φρούτων σε όμοιο στάδιο ωριμότητας, με όμοιο μέγεθος και παρόμοια φυσική κατάσταση. Επιπλέον, η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι συχνά υποβαθμισμένη, καθώς τα φρούτα εκτίθενται απευθείας σε ηλιακή ακτινοβολία και οι παράμετροι της ξήρανσης είναι δύσκολο να ελεγχθούν. Επομένως, η ηλιακή ξήρανση σπανίως οδηγεί σε ομοιόμορφο αποτέλεσμα και το τελικό προϊόν καραμελώνει και δύναται να αποκτήσει κρούστα. Η έκθεση στον ήλιο επίσης καταστρέφει το χρώμα του φρούτου, μειώνει το περιεχόμενο του σε βιταμίνες και την ευχάριστη γεύση των σύκων (Chimi et al., 2008). Η αφυδάτωση που γίνεται τεχνητά με ρεύμα αέρα έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της ηλιακής ξήρανσης, καθώς δίνει προϊόν καλύτερης και σταθερότερης ποιότητας (Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2016).

Η παραγωγή αποξηραμένων σύκων είναι μια από τις μεγαλύτερες στον κόσμο, αναφορικά με τα αφυδατωμένα φρούτα. Τα αποξηραμένα σύκα είναι πλούσια σε φυτικές ίνες, μέταλλα, πολυφαινόλες, πρωτεΐνες, σάκχαρα και πτητικές ενώσεις που προσδίδουν το ευχάριστο χαρακτηριστικό άρωμα τους. Για αυτό το λόγο αποτελούν καλή επιλογή για ένα υγιεινό σνακ (Bekatorou et al., 2002). Εκτός από τη θερμική ενέργεια που παρέχεται λόγω του υψηλού περιεχομένου τους σε σάκχαρα, τα αποξηραμένα σύκα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά σε σύγκριση με άλλα αποξηραμένα φρούτα (Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2016).

Τα αποξηραμένα σύκα έχουν στατιστικά μεγαλύτερο ποσοστό σακχάρων συγκριτικά με τα φρέσκα σύκα. Η αναλογία γλυκόζης/φρουκτόζης παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από το είδος της ξήρανσης. Αυτό είναι σημαντικό καθώς η σύνθεση των σακχάρων στο φρούτο επηρεάζει την αντιλαμβανόμενη γλυκύτητα. Για αυτό το λόγο η γλυκύτητα στα σύκα πιθανόν προκαλείται από την επικράτηση της φρουκτόζης, ενώ μελέτες έχουν δείξει ότι τα σύκα που ξηραίνονται στον ήλιο δεν έχουν πιο γλυκιά γεύση από τα σύκα που ξηραίνονται σε θαλάμους ξήρανσης (Slatnar et al., 2011).

Στην μελέτη των Slatnar et al. (2011), αποξηραμένα σύκα της ποικιλίας “Bela Petronka” χαρακτηρίστηκαν από 2,4 με 5,6 φορές μεγαλύτερο περιεχόμενο κιτρικού οξέος και 2,8 με 17,4 φορές μεγαλύτερο περιεχόμενο μηλικού οξέος, συγκριτικά με τα φρέσκα

φρούτα. Σημαντικά υψηλότερα ποσοστά ολικών οργανικών οξέων προέκυψαν σε δείγματα που αφυδατώθηκαν σε φούρνο έναντι άλλων μεθόδων. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, αυτά τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα, καθώς τα δείγματα αποξηραμένων σύκων περιέχουν λιγότερο νερό και έτσι η συγκέντρωση των οργανικών οξέων είναι μεγαλύτερη. Στην ίδια έρευνα, προέκυψε μεγαλύτερη αναλογία σακχάρων/οργανικών οξέων σε σύκα που υπέστησαν ηλιακή ξήρανση. Τα φρούτα περιείχαν υψηλά επίπεδα σακχάρων και χαμηλά επίπεδα οργανικών οξέων. Από την άλλη πλευρά, τα σύκα που υπέστησαν ξήρανση σε θάλαμο περιείχαν χαμηλά επίπεδα σακχάρων και υψηλά επίπεδα οργανικών οξέων, και για αυτό το λόγο η αναλογία σάκχαρα/οργανικά οξέα ήταν μικρότερη.

Η κύρια φαινολική ένωση στα αποξηραμένα σύκα είναι η επικατεχίνη, σε ποσότητα 24,5 mg/100g ξηρής μάζας στην ποικιλία “Bela Petronka”. Το περιεχόμενό τους σε επικατεχίνη είναι έως και 3 φορές μεγαλύτερο από ότι στα φρέσκα σύκα (Slatnar et al., 2011). Επιπλέον, τα επίπεδα χλωρογενικού οξέος είναι επίσης υψηλότερα στα αποξηραμένα σύκα σε σχέση με τα φρέσκα. Τα αποξηραμένα σύκα σε φούρνο παρουσιάζουν στατιστικά μεγαλύτερα ποσοστά χλωρογενικού οξέος συγκριτικά με τα αποξηραμένα στον ήλιο. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς στην ξήρανση σε φούρνο μπορούν να διατηρηθούν σταθερές συνθήκες (Slatnar et al., 2011). Οι Devic et al. (2010) υποστήριξαν ότι οι προκυανιδίνες διατηρούνται καλύτερα κατά την ξήρανση από ότι τα υδροξυ-κινναμωμικά οξέα ή κάποιες μονομερείς φλαβανόλες. Τα δύο τελευταία είναι υποστρώματα που σχετίζονται άμεσα με την ενζυμική αμαύρωση (Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2016).

Η απόκριση των ανθοκυανινών στην ξήρανση διαφέρει σημαντικά. Κάποιοι μελετητές ισχυρίζονται ότι το περιεχόμενο τους μειώνεται κατά την ξήρανση. Οι Slatnar et al. (2011) βρήκαν μικρότερο ποσοστό κυανιδίνης στα αποξηραμένα σύκα, ενώ και οι Sablani et al. (2011) και Wojdylo et al. (2009) επιβεβαίωσαν την αρνητική επίδραση της ξήρανσης στις ανθοκυανίνες.

Τα αποξηραμένα φρούτα χαρακτηρίζονται από σημαντικά υψηλότερο ποσοστό ολικών φαινολικών συστατικών από τα φρέσκα φρούτα. Οι Vallejo et al. (2012) ανέφεραν ότι τα φρέσκα σύκα περιέχουν από 0,5 έως 11,3 mg/100g φρούτου (ανάλογα με την ποικιλία) ολικά φαινολικά συστατικά, ενώ τα αποξηραμένα από 17,8 έως 19,2 mg/100g. Παρόλα αυτά, περίπου το 15% των φαινολικών συστατικών χάνεται κατά την ξήρανση. Θεωρείται πως οι πολυφαινόλες υποβαθμίζονται ή μετατρέπονται σε μορφές που δεν έχουν αντιοξειδωτική δράση (Ferreira et al., 2002). Η σύγκριση μεταξύ φρέσκου και αποξηραμένου φρούτου δείχνει 90% αύξηση των ελεύθερων πολυφαινολών ως

αποτέλεσμα της απώλειας ύδατος. Οι Vinson et al. (2005) ανέφεραν 11% αύξηση των ολικών πολυφαινολών ως αποτέλεσμα της ξήρανσης.

Κατά την ξήρανση συμβαίνει απώλεια χρωστικών ουσιών σε πολλά τρόφιμα. Κάποιες αντιδράσεις κατά την διαδικασία, όπως η ενζυμική και μη ενζυμική αμαύρωση και η καραμελοποίηση, προκαλούν μεταβολές του χρώματος του τροφίμου, κάνοντας το πιο σκούρο και μουντό (Jayaraman & Das Gupta, 2006). Τα επίπεδα καροτενοειδών μειώνονται κατά την ξήρανση, με απώλειες συνολικών καροτενοειδών της τάξης των 80% την έβδομη ημέρα ξήρανσης (Yemis et al., 2012). Τα καροτενοειδή είναι επιρρεπή στην οξειδωση κατά την ξήρανση λόγω του υψηλού βαθμού ακορεστότητας στη χημική τους δομή (Jayaraman & Das Gupta, 2006).

Οι Vinson et al. (2005) υποστήριξαν ότι τα αποξηραμένα σύκα είναι εξαιρετική πηγή θρεπτικών συστατικών και δραστικών *in vivo* αντιοξειδωτικών ουσιών, καθώς η αντιοξειδωτική ικανότητα του ανθρώπινου πλάσματος αυξήθηκε σημαντικά (9%) ώρες μετά την κατανάλωση αποξηραμένων σύκων. Τα αποξηραμένα σύκα έχουν δύο φορές μεγαλύτερη αντιοξειδωτική δράση *in vitro* σε σχέση με τα φρέσκα σύκα της ποικιλίας “Bela Petrovka” (Slatnar et al., 2011).

Τα αποξηραμένα φρούτα έχουν μεγαλύτερο ποσοστό φυτικών ινών, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και σημαντικά υψηλότερο ποσοστό φαινολικών συστατικών σε σύγκριση με τα φρέσκα φρούτα (Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2016).

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των αποξηραμένων φρούτων και αφορούν φυσικές, χημικές, μικροβιολογικές και διατροφικές παραμέτρους (Mat Desa et al., 2019). Για τα σύκα που προορίζονται για ξήρανση τα βασικά κριτήρια είναι το υψηλό περιεχόμενο σακχάρων και διαλυτών στερεών, η χαμηλή οξύτητα και η παχιά φλούδα ώστε να παραχθούν αποξηραμένα σύκα με ανοιχτό χρώμα, μαλακή υφή και υψηλό περιεχόμενο σακχάρων (Aksoy, 2017). Επιπλέον, σημαντικές παράμετροι ποιότητας είναι η εμφάνιση του φρούτου, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (πορώδες, υφή, ιδιότητες επανυδάτωσης, γεύση), οι χημικές ιδιότητες (ενεργότητα ύδατος, χημική σταθερότητα, ανεπιθύμητες οσμές), όπως και η ασφάλεια (μικροβιακό φορτίο, παράσιτα και ρύποι) (Şen et al., 2017).

Το χρώμα είναι σημαντικό χαρακτηριστικό ιδιαίτερα για το προϊόντα που περιέχουν πολλά σάκχαρα καθώς η αντίδραση τους με αμινοξέα θα οδηγήσει σε μη ενζυμική αμαύρωση (Fadl & Badry, 2015). Αυτή η αντίδραση θα παράγει ενώσεις καφέ χρώματος και περιορίζοντας την αντίδραση είναι δυνατόν να παραχθεί σύκο καλύτερης ποιότητας. Στην απευθείας ηλιακή ξήρανση, οι συνθήκες κλίματος και η ένταση του

φωτός παίζουν καθοριστικό ρόλο στο χρώμα του προϊόντος, ωστόσο, οι διαφορές στο χρώμα που προκαλούνται από αυτή τη μέθοδο είναι καλύτερες συγκριτικά με την τεχνητή ξήρανση (Şen et al., 2017). Όσον αφορά στη γεύση, καθοριστική σημασία έχουν οι προτιμήσεις των καταναλωτών. Για παράδειγμα, στην Τουρκία και τις χώρες της Μέσης Ανατολής οι ποικιλίες σύκων με υψηλό περιεχόμενο σακχάρων είναι περισσότερο επιθυμητές, ενώ στην Ευρωπαϊκή αγορά προτιμώνται ποικιλίες με μικρότερη συγκέντρωση σακχάρων (Polat & Caliskan, 2008). Ένας ακόμα βασικός παράγοντας κατά την ξήρανση είναι το τελικό σχήμα του φρούτου. Για πιο εύκολη συσκευασία και διανομή το καταλληλότερο σχήμα φρούτου είναι συνήθως το σφαιρικό (Polat & Caliskan, 2008).

Οι εμπορικές προδιαγραφές ποιότητας για τα αποξηραμένα σύκα ελέγχονται από την Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) μέσω του προτύπου για τα προϊόντα ξήρανσης. Με βάση αυτό, οι παραγωγοί είναι υπεύθυνοι για την εξασφάλιση των απαιτήσεων προτού τα προϊόντα διατεθούν στην αγορά. Αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν την εμφάνιση του προϊόντος, τις συνθήκες υγιεινής, την υφή ήτοι να είναι απαλλαγμένο το προϊόν από μη φυσιολογική εξωτερική υγρασία, ανεπιθύμητες οσμές και γεύσεις και από την παρουσία εντόμων. Το πρότυπο επίσης αναφέρει πως τα αποξηραμένα σύκα που προορίζονται για απευθείας κατανάλωση πρέπει να περιέχουν υγρασία σε ποσοστό μικρότερο του 26% για τα μη επεξεργασμένα σύκα, και 26-40% για τα υψηλής υγρασίας, επεξεργασμένα σύκα (Mat Desa et al., 2019).

Προβλήματα/ επιδράσεις της ξήρανσης στα σύκα

Προβλήματα που σχετίζονται με τα αποξηραμένα σύκα είναι ότι το χρώμα τους σκουραίνει και σχηματίζονται σάκχαρα στο εξωτερικό του φρούτου (Mat Desa et al., 2019). Το σκούρο χρώμα είναι κυρίως πρόβλημα των ανοιχτόχρωμων ποικιλιών σύκων και επηρεάζει την αποδοχή από τους καταναλωτές (Haug et al., 2013; Şen et al., 2017). Ο σχηματισμός σακχάρου προκύπτει από την κρυστάλλωση από το εσωτερικό του φρούτου στην εξωτερική του επιφάνεια, αλλά είναι δυνατόν να αποφευχθεί με ελαφριά θέρμανση. Η ξήρανση μεταβάλλει τα φυτοθεπτικά συστατικά των προϊόντων. Γενικά, η πλειοψηφία των ξηραντήρων λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες αέρα (>65°C), κάτι που συμβάλει στην υποβάθμιση της εμφάνισης και της ποιότητας του προϊόντος (Xanthopoulos et al., 2009). Οι Kamiloglou και Capanoglu (2015) εξέτασαν την επίδραση της ηλιακής ξήρανσης στο περιεχόμενο των πολυφαινολών σε σύκα με κιτρινωπή και μωβ επιδερμίδα. Και για τις δύο ποικιλίες, οι αναλύσεις ολικών φαινολικών συστατικών, ανθοκυανινών και αντιοξειδωτικής δράσης έδειξαν χαμηλότερα επίπεδα μετά την ξήρανση. Οι Slatnar et al.

(2011) επίσης ανέφεραν πως υπάρχει σημαντική διαφορά στα περιεχόμενα σάκχαρα, οργανικά οξέα και φαινολικά συστατικά στα φρέσκα και τα αποξηραμένα σύκα.

Το πιο σημαντικό στην ξήρανση είναι να διασφαλιστεί η διάρκεια ζωής του προϊόντος για 6-8 μήνες. Για την ασφάλεια του καταναλωτή τα αποξηραμένα προϊόντα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από χημικές επιμολύνσεις αλλά και να προφυλάσσονται από την προσβολή από βακτήρια και μύκητες (Mat Desa et al., 2019). Το κύριο πρόβλημα κατά την αποθήκευση των σύκων είναι τα παράσιτα και οι μυκοτοξίνες. Σε σχέση με τα υπόλοιπα αποξηραμένα φρούτα, τα σύκα είναι πιο επιρρεπή στην προσβολή από έντομα (Aksoy, 2017). Ένας συνήθης τύπος μυκοτοξίνης στα αποξηραμένα σύκα είναι οι αφλατοξίνες που παράγονται λόγω μόλυνσης από τον *Aspergillus flavus* και είναι εν δυνάμει καρκινογόνες. Η πιθανότητα παρουσίας τους στα σύκα παρόλα αυτά είναι μικρή (Stover et al., 1975). Τα είδη που παράγουν αφλατοξίνες αναστέλλονται σε ενεργότητες ύδατος μικρότερες της τιμής 0,7, σχετική υγρασία κάτω του 70% και θερμοκρασία μικρότερη των 10°C (WHO, 2012).

Προκατεργασία

Πριν την ξήρανση, τα φρούτα και τα λαχανικά συνήθως υφίστανται κάποιες προεπεξεργασίες με σκοπό να διευκολυνθεί η μεταφορά μάζας και να παραχθεί ένα αποξηραμένο προϊόν καλύτερης ποιότητας (Sagar, 2010). Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που εφαρμόζονται, ωστόσο οι πιο γνωστές μέθοδοι για τα σύκα είναι οι χημικές και θερμικές κατεργασίες. Μια συνήθης πρακτική περιλαμβάνει την εμβάπτιση των φρέσκων σύκων σε διάλυμα SO₂ και το ζεμάτισμα.

Μια εναλλακτική, ήπια προκατεργασία είναι και η ωσμωτική αφυδάτωση, η οποία έχει βρεθεί πως συμβάλλει στην παραγωγή προϊόντων με επιθυμητά διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, με ελάχιστες αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του τροφίμου, η οποία επίσης οδηγεί σε αυξημένη σταθερότητα του προϊόντος, συγκράτηση των θρεπτικών συστατικών και βελτιωμένη γεύση και υφή των φρούτων (Villalobos et al., 2016). Συμπερασματικά, έχει παρατηρηθεί πως η ωσμωτική προκατεργασία των σύκων μειώνει τον συνολικό χρόνο ξήρανσης (Muji et al., 2014; Piga et al., 2004; Villalobos et al., 2016).

2.3.8. Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης

Η επίδραση της ωσμωτικής επεξεργασίας στο ρυθμό ξήρανσης έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές και ποικίλει ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται και τις συνθήκες ξήρανσης. Η σακχαρόζη θεωρείται ως ένας από τους καλύτερους ωσμωτικούς παράγοντες, κυρίως όταν η ωσμωτική αφυδάτωση εφαρμόζεται πριν την ξήρανση. Η παρουσία αυτού του σακχάρου στην επιφάνεια του αποξηραμένου δείγματος αποτελεί εμπόδιο στην επαφή με το οξυγόνο και με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι οξειδωτικές αντιδράσεις (Garcia et al., 2004). Υπάρχουν πολλές μελέτες σχετικά με την ξήρανση σύκων σε ρεύμα θερμού αέρα (Xanthopoulos et al., 2007; Babalis et al., 2006; Piga et al., 2004; Babalis & Belessiotis, 2004; Doymaz, 2005; Xanthopoulos et al., 2009; 2010), αλλά και για την ωσμωτική αφυδάτωση των σύκων (Farahnaky et al., 2010; Naikwadi et al., 2010). Ωστόσο, δεν υπάρχουν αρκετές αναφορές σχετικά με την αξιολόγηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην κινητική της ξήρανσης των σύκων σε ρεύμα θερμού αέρα. Παρόλα αυτά, τα ευρήματα των μέχρι τώρα ερευνών δείχνουν πως η ωσμωτική επεξεργασία έχει πολλά οφέλη ως προεπεξεργασία, όπως την μείωση του χρόνου ξήρανσης και τη λήψη ανώτερου ποιοτικά θρεπτικού προϊόντος, επομένως αξίζει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση.

Οι Şahin και Öztürk (2016) συνέκριναν επεξεργασμένα με ώσμωση και μη επεξεργασμένα σύκα ως προς την συμπεριφορά τους κατά την ξήρανση. Απέδειξαν πως ο χρόνος ξήρανσης των επεξεργασμένων σύκων μειώθηκε σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα κάτι που αποδόθηκε στην ωσμωτική αφυδάτωση υπό κενό που εφαρμόσαν. Επιπλέον, τα μη επεξεργασμένα σύκα εμφάνισαν μεγαλύτερη συρρίκνωση κατά την αφυδάτωση συγκριτικά με τα επεξεργασμένα. Δεν υπήρχε διαφορά όσον αφορά τη θερμοκρασία ξήρανσης που εφαρμόστηκε καθώς και στις δύο περιπτώσεις αύξηση της θερμοκρασίας είχε ως αποτέλεσμα μείωση του χρόνου ξήρανσης.

Σύμφωνα με τη μελέτη του El-Gendy (2014) οι συνθήκες της ωσμωτικής αφυδάτωσης επηρεάζουν και την μετέπειτα πορεία της ξήρανσης. Διερευνήθηκε η επίδραση διαλυμάτων διαφορετικής συγκέντρωσης σιροπιού χουρμάδων και προέκυψε ότι τα σύκα που είχαν επεξεργασθεί με το διάλυμα υψηλότερης συγκέντρωσης (70%) εμφάνισαν τον μικρότερο χρόνο ξήρανσης. Μελετήθηκαν επίσης οι φυσικοχημικές ιδιότητες, η μικροβιολογική σταθερότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων και μη σύκων και κατά τη διάρκεια αποθήκευσής τους για 6 μήνες. Τα δείγματα που είχαν επεξεργασθεί με το σιρόπι υψηλότερης συγκέντρωσης παρουσίασαν μεγαλύτερη απορρόφηση ασκορβικού οξέος, ενώ εμφάνισαν και τις υψηλότερες

βαθμολογίες χρώματος, γεύσης, αρώματος και γενικότερα αποδοχής από τους δοκιμαστές. Επιπλέον, το μικροβιακό τους φορτίο ήταν το χαμηλότερο σε σύγκριση με τις άλλες συγκεντρώσεις σακχαρόζης, ενώ τα μη επεξεργασμένα δείγματα είχαν τον μεγαλύτερο αριθμό ολικών βακτηρίων. Με βάση αυτά ο μελετητής κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ωσμωτική αφυδάτωση διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή αποξηραμένων σύκων καλύτερης ποιότητας, σε σύγκριση με τα συμβατικά.

Η έρευνα των Naikwadi et al. (2010) έδωσε επίσης παρόμοια αποτελέσματα. Εφαρμόστηκαν διάφορες συνθήκες ώσμωσης με χρήση ιμβερτοσακχάρου ως ωσμωτικού μέσου και επιβεβαιώθηκε η θετική επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης, τόσο στην υφή των αποξηραμένων σύκων, όσο και στην κρυστάλλωση των σακχάρων στην επιφάνειά τους, που προσδίδει το γνωστό λευκό χρώμα κατά την αποθήκευση. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και από τους Silva et al. (2013) που μελέτησαν τον τρόπο επίδρασης διαφόρων συνθηκών της διεργασίας στην εξέλιξη της ξήρανσης και κατέληξαν σε παρόμοια αποτελέσματα.

Όπως προαναφέρθηκε, η χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προεπεξεργασία παραδοσιακών μεθόδων συντήρησης, όπως η ξήρανση, έχει μελετηθεί εκτενώς στην περίπτωση άλλων πρώτων υλών, η έρευνα όμως πάνω στην ξήρανση των σύκων είναι περιορισμένη. Για αυτό το λόγο, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η περαιτέρω μελέτη σχετικά με την αξιολόγηση διαφορετικών συνθηκών ξήρανσης και προκατεργασίας ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία και η ποιότητα των τελικών προϊόντων.

3. Σκοπός της εργασίας

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των σύκων αποτελεί ο ευαλλοίωτος χαρακτήρας τους. Εξαιτίας αυτού η διάρκεια ζωής τους είναι πολύ σύντομη και η διανομή και διάθεση τους στην αγορά γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη, ενώ μεγάλες ποσότητες προϊόντος απορρίπτονται καθώς δεν είναι πλέον κατάλληλα για κατανάλωση, προκαλώντας ζημία στους παραγωγούς. Κρίνεται, λοιπόν, αναγκαία η εύρεση μιας μεθόδου συντήρησής τους και ελάττωσης των προϊόντων που απορρίπτονται.

Από την αρχαιότητα έως και σήμερα η ξήρανση χρησιμοποιείται ευρέως ως μέθοδος συντήρησης. Η απομάκρυνση υγρασίας από το τρόφιμο που επιτυγχάνεται μέσω ξήρανσης οδηγεί σε μείωση της ενεργότητας ύδατός του, σε επίπεδα όπου η μικροβιακή ανάπτυξη αναστέλλεται και οι αντιδράσεις υποβάθμισης περιορίζονται σημαντικά. Επομένως, ο χρόνος αποθήκευσης του τροφίμου παρατείνεται σε μεγάλο βαθμό. Παρόλα τα πλεονεκτήματα όμως, η αφυδάτωση οδηγεί σε μεταβολή των χαρακτηριστικών του προϊόντος, όπως η υφή, το χρώμα και η γεύση, ενώ απαιτείται και μεγάλος χρόνος και κόστος λειτουργίας για την επίτευξη του επιθυμητού αποξηραμένου προϊόντος. Η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί με την εφαρμογή της κατάλληλης προκατεργασίας πριν την ξήρανση.

Μια τέτοια προκατεργασία είναι η ωσμωτική αφυδάτωση. Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση συμβαίνει μια πρώτη μείωση της ενεργότητας ύδατος, ενώ λόγω των θερμοκρασιών που εφαρμόζονται, οι οποίες δεν είναι υψηλές, επιτυγχάνεται ικανοποιητική διατήρηση των θρεπτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος.

Με βάση τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας ήταν η εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της ξήρανσης σύκων με σκοπό την παραγωγή τελικού προϊόντος με βελτιωμένη ποιότητα, και η μελέτη των συνθηκών για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

Στα πλαίσια αυτά, μελετήθηκε η κινητική της ώσμωσης μέσω υπολογισμού των τιμών απώλειας ύδατος (WL), πρόσληψης στερεών (SG) και συντελεστή διάχυσης D, και η αντίστοιχη κινητική της ξήρανσης σε προεπεξεργασμένα και μη, σύκα. Επιπλέον, μελετήθηκαν οι τιμές της ενεργότητας ύδατος των δειγμάτων κατά τη διάρκεια τόσο της ωσμωτικής επεξεργασίας, όσο και της ξήρανσης, αλλά και η μεταβολή της υφής και του χρώματός τους κατά τη διάρκεια των δύο σταδίων της συνολικής διεργασίας, ώστε να προκύψουν οι βέλτιστες συνθήκες για την παραγωγή προϊόντος καλύτερης ποιότητας.

4. Υλικά και Μέθοδοι

Για την υλοποίηση των πειραμάτων της εν λόγω διπλωματικής εργασίας ήταν αναγκαίο να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες της ωσμωτικής αφυδάτωσης ώστε αυτή να αποτελέσει κατάλληλη προκατεργασία για τη μετέπειτα ξήρανσή τους. Μελετήθηκαν, επομένως, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και η επίδραση διαφόρων παραμέτρων (θερμοκρασία, συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος, αναλογία σύκου: διαλύματος) στη μείωση της ενεργότητας ύδατος των δειγμάτων. Με αυτό τον τρόπο προέκυψαν οι βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής προεπεξεργασίας. Στη συνέχεια, μελετήθηκε η ξήρανση δειγμάτων που ωσμώθηκαν στις βέλτιστες αυτές συνθήκες, αλλά και μη επεξεργασμένων δειγμάτων, σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, με σκοπό να προκύψουν οι βέλτιστες συνθήκες ξήρανσης ώστε το τελικό αφυδατωμένο προϊόν να παρουσιάζει βελτιωμένη ποιότητα.

Για τη μελέτη των συνθηκών της ώσμωσης χρησιμοποιήθηκαν φρέσκα σύκα Κύμης, όμως λόγω έλλειψης διαθεσιμότητας δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί η ξήρανση αυτού του είδους. Για να γίνει εφικτή η υλοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν σύκα Μαρκοπούλου, για τα οποία μελετήθηκαν κάποιες βασικές συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης με σκοπό να βρεθούν οι βέλτιστες παράμετροι και για το συγκεκριμένο είδος, καθώς τα δύο είδη σύκου παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά στα χαρακτηριστικά τους και τα αποτελέσματα που είχαν προκύψει για τα σύκα Κύμης δεν ήταν απαραίτητα ταυτόσημα για τα σύκα Μαρκοπούλου. Η ξήρανση και τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος αξιολογήθηκαν μόνο στα σύκα Μαρκοπούλου.

4.1. Πειραματική πορεία

4.1.1. Σύκα Κύμης

Φρέσκα σύκα από την περιοχή της Κύμης, που είχαν συγκομισθεί μετά την πτώση τους από το δέντρο (πλήρης ωρίμανση) κόπηκαν στη μέση (βλ. Εικόνα 24), ζυγίστηκαν, και βυθίστηκαν σε υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα, με αναλογία σύκο προς διάλυμα 1:5. Χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα 80 και 95% συγκέντρωσης γλυκερόλης (GLYCERINE EP 212, CREMER OLEO GmbH & Co. KG, Hamburg, Germany), και συνδυασμός 40% γλυκερόλης – 40% ολιγοφρουκτόζης (RAFTILOSE®, Orafiti, Oreye, Belgium), με προσθήκη 1% NaCl, 1% ξυδιού, 0,5% ασκορβικού οξέος και 17,5% νερού σε κάθε περίπτωση. Μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας, 25, 35 και 45°C, όπου στις δύο υψηλότερες θερμοκρασίες οι περιέκτες με τα δείγματα εντός του διαλύματος τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο για την επίτευξη και διατήρηση της θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας. Για την θερμοκρασία των 25°C οι

περιέκτες παρέμειναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επιπλέον, σε κάθε συνθήκη εφαρμόστηκε ανάδευση στα 150 rpm με αναδευτήρα. Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιήθηκε για χρονικό διάστημα έως και 240 λεπτών, ανάλογα με την περίπτωση. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας, λαμβάνονταν δείγματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, τα οποία ζυγίζονταν και έπειτα λαμβάνονταν μετρήσεις παραμέτρων χρώματος και υφής, ενεργότητας ύδατος και pH, ενώ προσδιοριζόταν και η υγρασία και τα ολικά στερεά των δειγμάτων σε κάθε χρονικό διάστημα. Επιπλέον, στο ωσμωτικό διάλυμα λαμβάνονταν μετρήσεις ενεργότητας ύδατος, pH και διαλυτών στερεών (°Brix).



Εικόνα 24: Σύκα Κύμης πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control) (προσωπικό αρχείο).

4.1.2. Σύκα Μαρκοπούλου

Φρέσκα σύκα από τους συκεώνες του Δήμου Μαρκοπούλου Μεσογαίας, μετά από τη διαλογή τους (τα σύκα που καθορίστηκαν ως β' διαλογής λόγω μεγέθους) τεμαχίστηκαν σε 3 ίσα κομμάτια (βλ. Εικόνα 25), ζυγίστηκαν και βυθίστηκαν σε υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης συγκέντρωσης 80% (τα υπόλοιπα συστατικά χρησιμοποιήθηκαν στις ίδιες αναλογίες όπως στα σύκα Κύμης). Εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές αναλογίες σύκου προς διάλυμα, 1/5 και 1/7, στις τρεις θερμοκρασίες που χρησιμοποιήθηκαν και για τα σύκα Κύμης (25, 35 και 45°C). Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο όπως και με τα σύκα Κύμης, και ελήφθησαν οι ίδιες μετρήσεις, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, έως συνολικό χρόνο 300 λεπτών.



Εικόνα 25: Σύκα Μαρκοπούλου πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control) (προσωπικό αρχείο).

Μετά το πέρας της ώσμωσης, τα σύκα αφού σκουπίστηκαν απαλά, τοποθετήθηκαν σε σχάρες και οδηγήθηκαν σε φούρνο με ρεύμα αέρα (βλ. Εικόνα 26) όπου έλαβε χώρα η ξήρανση σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες ανά περίπτωση (50, 60 και 70°C). Αντίστοιχα εφαρμόστηκαν ίδιες συνθήκες ξήρανσης και σε δείγματα που δεν είχαν υποστεί ωσμωτική επεξεργασία (control). Η ξήρανση διακόπηκε ανά περίπτωση μόλις η ενεργότητα ύδατος των σύκων μειώθηκε σε κατάλληλα επίπεδα (0,55-0,60). Εκτός από μετρήσεις της ενεργότητας ύδατος, ελήφθησαν επίσης και μετρήσεις των παραμέτρων χρώματος και υφής, ενώ επιπλέον προσδιορίστηκε το περιεχόμενο των αποξηραμένων δειγμάτων σε πρωτεΐνες, φαινολικά συστατικά, αντιοξειδωτικές ουσίες, φλαβονοειδή, σάκχαρα και οργανικά οξέα. Τα δείγματα (προεπεξεργασμένα και μη) έπειτα αποθηκεύθηκαν σε θαλάμους θερμοκρασίας 25, 35 και 45°C για να εξετασθεί η σταθερότητά τους για χρονικό διάστημα 45 ημερών.



Εικόνα 26: Ξήρανση των σύκων σε φούρνο SousVideTools Hendi 229002 6-Tray Shelf Fruit Dryer (προσωπικό αρχείο).

Επιπλέον, μελετήθηκε η ανασύσταση του ωσμωτικού διαλύματος στην αρχική του περιεκτικότητα διαλυτών στερεών και η επαναχρησιμοποίηση του για εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βέλτιστη συνθήκη (80% γλυκερόλη, 45°C, αναλογία σύκου: διαλύματος 1:5). Μετά το πέρας της πρώτης ώσμωσης όπου πραγματοποιήθηκε στις συνθήκες που προαναφέρθηκαν, το προζυγισμένο διάλυμα σουρώθηκε και ζυγίστηκε ώστε να υπολογισθούν οι ποσότητες των ωσμωτικών υλικών που πρέπει να προστεθούν ξανά ώστε να αποκτήσει την αρχική σύσταση. Η επανασύσταση πραγματοποιήθηκε τέσσερις φορές και μετρήθηκε η ενεργότητα ύδατος των σύκων σε κάθε περίπτωση.

4.2. Εφαρμοζόμενες μέθοδοι

4.2.1. Μέθοδος προσδιορισμού υγρασίας και ολικών στερεών

Αρχή της μεθόδου

Το δείγμα τροφίμου θερμαίνεται σε ελεγχόμενη θερμοκρασία και η απώλεια βάρους του χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας σε αυτό. Η περιεκτικότητα σε υγρασία προσδιορίζεται με τη μέτρηση της μάζας του τροφίμου πριν και μετά την απομάκρυνση του νερού με εξάτμιση. Η μέθοδος βασίζεται στο ότι το νερό έχει χαμηλότερο σημείο ζέσεως από τα άλλα κύρια συστατικά του τροφίμου (λιπίδια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και ανόργανα άλατα). Οι υψηλές θερμοκρασίες και ο χρόνος που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού, μπορεί να προκαλέσει την απομάκρυνση άλλων πτητικών ουσιών του τροφίμου.

Πειραματική πορεία της μεθόδου

Ζυγίζεται μικρή ποσότητα δείγματος σύκου (περίπου 1 g), σε προζυγισμένο φιαλίδιο ζυγίσεως ή κάψα πορσελάνης, σε αναλυτικό ζυγό, και τοποθετείται στο φούρνο SousVideTools Hendi 229002 6-Tray Shelf Fruit Dryer μέχρι σταθερού βάρους. Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετείται σε ξηραντήρα ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίζεται εκ νέου. Η ελάττωση του βάρους θεωρείται ότι αποτελεί την απώλεια σε νερό και έτσι υπολογίζεται η % περιεκτικότητα της ουσίας σε νερό.

Από την προκύπτουσα υγρασία και το βάρος του δείγματος πριν και μετά την επεξεργασία, προσδιορίζονται οι παράμετροι της απώλειας ύδατος (WL) και της πρόσληψης στερεών (SG), βάσει των σχέσεων:

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \text{ (g νερού/g αρχικής ξηρής ουσίας)} \quad (1)$$

$$SG = \frac{m - m_0}{m_0} \text{ (g ολικών στερεών/g αρχικής ξηρής ουσίας)} \quad (2)$$

Όπου M_0 η αρχική μάζα φρέσκου τροφίμου, m_0 η ξηρή μάζα του φρέσκου τροφίμου, M η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας και m η ξηρή μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας.

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές WL και SG που προκύπτουν υπολογίζονται και οι αντίστοιχοι συντελεστές διάχυσης D_{ew} και D_{es} με βάση τις παρακάτω σχέσεις για γεωμετρία πλάκας (Crank, 1975; Rastogi & Raghavarao, 1997):

$$M_{OD} = \frac{(WL_t - WL_\infty)}{(WL_0 - WL_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 D_{ew} \frac{t}{l^2} \right] \quad (3)$$

$$S_{OD} = \frac{(SG - SG_\infty)}{(SG_0 - SG_\infty)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 D_{es} \frac{t}{l^2} \right] \quad (4)$$

Όπου M_{OD} και S_{OD} οι αδιάστατοι λόγοι απώλειας ύδατος και πρόσληψης στερεών αντίστοιχα, D_{ew} και D_{es} οι συντελεστές διάχυσης για νερό και στερεά αντίστοιχα, και l το ημιπάχος της πλάκας.

Αντίστοιχα ο συντελεστής διάχυσης D_{eff} που περιγράφει τη διεργασία της ξήρανσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις για γεωμετρία πλάκας (Crank, 1975; Rastogi & Raghavarao, 1997):

$$\omega = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 D_{eff} \frac{t}{l^2} \right] \quad (5)$$

$$\omega = \frac{M_t - M_0}{M_{\infty} - M_0} \quad (6)$$

Όπου ω η αδιάστατη υγρασία, D_{eff} ο συντελεστής διάχυσης, και l το ημιπάχος της πλάκας, M_t η υγρασία σε ξηρή βάση σε χρόνο ξήρανσης t , M_{∞} η περιεχόμενη υγρασία που αντιστοιχεί στην υγρασία στην επιθυμητή a_w , και M_0 η αρχική υγρασία σε ξηρή βάση.

4.2.2. Μέτρηση της ενεργότητας ύδατος

Η ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων, επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων, αλλά και των διαλυμάτων μετρήθηκε μέσω της συσκευής AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE (βλ. Εικόνα 27). Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στη μέτρηση του σημείου δρόσου. Μικρή ποσότητα δείγματος τοποθετείται στο μετρητή και λαμβάνεται αποτέλεσμα μόλις επιτευχθεί ισορροπία ατμών. Μια υπέρυθρη ακτίνα που εστιάζει σε έναν μικρό καθρέπτη καθορίζει την ακριβή θερμοκρασία δρόσου του δείγματος, που στη συνέχεια μεταφράζεται σε ενεργότητα ύδατος.



Εικόνα 27: AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE (προσωπικό αρχείο).

4.2.3. Μέτρηση παραμέτρων χρώματος

Το χρώμα των σύκων τόσο εξωτερικά (φλούδα) όσο και εσωτερικά (σάρκα) μετρήθηκε με τη βοήθεια της συσκευής Minolta CR-300 (Minolta Company, Chuo-Ku, Osaka, Japan) (βλ. Εικόνα 28), με χρήση των παραμέτρων CIE (CIE, 1978).



Εικόνα 28: Χρωματόμετρο Minolta CR-300 (Minolta Company, Chuo-Ku, Osaka, Japan) (spsystem.com).

Στο σύστημα C.I.E. Lab, η μέτρηση του χρώματος βασίζεται στην υπόθεση ότι, εάν ένα σύστημα από τρεις φωτεινές πηγές, με τρία διαφορετικά χρώματα μεγάλης χρωματικής διαφοράς, συνθέσει αθροιστικά ένα χρώμα, που ταιριάζει με το χρώμα του δείγματος, τότε το χρώμα αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί από τα ποσά των τριών χρωμάτων που το συνέθεσαν. Το σύστημα C.I.E. Lab χρησιμοποιεί τρεις παραμέτρους L, a και b για τον χρωματικό προσδιορισμό. Το L συμβολίζει την τιμή της φωτεινότητας και μεταβάλλεται σε κατακόρυφο άξονα. Σε οριζόντιο επίπεδο, το a καθορίζει ισόβαθμα τα χρώματα κόκκινο και πράσινο. Θετικό a αντιστοιχεί στο ποσοστό του κόκκινου, ενώ αρνητικό a στο ποσοστό του πράσινου. Το b καθορίζει ισόβαθμα τα χρώματα κίτρινο και μπλε. Θετικό b αντιστοιχεί στο ποσοστό του κίτρινου, ενώ αρνητικό b στο ποσοστό του μπλε.

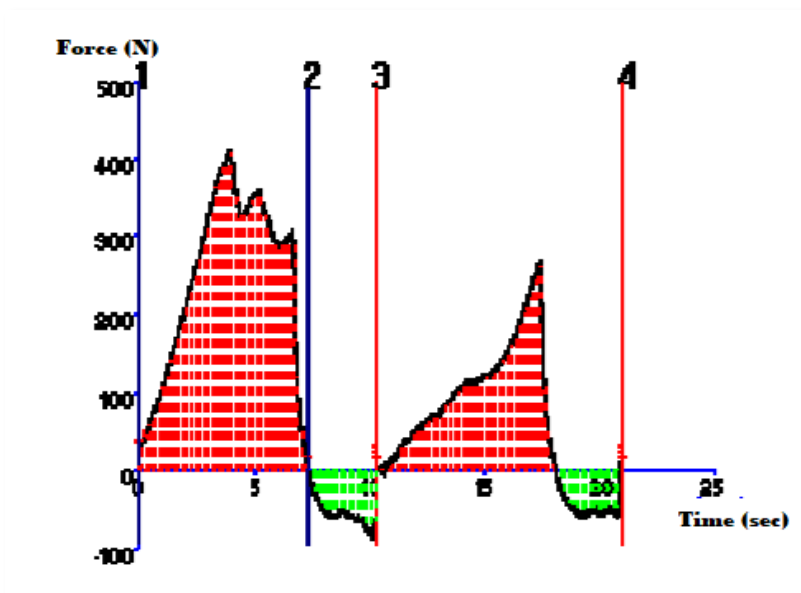
4.2.4. Ανάλυση υφής

Για την ανάλυση της υφής χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA.HD Plus texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd., UK) σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Χρησιμοποιήθηκε λεπίδα ως εργαλείο που εφάρμοζε δύο καθόδους. Στο λογισμικό καθορίζονται όλες οι παράμετροι όπως η ταχύτητα καθόδου, το βάθος διείδυσης από την επιφάνεια του δείγματος, ο αριθμός των επαναλήψεων και άλλα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 29: Αναλυτής υφής TA.HD Plus texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd., UK) (scancotec.com).

Από την ανάλυση της υφής προκύπτει το παρακάτω γράφημα (βλ. Εικόνα 30) .



Εικόνα 30: Τυπικό γράφημα ανάλυσης υφής.

Από τα γράφημα του αναλυτή προσδιορίζονται οι παρακάτω ιδιότητες για τα δείγματα:

-Σκληρότητα (Hardness): Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί ένα τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος. Η σκληρότητα υπολογίζεται από τη μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται κατά τον πρώτο κύκλο μάσησης.

-Ελαστικότητα (Elasticity): Το πόσο ένα συμπιεσμένο τρόφιμο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση όταν πάψει να υφίσταται το φορτίο. Η ελαστικότητα δίνεται από το λόγο των μέγιστων δυνάμεων που εμφανίζεται στον δεύτερο κύκλο μάσησης προς την αντίστοιχη δύναμη του πρώτου κύκλου.

-Συνεκτικότητα (Cohesiveness): Η δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο. Το συγκεκριμένο μέγεθος προσδιορίζεται από το εμβαδόν που σχηματίζεται κάτω από τον άξονα των y , μεταξύ των γραμμών 2 και 3 όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

-Προσκολλησιμότητα (Adhesiveness): Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μια επιφάνεια. Η προσκολλησιμότητα υπολογίζεται από το λόγο των θετικών εμβαδόν του δεύτερου κύκλου μάσησης προς το αντίστοιχο του πρώτου κύκλου μάσησης.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε μόνο η παράμετρος της σκληρότητας.

4.2.5. Προσδιορισμός αζώτου- πρωτεϊνών (Kjeldahl)

Αρχή μεθόδου

Ποσότητα δείγματος υποβάλλεται σε υγρή καύση με πυκνό θειικό οξύ παρουσία θειικού καλίου και θειικού χαλκού. Το οργανικώς δεσμευμένο άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία που δεσμεύεται από την περίσσεια του οξέος. Το μίγμα ψύχεται και ακολούθως προστίθεται περίσσεια πυκνού διαλύματος καυστικού νατρίου. Ελευθερώνεται αμμωνία, που απομακρύνεται (απόσταξη με υδρατμούς) και δεσμεύεται από γνωστή περίσσεια προτύπου διαλύματος οξέος. Η περίσσεια του οξέος προσδιορίζεται αλκαλιμετρικώς. Από την ποσότητα της αμμωνίας υπολογίζεται η εκατοστιαία περιεκτικότητα του δείγματος σε άζωτο η οποία ανάγεται σε πρωτεΐνες.

Αντιδραστήρια

- Καταλύτης: CuSO_4 και K_2SO_4
- Πυκνό H_2SO_4
- Γυάλινα σφαιρίδια
- Δείκτης Methyl red (0,01 g methyl red, 0,02 g bromothymel blue, 0,06 g bromocresol green)

Η διάλυση των παραπάνω γίνεται σε αιθυλική αλκοόλη (pH:7,45).

- Βορικό οξύ 4% (διαλύεται θέρμανση)
- HCl 0,5N
- NaOH 50% και απιονισμένο H_2O για τη συσκευή απόσταξης

Πορεία

A' καύση

Στους σωλήνες Kjeldahl τοποθετούνται:

- 1) Περίπου 1-2 g ξηρού δείγματος
- 2) 5 περίπου γυάλινα σφαιρίδια (ανάμειξη κατά τον βρασμό)
- 3) 0,5-1 g καταλύτη
- 4) 25 mL πυκνό H₂SO₄

Οι σωλήνες με τα παραπάνω υλικά τοποθετούνται στη συσκευή καύσης. Η θερμοκρασία αυξάνεται σταδιακά έως τους 350°C. Χρόνος καύσης: 3 ώρες στους 350°C. Η καύση τελειώνει όταν διαυγάσουν τα δείγματα. Τα δείγματα αφήνονται να κρυώσουν.

B' απόσταξη

Σε μια φιάλη τίθενται 50 mL βορικό οξύ 4% και δείκτης methyl red και σε άλλη 50 mL απιονισμένου H₂O και δείκτης methyl red και τοποθετούνται στη συσκευή απόσταξης. Μετά το πέρας της απόσταξης, γεμίζεται η προχοΐδα με HCl 0,5N και ογκομετρείται η φιάλη με το βορικό οξύ που περιέχει το δείγμα που έχει αποσταχθεί. Η εξουδετέρωση επέρχεται όταν το χρώμα γίνει ελαφρώς ροζ. Υπολογίζεται το ολικό άζωτο και οι % πρωτεΐνες βάσει των παρακάτω σχέσεων:

$$Noλ = \frac{\text{κατανάλωση δείγματος} \cdot \text{συγκέντρωση HCl} \cdot 1,4}{\text{βάρος δείγματος}} \quad (8)$$

$$\% \text{ πρωτεΐνες} = Noλ \cdot 6,25 \quad (9)$$

4.2.6. Προσδιορισμός φαινολικών συστατικών (Folin-Ciocalteu)

Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο των δειγμάτων υπολογίστηκε με τη χρήση του αντιδραστηρίου Folin–Ciocalteu (F–C) (Waterhouse, 2002). Το αντιδραστήριο αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχικά το 1972 από τους Folin και Ciocalteu για τη μέτρηση της τυροσίνης. Το αντιδραστήριο F–C αποτελείται από άλατα του μολυβδαινίου (Mo) και του βολφραμίου (W). Σε αλκαλικό περιβάλλον, η φαινολική ένωση οξειδώνεται, και το αντιδραστήριο ανάγεται προς οξειδία που έχουν το χαρακτηριστικό κυανό χρώμα του πεντασθενούς μολυβδαινίου. Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη του φαινολικού περιεχομένου, η συγκέντρωση του οποίου εκφράζεται σε ισοδύναμα ενός επιλεγμένου προτύπου (γαλλικού ή καφεϊκού οξέος). Παρ' όλο που ο μηχανισμός της αντίδρασης δεν έχει μελετηθεί επαρκώς, η μέθοδος προσδιορισμού είναι απλή, πρακτική και με αναπαραγώγιμα αποτελέσματα.

Πορεία: Για την εφαρμογή της μεθόδου ήταν απαραίτητη η εκχύλιση των δειγμάτων σύκων. 20 g αποξηραμένα σύκα πολτοποιήθηκαν σε 100 g απιονισμένο νερό, προστέθηκε 1% διαλύματος μεθανόλης και αφέθηκαν για εκχύλιση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για μια ώρα υπό ανάδευση στα 150 rpm. Ακολούθησε φυγοκέντριση στα 10000 rpm για 7 λεπτά και έπειτα διήθηση σε διηθητικό χαρτί για να την παραλαβή διαυγούς εκχυλίσματος.

Σε δοκιμαστικούς σωλήνες προστέθηκαν 7,9 mL νερό, 100 μ L εκχυλίσματος και 500 μ L διαλύματος Folin. Πραγματοποιήθηκε ανάδευση με vortex. Στο επόμενο 1,5 λεπτό προστέθηκε 1,5 mL κορεσμένου διαλύματος ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) και έγινε περαιτέρω ανάδευση με vortex. Ακολούθως, οι δοκιμαστικοί σωλήνες θερμάνθηκαν σε υδατόλουτρο (Memmert WB, Germany) στους 40°C για 30 λεπτά. Έπειτα έγινε μέτρηση της απορρόφησης με φασματοφωτόμετρο (Helios Unicam, USA) στα 765 nm. Για δείγμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν 8 mL απιονισμένο νερό με 500 μ L διαλύματος Folin. Η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών συστατικών γίνεται με χρήση της καμπύλης αναφοράς CA (caffeic acid) και εκφράζεται σε mg CAE/ML. Η καμπύλη αναφοράς:

$$C_{phenols} \left(\frac{\text{mg}}{\text{mL}} \right) = \frac{A_{765} - 0,0003}{1,0691} \quad (10)$$

4.2.7. Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας

Ο προσδιορισμός της αντιοξειδωτικής ικανότητας των δειγμάτων έγινε με χρήση DPPH (2,2-διφαινυλ-1-πικρυλυδραζίλιο) βάσει της μεθόδου των Brand-Williams, Cuvelier & Berset (1995). Το DPPH είναι μια σταθερή και εμπορικά διαθέσιμη οργανική ρίζα αζώτου με έντονο ιώδες χρώμα. Τα αντιοξειδωτικά συστατικά του προς ανάλυση δείγματος δεσμεύουν αυτή τη ρίζα οδηγώντας στον αποχρωματισμό του διαλύματος από έντονο ιώδες σε υποκίτρινο. Η ελάττωση της απορρόφησης μετρείται στα 515 nm. Για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας κατασκευάζεται μια καμπύλη βαθμονόμησης Trolox (mg Trolox/g ξηρής μάζας).

Πορεία: 3,9 mL από το αντιδραστήριο DPPH αναμίχθηκαν με 100 μ L εκχύλισμα (το εκχύλισμα παρασκευάστηκε με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω στον προσδιορισμό φαινολικών συστατικών) και επώαστηκε στους 25°C για 30 λεπτά σε σκοτάδι. Πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικά πειράματα για να βρεθεί πότε η αντίδραση DPPH σχεδόν ολοκληρώθηκε. Μετρήθηκε η απορρόφηση στα 515 nm. Η καμπύλη βαθμονόμησης δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας Trolox και τα αποτελέσματα εκφράζονται ως mM Trolox Equivalent (TE).

$$C_{trolox} \text{ (mMTE)} = \frac{A_{515} - 0,0741}{3,3065} \quad (11)$$

4.2.8. Προσδιορισμός φλαβονοειδών

Σε μία ογκομετρική φιάλη των 10 mL εισάγονται 4 mL απιονισμένο νερό με 1 mL δείγματος και στην συνέχεια προστίθενται 0,3 mL 5% NaNO_2 . Ύστερα από 5 λεπτά προστίθενται άλλα 0,3 mL AlCl_3 και μετά από 1 λεπτό προστίθενται 2 mL 1M NaOH και μέχρι τη χαραγή απιονισμένο νερό. Η απορρόφηση μετρείται στα 510 nm. Η καμπύλη βαθμονόμησης δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας κατεχίνη και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως mg catechin/ mL. Η καμπύλη αναφοράς είναι:

$$C_{\text{flavonoids}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{mL}} \right) = \frac{A_{510} - 0,0503}{2,3646} \quad (12)$$

4.2.9. Προσδιορισμός σακχάρων και οργανικών οξέων

Για τον προσδιορισμό των σακχάρων και των οργανικών οξέων των δειγμάτων παρασκευάστηκε εκχύλισμα με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω στον προσδιορισμό φαινολικών συστατικών, χωρίς όμως προσθήκη μεθανόλης. Στη συνέχεια ο προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με χρήση υγρής χρωματογραφίας υψηλής ανάλυσης (HPLC). Η χρωματογραφία περιλαμβάνει μια σειρά τεχνικών διαχωρισμού και ποιοτικού-ποσοτικού προσδιορισμού των συστατικών ανόργανων και οργανικών δειγμάτων. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με κατανομή των συστατικών μεταξύ δύο φάσεων, μιας στατικής και μιας κινητής, και βασίζεται σε διαφορές φυσικών ιδιοτήτων των διαχωριζόμενων συστατικών (σημείο ζέσεως, πολικότητα, μέγεθος μορίων, κ.λπ.) οι οποίες διαφοροποιούν τη φυσικοχημική συγγένεια κάθε συστατικού ως προς τις δύο φάσεις. Στην χρωματογραφία HPLC η κινητή φάση ρέει με τη βοήθεια αντλίας, επιταχύνοντας έτσι την ανάλυση.

5. Αποτελέσματα και Συζήτηση

5.1. Σύκα Κύμης – μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Πραγματοποιήθηκε πλήρες κινητικό πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης σε σύκα Κύμης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στη συνέχεια. Έγινε προσδιορισμός των τιμών απώλειας ύδατος και πρόσληψης στερεών κατά τη διεργασία, μεταβολής της ενεργότητας ύδατος των σύκων, μέτρηση των παραμέτρων χρώματος και της υψής (σκληρότητας), μέτρηση του pH των επεξεργασμένων σύκων και πραγματοποιηθήκαν μετρήσεις ενεργότητας ύδατος, διαλυτών στερεών ($^{\circ}\text{Brix}$) και pH στο ωσμωτικό διάλυμα. Σκοπός της εν λόγω μελέτης ήταν να εξετασθεί η επίδραση διαφορετικών παραμέτρων ωσμωτικής αφυδάτωσης (συγκέντρωση σακχάρου, διαφορετικός ωσμωτικός παράγοντας, θερμοκρασία) στη διεργασία και να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες όπου η επεξεργασία δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Μελετήθηκαν διαφορετικοί ωσμωτικοί παράγοντες (γλυκερόλη και συνδυασμός γλυκερόλης με ολιγοφρουκτόζη), διαφορετικές συγκεντρώσεις σακχάρων (80% γλυκερόλη, 95% γλυκερόλη, 40% γλυκερόλη - 40% ολιγοφρουκτόζη) και διαφορετικές θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C).

Λόγω έλλειψης διαθεσιμότητας σύκων Κύμης εξαιτίας της εποχικότητάς τους, δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί ξήρανση σε αυτό το είδος ώστε να μελετηθεί η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν αργότερα μαύρα Σύκα Μαρκοπούλου, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για αυτά θα αναφερθούν στην επόμενη υποενότητα.

5.1.1. Μελέτη των παραμέτρων απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

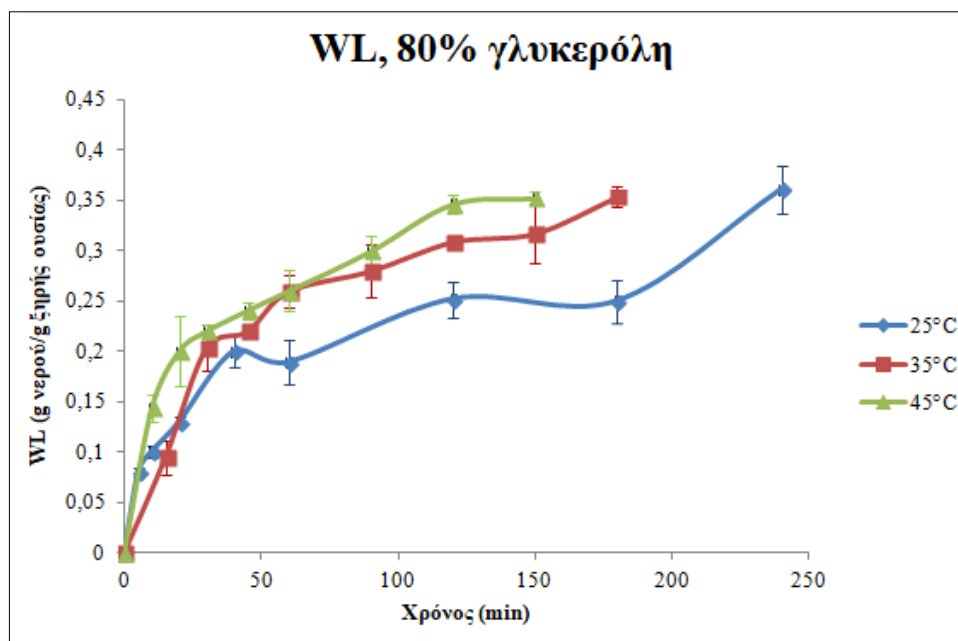
Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, λαμβάνονταν μετρήσεις του βάρους των δειγμάτων (πριν και μετά την ωσμωτική αφυδάτωση), και δείγματα οδηγούνταν σε ξήρανση έως σταθερού βάρους προκειμένου να υπολογισθεί η υγρασία τους κατά περίπτωση και κατ' επέκταση η απώλεια ύδατος (WL) και η πρόσληψη στερεών (SG) μέχρι το πέρας της διεργασίας. Στη συνέχεια παρατίθενται οι εν λόγω τιμές για τη συγκέντρωση γλυκερόλης 80% σε θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C.

Πίνακας 2: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

25°C			35°C			45°C		
Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
5	0,08 ± 0,01	0,015 ± 0,013	15	0,09 ± 0,02	0,064 ± 0,010	10	0,14 ± 0,01	0,034 ± 0,014
10	0,10 ± 0,01	0,056 ± 0,003	30	0,20 ± 0,02	0,102 ± 0,006	20	0,20 ± 0,03	0,093 ± 0,006
20	0,13 ± 0,01	0,090 ± 0,003	45	0,22 ± 0,01	0,133 ± 0,017	30	0,22 ± 0,01	0,117 ± 0,006
40	0,20 ± 0,02	0,100 ± 0,005	60	0,26 ± 0,02	0,140 ± 0,006	45	0,24 ± 0,01	0,156 ± 0,011
60	0,19 ± 0,02	0,077 ± 0,012	90	0,28 ± 0,03	0,125 ± 0,006	60	0,26 ± 0,02	0,139 ± 0,005
120	0,25 ± 0,02	0,082 ± 0,008	120	0,31 ± 0,01	0,151 ± 0,008	90	0,30 ± 0,01	0,143 ± 0,015
180	0,25 ± 0,02	0,145 ± 0,007	150	0,32 ± 0,03	0,146 ± 0,009	120	0,35 ± 0,01	0,180 ± 0,007
240	0,36 ± 0,02	0,155 ± 0,007	180	0,35 ± 0,01	0,156 ± 0,005	150	0,35 ± 0,01	0,171 ± 0,007

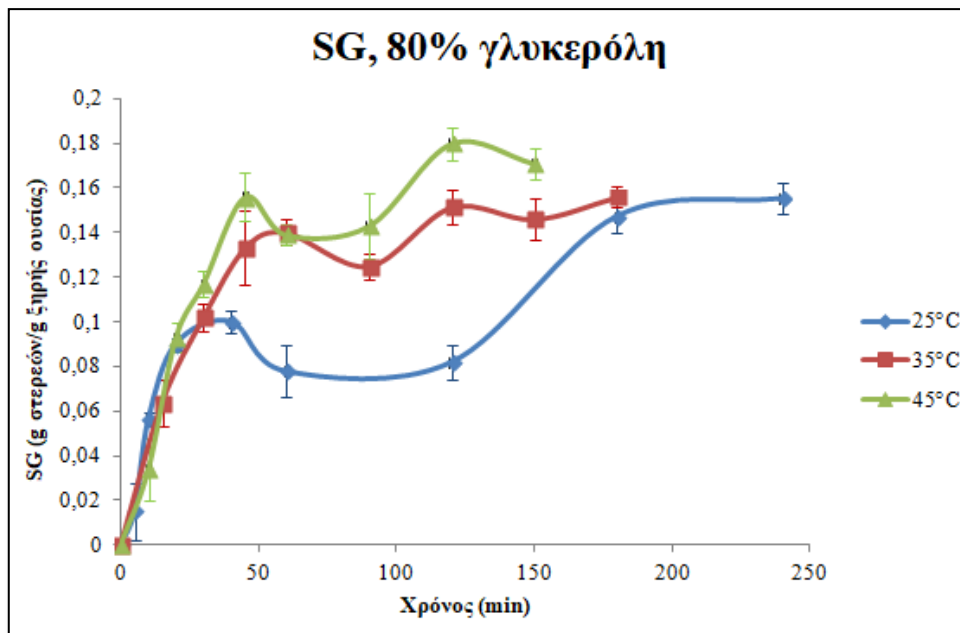
± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις παραπάνω τιμές απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) γίνεται εμφανές πως αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Το χρονικό διάστημα της ωσμωτικής επεξεργασίας είναι σημαντικός παράγοντας που προκαλεί αύξηση των τιμών WL και SG, όσο αυτό αυξάνεται, μέχρι να επέλθει ισορροπία. Η συνεχής αυτή αύξηση που συμβαίνει με την πάροδο του χρόνου οφείλεται στην υψηλή ωσμωτική πίεση μεταξύ του υπερτονικού διαλύματος και του τροφίμου (Chiu et al., 2017; Yadav et al., 2012). Επιπλέον, φαίνεται πως η θερμοκρασία επεξεργασίας έχει καθοριστικό ρόλο στα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας, όπως γίνεται αντιληπτό και από τις γραφικές αναπαραστάσεις των παραπάνω τιμών WL και SG (βλ. Πίνακα 2) που ακολουθούν.



Εικόνα 31: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση 80% γλυκερόλης.

Όπως γίνεται αντιληπτό και από το παραπάνω διάγραμμα των τιμών WL συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας (βλ. Εικόνα 31), η απώλεια ύδατος αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία λαμβάνει χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση. Οι χρόνοι ωσμωτικής αφυδάτωσης που εφαρμόστηκαν δε φαίνεται να ήταν αρκετοί προκειμένου να σταματήσει η αύξηση και να επέλθει σταθεροποίηση (σχηματισμός πλατώ). Στην υψηλότερη θερμοκρασία, των 45°C, παρατηρείται η μεγαλύτερη απώλεια ύδατος, ενώ στη μικρότερη θερμοκρασία, των 25°C, η μικρότερη. Δεν παρατηρείται όμως σημαντική διαφορά μεταξύ των 45 και 35°C. Αντίθετα η διαφορά είναι σημαντική στους 25°C, όπου η απώλεια ύδατος είναι μικρότερη, τονίζοντας έτσι το ρόλο της θερμοκρασίας στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Η αύξηση της απώλειας ύδατος με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι δυνατό να οφείλεται στη διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών υπό υψηλή θερμοκρασία (Uddin et al., 2004), σε συνδυασμό με την απελευθέρωση αέρα από τη δομή του ιστού, κάτι που οδηγεί σε αποτελεσματικότερη μεταφορά νερού από το δείγμα στο υπερτονικό διάλυμα (Chiu et al., 2017). Επιπλέον, υψηλότερη θερμοκρασία μειώνει το ιξώδες του ωσμωτικού διαλύματος και έτσι ευνοείται η μεταφορά μάζας στην επιφάνεια του δείγματος (Lazarides et al., 1995).



Εικόνα 32: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

Όπως φαίνεται στη γραφική αναπαράσταση των τιμών SG συναρτήσει του χρόνου (βλ. Εικόνα 32), τα συμπεράσματα που προκύπτουν συνάδουν με όσα αναφέρθηκαν για την απώλεια ύδατος παραπάνω. Και σε αυτή την περίπτωση η πρόσληψη στερεών αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, με τη μεγαλύτερη αύξηση να συμβαίνει στους 45°C και τη μικρότερη στους 25°C. Παρόλα αυτά, η διαφορά μεταξύ 35 και 45°C και εδώ δεν είναι σημαντική. Η πρόσληψη στερεών προάγεται με την αύξηση της θερμοκρασίας με τον ίδιο τρόπο με την απώλεια ύδατος (Chiu et al., 2017). Η διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών δεν προάγει μόνο την απώλεια ύδατος αλλά παράλληλα βελτιώνει το ρυθμό διάχυσης των διαλυμένων ουσιών όπως και τη διαπερατότητα των μεμβρανών στα μόρια σακχάρων (Lazarides et al., 1997). Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το ιξώδες του διαλύματος, το οποίο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης γλυκερόλης που περιέχει (80%) εμφανίζει υψηλό ιξώδες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό εξηγεί τη μικρή πρόσληψη στερεών στη θερμοκρασία των 25°C στο αρχικό στάδιο, καθώς η διείσδυση των διαλυτών στερεών στο δείγμα δυσχεραίνεται λόγω του υψηλού ιξώδους του ωσμωτικού διαλύματος (Chiu et al., 2017). Απαιτείται, λοιπόν, μεγαλύτερος χρόνος προσαρμογής στη θερμοκρασία των 25°C, ώστε να ευνοηθεί η πρόσληψη στερεών, για αυτό και η αύξηση συμβαίνει πολύ αργότερα συγκριτικά με τις υψηλότερες θερμοκρασίες όπου το ιξώδες έχει μειωθεί.

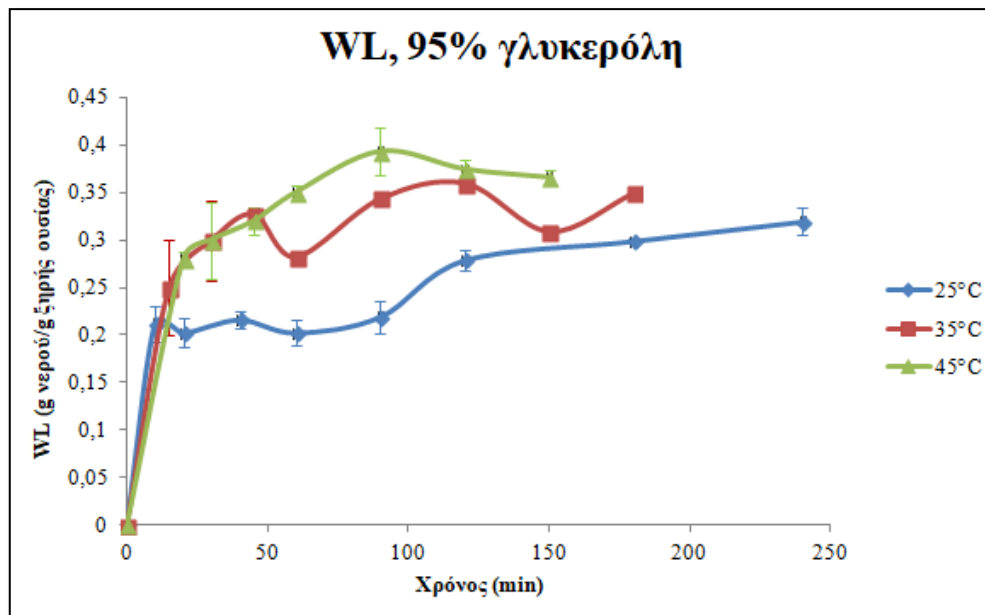
Ακολουθούν οι τιμές WL και SG για συγκέντρωση γλυκερόλης 95% όπως προέκυψαν για τις τρεις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C.

Πίνακας 3: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

25°C			35°C			45°C		
Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
10	0,21 ± 0,02	0,080 ± 0,019	15	0,25 ± 0,05	0,144 ± 0,015	20	0,28 ± 0,01	0,151 ± 0,008
20	0,20 ± 0,02	0,090 ± 0,015	30	0,30 ± 0,04	0,150 ± 0,001	30	0,30 ± 0,04	0,157 ± 0,004
40	0,21 ± 0,01	0,110 ± 0,009	45	0,33 ± 0,01	0,136 ± 0,006	45	0,32 ± 0,01	0,160 ± 0,014
60	0,20 ± 0,01	0,105 ± 0,013	60	0,28 ± 0,00	0,150 ± 0,001	60	0,35 ± 0,01	0,180 ± 0,008
90	0,22 ± 0,02	0,083 ± 0,017	90	0,34 ± 0,00	0,167 ± 0,005	90	0,39 ± 0,03	0,200 ± 0,023
120	0,27 ± 0,01	0,112 ± 0,010	120	0,36 ± 0,00	0,140 ± 0,004	120	0,37 ± 0,01	0,163 ± 0,010
180	0,30 ± 0,03	0,116 ± 0,003	150	0,31 ± 0,00	0,150 ± 0,016	150	0,37 ± 0,01	0,170 ± 0,007
240	0,32 ± 0,01	0,130 ± 0,014	180	0,35 ± 0,00	0,187 ± 0,001			

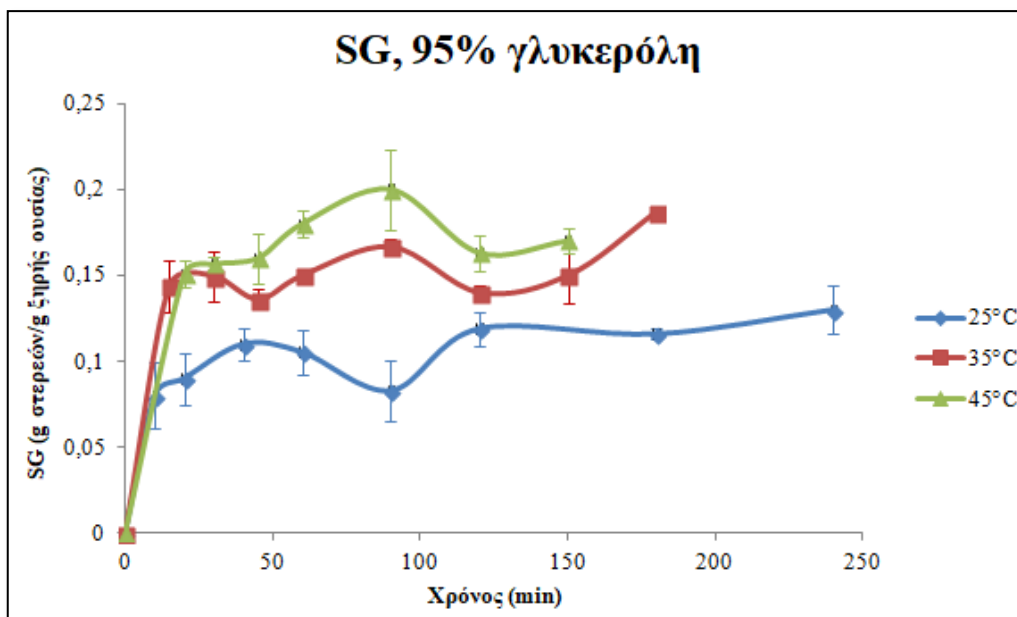
± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις παραπάνω τιμές απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) γίνεται εμφανές πως αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου και στη συγκέντρωση γλυκερόλης 95%. Όπως προαναφέρθηκε, όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα της επεξεργασίας τόσο αυξάνονται οι τιμές WL και SG, έως ότου επέλθει ισορροπία (Chiu et al., 2017). Επιπλέον, φαίνεται και εδώ πως η θερμοκρασία επεξεργασίας επηρεάζει τα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας, όπως γίνεται αντιληπτό και από τις γραφικές αναπαραστάσεις των παραπάνω τιμών WL και SG (βλ. Πίνακα 3) που ακολουθούν.



Εικόνα 33: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

Όπως γίνεται αντιληπτό και από το παραπάνω διάγραμμα των τιμών WL συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας (βλ. Εικόνα 33), η απώλεια ύδατος αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία λαμβάνει χώρα η οσμωτική αφυδάτωση. Στην υψηλότερη θερμοκρασία, των 45°C, παρατηρείται η μεγαλύτερη απώλεια ύδατος, ενώ στη μικρότερη θερμοκρασία, των 25°C, η μικρότερη. Η αύξηση της απώλειας ύδατος με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι δυνατό να οφείλεται στη διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών υπό υψηλή θερμοκρασία (Uddin et al., 2004), σε συνδυασμό με την απελευθέρωση αέρα από τη δομή του ιστού, κάτι που οδηγεί σε αποτελεσματικότερη μεταφορά νερού από το δείγμα στο υπερτονικό διάλυμα (Chiu et al., 2017). Επιπλέον, υψηλότερη θερμοκρασία μειώνει το ιξώδες του οσμωτικού διαλύματος και έτσι ευνοείται η μεταφορά μάζας στην επιφάνεια του δείγματος (Lazarides et al., 1995).



Εικόνα 34: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

Όπως φαίνεται στη γραφική αναπαράσταση των τιμών SG συναρτήσει του χρόνου (βλ. Εικόνα 34), τα συμπεράσματα που προκύπτουν συνάδουν με όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω. Και σε αυτή την περίπτωση η πρόσληψη στερεών αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, με τη μεγαλύτερη αύξηση να συμβαίνει στους 45°C και τη μικρότερη στους 25°C. Η πρόσληψη στερεών προάγεται με την αύξηση της θερμοκρασίας με τον ίδιο τρόπο με την απώλεια ύδατος (Chiu et al., 2017). Η διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών δεν προάγει μόνο την απώλεια ύδατος αλλά παράλληλα βελτιώνει το ρυθμό διάχυσης των διαλυμένων ουσιών όπως και τη διαπερατότητα των μεμβρανών στα μόρια σακχάρων (Lazarides et al., 1997). Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το ιξώδες του διαλύματος, το οποίο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης γλυκερόλης που περιέχει (95%) εμφανίζει υψηλό ιξώδες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό εξηγεί την μικρή πρόσληψη στερεών στη θερμοκρασία των 25°C, καθώς η διεύδυση των διαλυτών στερεών στο δείγμα δυσχεραίνεται λόγω του υψηλού ιξώδους του ωσμωτικού διαλύματος (Chiu et al., 2017).

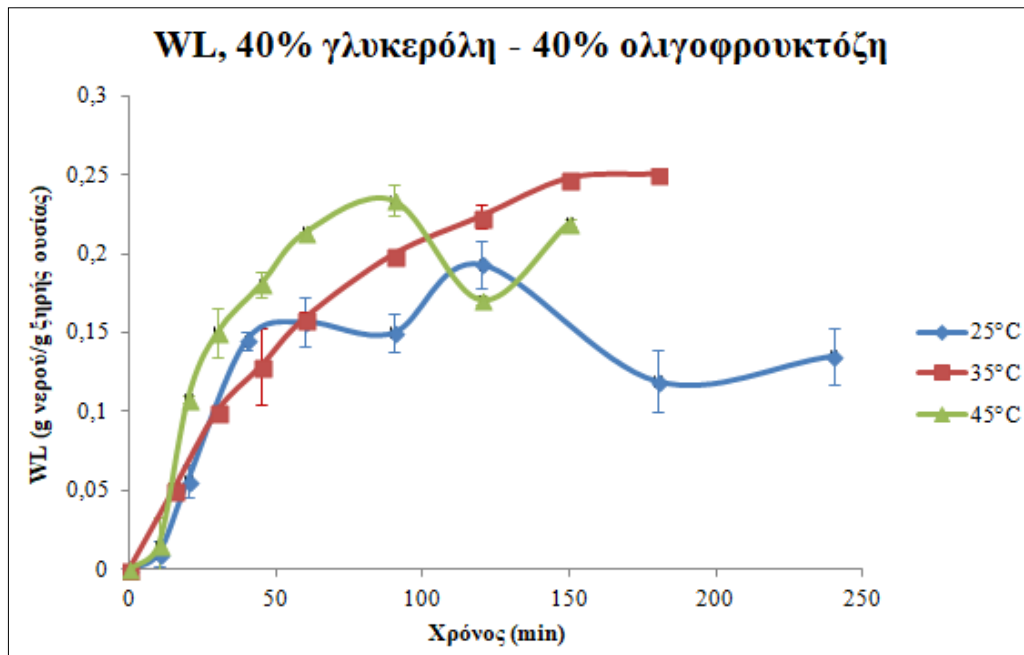
Στη συνέχεια παρατίθενται οι τιμές WL και SG για το συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης σε συγκέντρωση 40-40% όπως προέκυψαν για τις τρεις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C.

Πίνακας 4: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

25°C			35°C			45°C		
Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
10	0,01 ± 0,01	0,0003 ± 0,008	15	0,05 ± 0,00	0,0005 ± 0,005	10	0,02 ± 0,02	0,005 ± 0,006
20	0,06 ± 0,01	0,001 ± 0,006	30	0,10 ± 0,00	0,001 ± 0,004	20	0,11 ± 0,00	0,004 ± 0,002
40	0,15 ± 0,01	0,002 ± 0,012	45	0,13 ± 0,02	0,013 ± 0,010	30	0,15 ± 0,02	0,002 ± 0,014
60	0,16 ± 0,02	0,010 ± 0,009	60	0,16 ± 0,00	0,050 ± 0,004	45	0,18 ± 0,01	0,060 ± 0,008
90	0,15 ± 0,01	0,067 ± 0,006	90	0,20 ± 0,00	0,070 ± 0,000	60	0,21 ± 0,00	0,068 ± 0,001
120	0,19 ± 0,02	0,070 ± 0,010	120	0,22 ± 0,01	0,081 ± 0,007	90	0,23 ± 0,01	0,062 ± 0,009
180	0,12 ± 0,02	0,060 ± 0,013	150	0,25 ± 0,00	0,093 ± 0,002	120	0,17 ± 0,00	0,073 ± 0,003
240	0,14 ± 0,02	0,080 ± 0,006	180	0,25 ± 0,00	0,101 ± 0,001	150	0,22 ± 0,00	0,080 ± 0,002

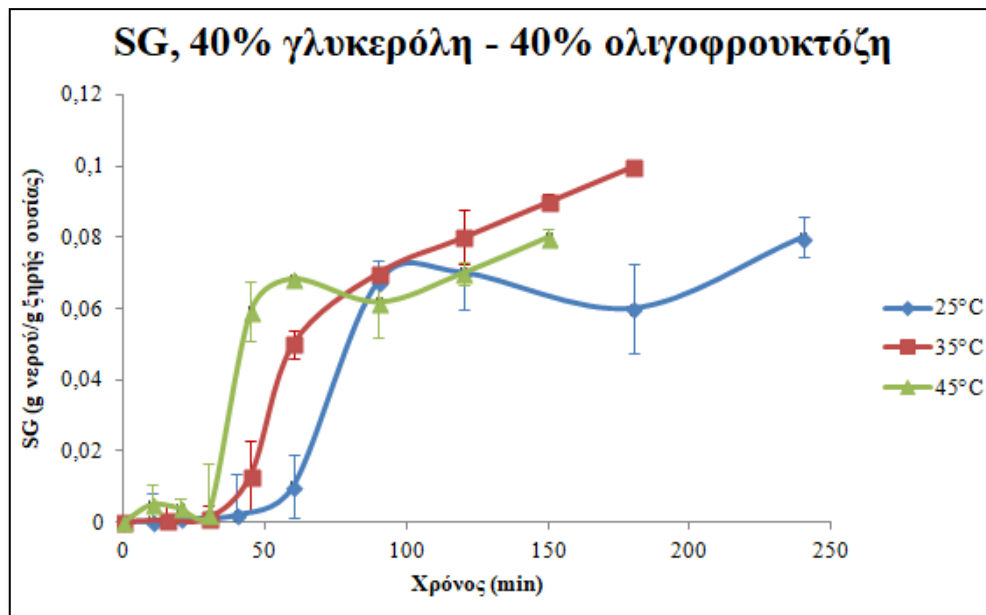
± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις παραπάνω τιμές απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) γίνεται εμφανές πως αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου και στο συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης. Όπως προαναφέρθηκε, όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα της επεξεργασίας τόσο αυξάνονται οι τιμές WL και SG, έως ότου επέλθει ισορροπία (Chiu et al., 2017). Αντίθετα με τις προηγούμενες περιπτώσεις όμως, εδώ φαίνεται πως η θερμοκρασία επεξεργασίας δεν ασκεί την ίδια επίδραση καθώς οι τιμές πολλές φορές επικαλύπτονται. Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό από τις γραφικές αναπαραστάσεις των παραπάνω τιμών WL και SG (βλ. Πίνακα 4) που ακολουθούν.



Εικόνα 35: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

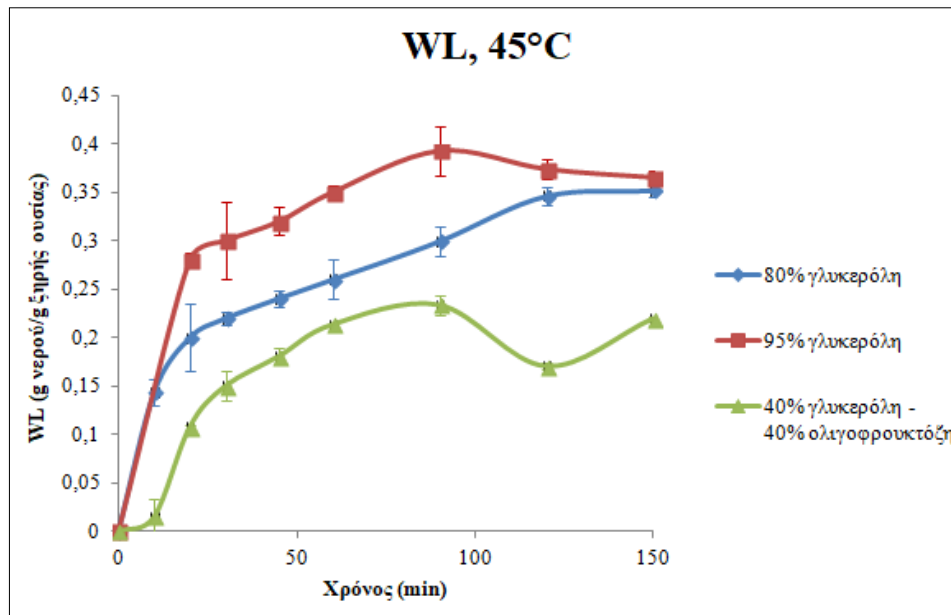
Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα των τιμών WL συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας (βλ. Εικόνα 35), δεν είναι δυνατό να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με την επίδραση που ασκεί η θερμοκρασία επεξεργασίας σε αυτή τη συγκέντρωση οσμωτικού διαλύματος. Φαίνεται πως στους 45°C προκύπτει μεγαλύτερη απώλεια ύδατος στο μεγαλύτερο μέρος της διεργασίας, μετά τα πρώτα 90 λεπτά όμως παρουσιάζεται σημαντική πτώση. Αντιθέτως, στους 35°C παρατηρείται πολύ ομαλότερη αύξηση της απώλειας ύδατος καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας, ενώ στους 25°C παρουσιάζονται συνεχείς διακυμάνσεις στις τιμές και τελικά πτώση της απώλειας ύδατος μετά από 120 λεπτά επεξεργασίας. Το γεγονός ότι παρουσιάζονται σημαντικές διακυμάνσεις σε αυτή την περίπτωση οφείλεται στο ίδιο το οσμωτικό διάλυμα, το οποίο λόγω πολύ υψηλού ιξώδους και ατελούς διαλυτοποίησης των οσμωτικών υλικών, παρεμπόδισε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.



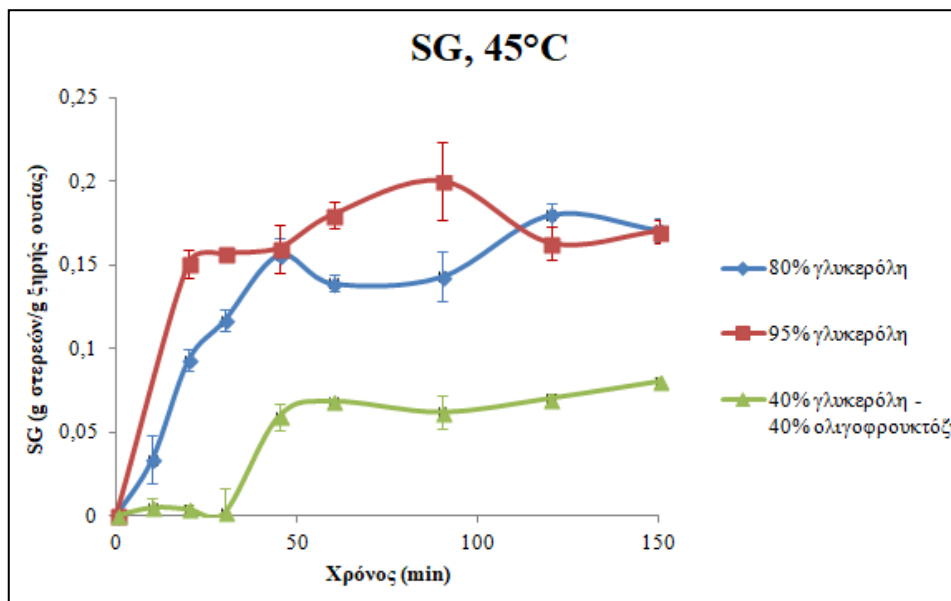
Εικόνα 36: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα των τιμών SG συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας (βλ. Εικόνα 36), δεν είναι δυνατό να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με την επίδραση που ασκεί η θερμοκρασία επεξεργασίας σε αυτή τη συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος, ούτε σε αυτή την περίπτωση. Και στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας η πρόσληψη στερεών δε φαίνεται να ευνοείται, και αυτό οφείλεται στη φύση του ωσμωτικού διαλύματος όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Καλύτερη και πιο ομαλή πρόσληψη στερεών φαίνεται να λαμβάνει χώρα στους 35°C, ενώ στους 25 και 45°C παρουσιάζεται μια πρώτη αύξηση και στη συνέχεια μείωση της πρόσληψης στερεών.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει πως η θερμοκρασία των 45°C παρουσίασε υψηλότερη απώλεια ύδατος και πρόσληψη στερεών σε όλες τις συγκεντρώσεις σακχάρων που μελετήθηκαν. Οι 45°C, λοιπόν, θεωρούνται η βέλτιστη θερμοκρασία επεξεργασίας. Προκειμένου να βρεθεί και η βέλτιστη συγκέντρωση ακολουθεί γραφική απεικόνιση των τιμών WL και SG στις διαφορετικές συγκεντρώσεις (80 και 95% γλυκερόλη και 40% γλυκερόλη – 40% ολιγοφρουκτόζη) στη βέλτιστη θερμοκρασία των 45°C.



Εικόνα 37: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για συγκεντρώσεις 80 και 95% γλυκερόλης και 40% γλυκερόλη-40% ολιγοφρουκτόζη.



Εικόνα 38: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για συγκεντρώσεις 80 και 95% γλυκερόλης και 40% γλυκερόλη-40% ολιγοφρουκτόζη.

Παρατηρώντας τη μεταβολή των τιμών WL στους 45°C στις διαφορετικές συγκεντρώσεις σακχάρου (βλ. Εικόνα 37) φαίνεται πως στη συγκέντρωση γλυκερόλης 95% συμβαίνει η μεγαλύτερη απώλεια ύδατος, ακολουθούμενη από τη συγκέντρωση γλυκερόλης 80% και τέλος μικρότερη απώλεια ύδατος παρουσιάζεται στο συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης σε συγκέντρωση 40-40%. Στην περίπτωση των τιμών SG (βλ. Εικόνα 38), επίσης φαίνεται πως η υψηλότερη συγκέντρωση προάγει την πρόσληψη

στερεών, όμως δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο συγκεντρώσεων γλυκερόλης. Αντίθετα, στο συνδυαστικό διάλυμα γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης φαίνεται πως η πρόσληψη στερεών δεν ευνοήθηκε. Πιθανώς αυτό οφείλεται στο πολύ υψηλό ιξώδες του διαλύματος που παρεμποδίζει τη διείσδυση των διαλυτών στερεών στο τρόφιμο. Επιπλέον, η διάλυση των ωσμωτικών υλικών ήταν πολύ δύσκολη και το διάλυμα πιθανόν δεν ήταν ομοιογενές, δυσχεραίνοντας έτσι ακόμη περισσότερο τη διεργασία. Γενικώς, η υψηλότερη συγκέντρωση σακχάρου στο ωσμωτικό διάλυμα ευνοεί τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (Haj Najafi et al., 2014). Αυτό οφείλεται στην υψηλή ωσμωτική πίεση μεταξύ του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος που έρχεται σε επαφή με αυτό (Azoubel & Murr, 2004; Falade et al., 2007). Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν προκύψει σε διάφορες έρευνες σε φρούτα όπως πεπόνι cantaloupe, μάνγκο, βερίκοκα και γκουάβα (Fermin & Corzo, 2005; Mastrantonio et al., 2005; Ito et al., 2007; Ispir & Togrul, 2009; Ganjloo et al., 2001).

Συμπερασματικά, προέκυψε πως η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος και η θερμοκρασία στην οποία λαμβάνει χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση είναι παράγοντες που επηρεάζουν την απώλεια ύδατος και την πρόσληψη στερεών κατά τη διεργασία. Συγκεκριμένα, υψηλότερη θερμοκρασία επεξεργασίας και υψηλότερη συγκέντρωση σακχάρου οδηγούν σε υψηλότερες τιμές WL και SG.

5.1.2. Μελέτη του συντελεστή διάχυσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Από τις παραπάνω τιμές WL και SG υπολογίστηκε ο συντελεστής διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών, D_{ew} και D_{es} , αντίστοιχα, στις τρεις θερμοκρασίες της ωσμωτικής αφυδάτωσης (25, 35 και 45°C) σε όλες τις συγκεντρώσεις ωσμωτικού διαλύματος που μελετήθηκαν (80 και 95% γλυκερόλη και γλυκερόλη-ολιγοφρουκτόζη 40-40%). Ακολουθούν οι τιμές των συντελεστών στις εν λόγω συνθήκες.

Πίνακας 5: Τιμές συντελεστή διάχυσης για απώλεια ύδατος (D_{ew}) και πρόσληψη στερεών (D_{es}) στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για 80 και 95% συγκέντρωση γλυκερόλης και 40% γλυκερόλη – 40% ολιγοφρουκτόζη.

Θερμοκρασία (°C)	D_{ew}			D_{es}		
	80% γλυκερόλη	95% γλυκερόλη	40% γλυκερόλη – 40% ολιγοφρουκτόζη	80% γλυκερόλη	95% γλυκερόλη	40% γλυκερόλη – 40% ολιγοφρουκτόζη
25	$0,63 \cdot 10^{-10} \pm 1,38 \cdot 10^{-11}$	$0,48 \cdot 10^{-10} \pm 2,01 \cdot 10^{-11}$	$0,31 \cdot 10^{-10} \pm 3,54 \cdot 10^{-11}$	$1,47 \cdot 10^{-10} \pm 1,22 \cdot 10^{-11}$	$1,54 \cdot 10^{-10} \pm 2,03 \cdot 10^{-11}$	$0,26 \cdot 10^{-10} \pm 1,42 \cdot 10^{-11}$
35	$0,66 \cdot 10^{-10} \pm 1,51 \cdot 10^{-11}$	$0,99 \cdot 10^{-10} \pm 1,87 \cdot 10^{-11}$	$0,32 \cdot 10^{-10} \pm 2,17 \cdot 10^{-11}$	$2,69 \cdot 10^{-10} \pm 3,83 \cdot 10^{-11}$	$4,30 \cdot 10^{-10} \pm 1,68 \cdot 10^{-11}$	$0,55 \cdot 10^{-10} \pm 2,11 \cdot 10^{-11}$
45	$0,87 \cdot 10^{-10} \pm 1,08 \cdot 10^{-11}$	$1,26 \cdot 10^{-10} \pm 2,55 \cdot 10^{-11}$	$0,36 \cdot 10^{-10} \pm 2,30 \cdot 10^{-11}$	$2,96 \cdot 10^{-10} \pm 2,54 \cdot 10^{-11}$	$6,23 \cdot 10^{-10} \pm 1,59 \cdot 10^{-11}$	$0,52 \cdot 10^{-10} \pm 3,09 \cdot 10^{-11}$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές στον παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακας 5) γίνεται αντιληπτό πως τόσο η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος, όσο και η θερμοκρασία επεξεργασίας επηρεάζουν το συντελεστή διάχυσης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται και ο συντελεστής διάχυσης της απώλειας ύδατος (D_{ew}) και της πρόσληψης στερεών (D_{es}) σε κάθε συγκέντρωση. Αυτό υποδεικνύει τη σημαντική εξάρτησή του από τη θερμοκρασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η οποία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην απώλεια ύδατος και την πρόσληψη στερεών κατά τη διεργασία. Φαίνεται, επομένως, πως οι τιμές των συντελεστών είναι οι μεγαλύτερες στη θερμοκρασία των 45°C και οι μικρότερες στους 25°C. Επιπλέον, οι διαφορετικές συγκεντρώσεις επηρεάζουν τους συντελεστές. Στη μεγαλύτερη συγκέντρωση (95% γλυκερόλη) παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή διάχυσης απώλειας ύδατος και πρόσληψης στερεών συγκριτικά με τη συγκέντρωση γλυκερόλης 80%, καθώς στην υψηλότερη συγκέντρωση προάγονται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Στη συνδυαστικό διάλυμα γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης συγκέντρωσης 40-40% ο συντελεστής D_{ew} φαίνεται να μην επηρεάζεται καθόλου από τη θερμοκρασία, ενώ αντίθετα ο συντελεστής D_{es} παρουσιάζει μεταβολή. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το εν λόγω διάλυμα δεν ευνόησε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας εξαιτίας του υψηλού του ιξώδους και της ατελούς διάλυσης των ωσμωτικών υλικών σε αυτό. Επομένως, οι συντελεστές διάχυσης σε αυτή τη συγκέντρωση δε μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστοι. Συνεπώς, συμπεραίνεται, πως τόσο η θερμοκρασία επεξεργασίας, όσο και η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος, επιδρούν σημαντικά στο συντελεστή διάχυσης.

5.1.3. Μελέτη της μείωσης της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

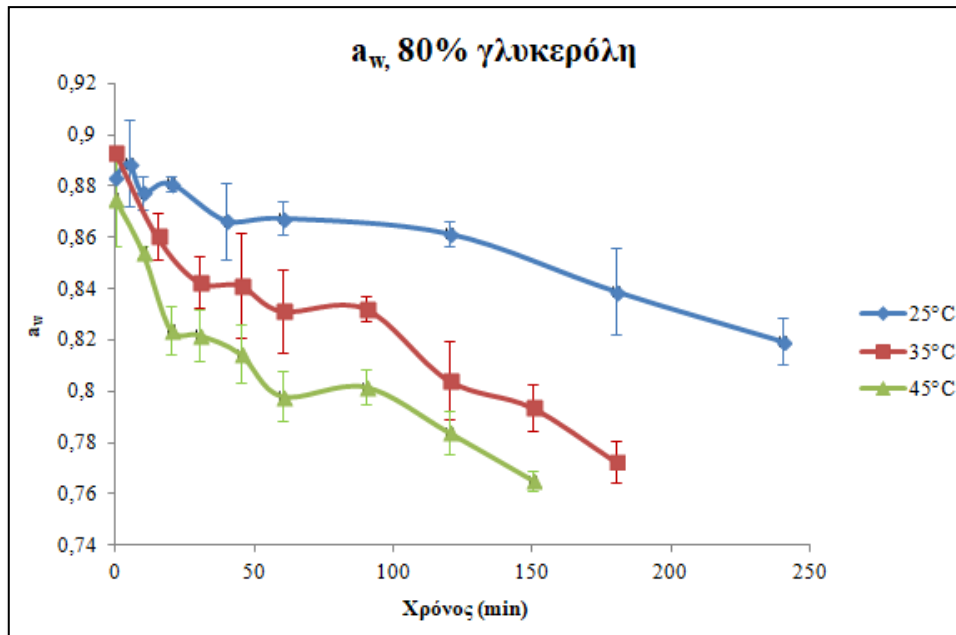
Καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελεί η μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) του τροφίμου κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Για αυτό το λόγο λαμβάνονταν μετρήσεις της a_w ανά τακτά χρονικά διαστήματα έως το τέλος της διεργασίας, σε κάθε συνθήκη που εφαρμόστηκε. Ακολουθούν οι τιμές ενεργότητας ύδατος στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

Πίνακας 6: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w
0	0,8834 ± 0,0107	0	0,8935 ± 0,0007	0	0,8753 ± 0,0189
5	0,8890 ± 0,0171	15	0,8607 ± 0,0090	10	0,8543 ± 0,0025
10	0,8775 ± 0,0064	30	0,8427 ± 0,0101	20	0,8240 ± 0,0095
20	0,8810 ± 0,0028	45	0,8413 ± 0,0203	30	0,8220 ± 0,0102
40	0,8665 ± 0,0148	60	0,8313 ± 0,0162	45	0,8147 ± 0,0116
60	0,8675 ± 0,0064	90	0,8323 ± 0,0049	60	0,7980 ± 0,0098
120	0,8615 ± 0,0050	120	0,8043 ± 0,0150	90	0,8017 ± 0,0068
180	0,8390 ± 0,0170	150	0,7937 ± 0,0089	120	0,7840 ± 0,0082
240	0,8195 ± 0,0092	180	0,7727 ± 0,0081	150	0,7653 ± 0,0038

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές της ενεργότητας ύδατος (βλ. Πίνακα 6) διαπιστώνεται πως μειώνονται με την πάροδο του χρόνου, όπως είναι αναμενόμενο. Η μείωση αυτή φαίνεται πως είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η θερμοκρασία επεξεργασίας. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι μεταβολές της ενεργότητας ύδατος στις τρεις θερμοκρασίες.



Εικόνα 39: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 39), η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στη μείωση της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Συγκεκριμένα υψηλότερη θερμοκρασία επεξεργασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη πτώση της a_w . Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που είναι εντονότερα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελάττωση της ενεργότητας ύδατος. Για αυτό το λόγο, οι τιμές a_w εμφάνισαν μεγαλύτερη μείωση στους 45°C, ακολουθούμενη από τους 35°C και τέλος τους 25°C όπου η μείωση ήταν η μικρότερη εκ των τριών θερμοκρασιών. Οι διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών είναι σημαντικές, ιδιαίτερα των τιμών στους 25°C με τους 45°C, όπου οι τελικές τιμές a_w είναι $0,8195 \pm 0,0092$ σε 240 λεπτά και $0,7653 \pm 0,0038$ σε 150 λεπτά, αντίστοιχα. Στους 35°C, η τελική τιμή a_w στα 180 λεπτά επεξεργασίας είναι $0,7727 \pm 0,0081$, τιμή που είναι πλησιέστερη στην τελική στους 45°C. Φαίνεται επομένως πως η θερμοκρασία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ελάττωση της ενεργότητας ύδατος κατά την επεξεργασία.

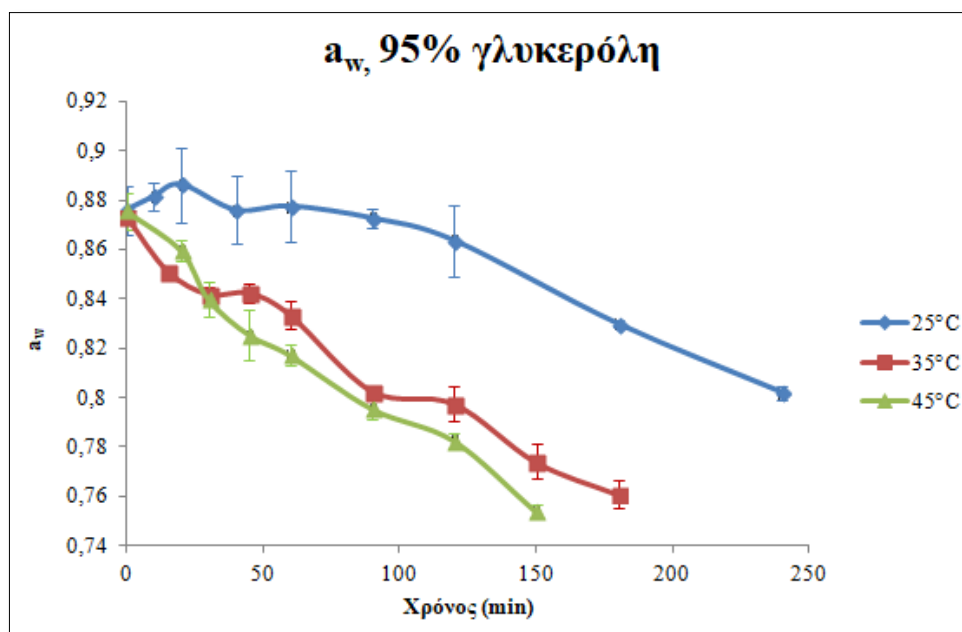
Στη συνέχεια παρατίθενται οι αντίστοιχες τιμές ενεργότητας ύδατος που προέκυψαν για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

Πίνακας 7: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w
0	0,8760 ± 0,0099	0	0,8732 ± 0,0049	0	0,8755 ± 0,0073
10	0,8814 ± 0,0057	15	0,8513 ± 0,0016	20	0,8595 ± 0,0040
20	0,8863 ± 0,0151	30	0,8418 ± 0,0029	30	0,8398 ± 0,0069
40	0,8759 ± 0,0138	45	0,8424 ± 0,0036	45	0,8254 ± 0,0101
60	0,8775 ± 0,0146	60	0,8335 ± 0,0056	60	0,8171 ± 0,0042
90	0,8726 ± 0,0040	90	0,8027 ± 0,0023	90	0,7945 ± 0,0045
120	0,8635 ± 0,0144	120	0,7975 ± 0,0072	120	0,7825 ± 0,0033
180	0,8298 ± 0,0014	150	0,7740 ± 0,0071	150	0,7538 ± 0,0027
240	0,8020 ± 0,0027	180	0,7609 ± 0,0054		

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση, εξετάζοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακα 7), γίνεται αντιληπτό πως με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η μείωση της ενεργότητας ύδατος. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό και στην γραφική απεικόνιση που ακολουθεί, για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.



Εικόνα 40: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 40), η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στη μείωση της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Συγκεκριμένα υψηλότερη θερμοκρασία επεξεργασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη πτώση της a_w . Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που είναι εντονότερα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελάττωση της ενεργότητας ύδατος. Για αυτό το λόγο, οι τιμές a_w εμφάνισαν μεγαλύτερη μείωση στους 45°C, ακολουθούμενη από τους 35°C και τέλος τους 25°C όπου η μείωση ήταν η μικρότερη εκ των τριών θερμοκρασιών. Οι διαφορές μεταξύ των 35 και 45°C δεν είναι σημαντικές, καθώς στον τελικό χρόνο των 180 λεπτών η τιμή a_w στους 35°C είναι $0,7609 \pm 0,0054$, έναντι $0,7538 \pm 0,0027$ στους 45°C σε τελικό χρόνο 150 λεπτών. Συγκριτικά με τους 25°C, όμως, η διαφορά είναι σημαντική, καθώς η τελική τιμή a_w στα 240 λεπτά σε αυτή τη θερμοκρασία είναι $0,8020 \pm 0,0027$. Φαίνεται επομένως πως η θερμοκρασία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ελάττωση της ενεργότητας ύδατος κατά την επεξεργασία και σε αυτή τη συγκέντρωση.

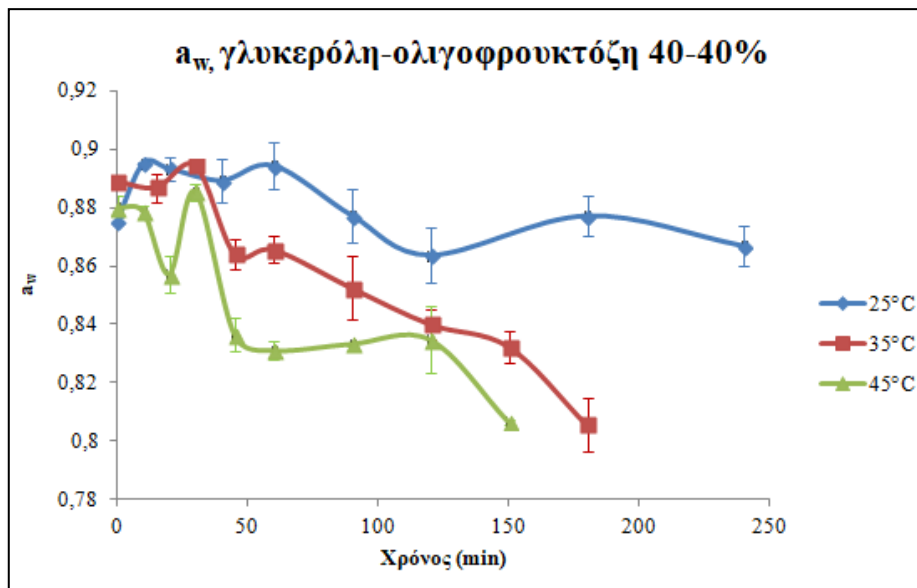
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές ενεργότητας ύδατος που προέκυψαν για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

Πίνακας 8: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w
0	$0,8755 \pm 0,0009$	0	$0,8889 \pm 0,0011$	0	$0,8798 \pm 0,0044$
10	$0,8951 \pm 0,0004$	15	$0,8868 \pm 0,0048$	10	$0,8785 \pm 0,0022$
20	$0,8934 \pm 0,0040$	30	$0,8942 \pm 0,0014$	20	$0,8571 \pm 0,0064$
40	$0,8893 \pm 0,0075$	45	$0,8641 \pm 0,0052$	30	$0,8853 \pm 0,0030$
60	$0,8944 \pm 0,0077$	60	$0,8655 \pm 0,0045$	45	$0,8364 \pm 0,0057$
90	$0,8772 \pm 0,0089$	90	$0,8524 \pm 0,0109$	60	$0,8310 \pm 0,0033$
120	$0,8637 \pm 0,0093$	120	$0,8400 \pm 0,0053$	90	$0,8333 \pm 0,0005$
180	$0,8772 \pm 0,0067$	150	$0,8323 \pm 0,0056$	120	$0,8347 \pm 0,0113$
240	$0,8668 \pm 0,0070$	180	$0,8055 \pm 0,0093$	150	$0,8066 \pm 0,0007$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

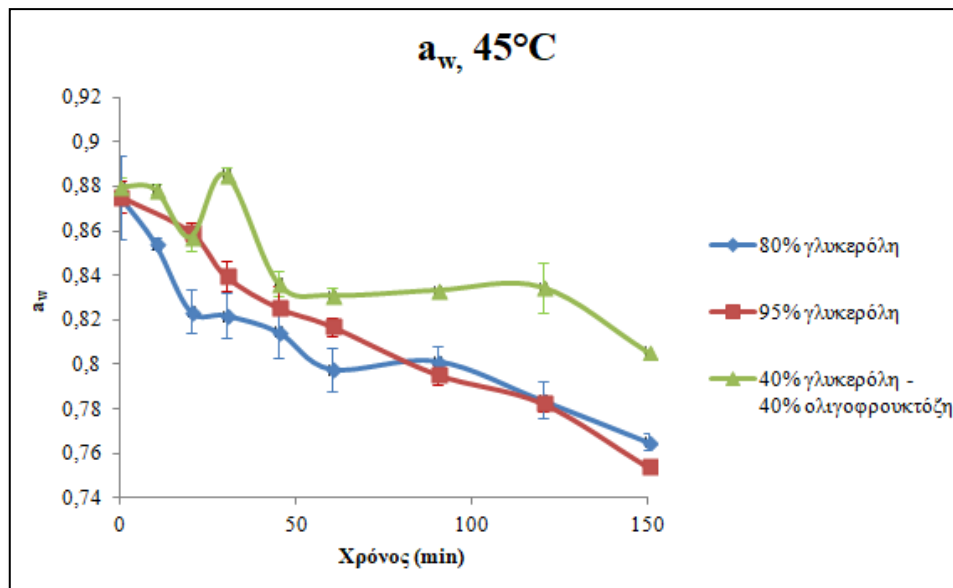
Και σε αυτή την περίπτωση, εξετάζοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακα 8), γίνεται αντιληπτό πως με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η μείωση της ενεργότητας ύδατος. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό και στην γραφική απεικόνιση που ακολουθεί, για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.



Εικόνα 41: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 41), η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στη μείωση της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Συγκεκριμένα υψηλότερη θερμοκρασία επεξεργασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη πτώση της a_w . Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που είναι εντονότερα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελάττωση της ενεργότητας ύδατος. Για αυτό το λόγο, οι τιμές a_w εμφάνισαν μεγαλύτερη μείωση στους 45°C, ακολουθούμενη από τους 35°C και τέλος τους 25°C όπου η μείωση ήταν η μικρότερη εκ των τριών θερμοκρασιών. Οι διαφορές μεταξύ των 35 και 45°C είναι μικρές, καθώς στον τελικό χρόνο των 180 λεπτών η τιμή a_w στους 35°C είναι $0,8055 \pm 0,0093$, έναντι $0,8056 \pm 0,0007$ στους 45°C σε τελικό χρόνο 150 λεπτών. Συγκριτικά με τους 25°C, όμως, η διαφορά είναι σημαντική, καθώς η τελική τιμή a_w στα 240 λεπτά σε αυτή τη θερμοκρασία είναι $0,8668 \pm 0,0070$ και φαίνεται πως η ελάττωση της a_w σε αυτή τη θερμοκρασία είναι ελάχιστη. Γίνεται, επομένως, αντιληπτό πως η θερμοκρασία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ελάττωση της ενεργότητας ύδατος κατά την επεξεργασία και σε αυτή την περίπτωση.

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό πως βέλτιστη θερμοκρασία για τη μείωση της ενεργότητας ύδατος είναι αυτή των 45°C, καθώς σε υψηλότερη θερμοκρασία ευνοούνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και η ενεργότητα ύδατος μειώνεται περισσότερο. Προκειμένου να βρεθεί και η βέλτιστη συγκέντρωση ακολουθεί γραφική απεικόνιση των τιμών a_w στις διαφορετικές συγκεντρώσεις (80 και 95% γλυκερόλη και 40% γλυκερόλη – 40% ολιγοφρουκτόζη) στη βέλτιστη θερμοκρασία των 45°C.



Εικόνα 42: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου για τις τρεις συγκεντρώσεις (80 και 95% γλυκερόλη και γλυκερόλη-ολιγοφρουκτόζη 40-40%) στους 45°C.

Παρατηρώντας τη μεταβολή των τιμών a_w συναρτήσει του χρόνου στις τρεις συγκεντρώσεις (80 και 95% γλυκερόλη και γλυκερόλη-ολιγοφρουκτόζη 40-40%) στους 45°C, (βλ. Εικόνα 42) γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές δε διαφέρουν σημαντικά στις συγκεντρώσεις 80 και 95% γλυκερόλη. Σε υψηλότερη συγκέντρωση προάγονται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, όμως εν προκειμένω φαίνεται πως για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η μικρότερη συγκέντρωση (80%) παρουσίαζε μικρότερες τιμές σε σύγκριση με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση (95%). Συμπεραίνεται έτσι πως η διαφορετική συγκέντρωση γλυκερόλης δεν επιδρά σημαντικά στη μεταβολή της ενεργότητας ύδατος στην προκειμένη περίπτωση. Στο συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης σε συγκέντρωση 40-40% παρουσιάζεται η μικρότερη μείωση της ενεργότητας ύδατος, κάτι που συμβαίνει λόγω του πολύ υψηλού ιξώδους του εν λόγω ωσμωτικού διαλύματος που αποτέλεσε εμπόδιο για τα φαινόμενα μεταφορά μάζας.

Συμπερασματικά, προέκυψε πως η συγκέντρωση σακχάρου του ωσμωτικού διαλύματος επηρεάζει την ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων σε μικρό βαθμό. Το συνδυαστικό διάλυμα γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης φάνηκε πως δεν προάγει τη μείωση της ενεργότητας ύδατος καθώς έχει πολύ υψηλό ιξώδες που δυσχεραίνει την εξέλιξη της διεργασίας. Επιπλέον, μεταξύ των συγκεντρώσεων γλυκερόλης 80 και 95% οι διαφορές είναι μικρές σε όλες τις θερμοκρασίες, επομένως δεν υπάρχει λόγος να προτιμηθεί η υψηλότερη συγκέντρωση αντί της χαμηλότερης. Ακόμη, έγινε αντιληπτό πως η αύξηση

της θερμοκρασίας επεξεργασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της a_w , καθώς οι μικρότερες τιμές της ελήφθησαν στην υψηλότερη θερμοκρασία των 45°C. Για αυτό το λόγο θεωρείται η θερμοκρασία των 45°C ως βέλτιστη.

5.1.4. Μελέτη της μεταβολής της υφής (σκληρότητα) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

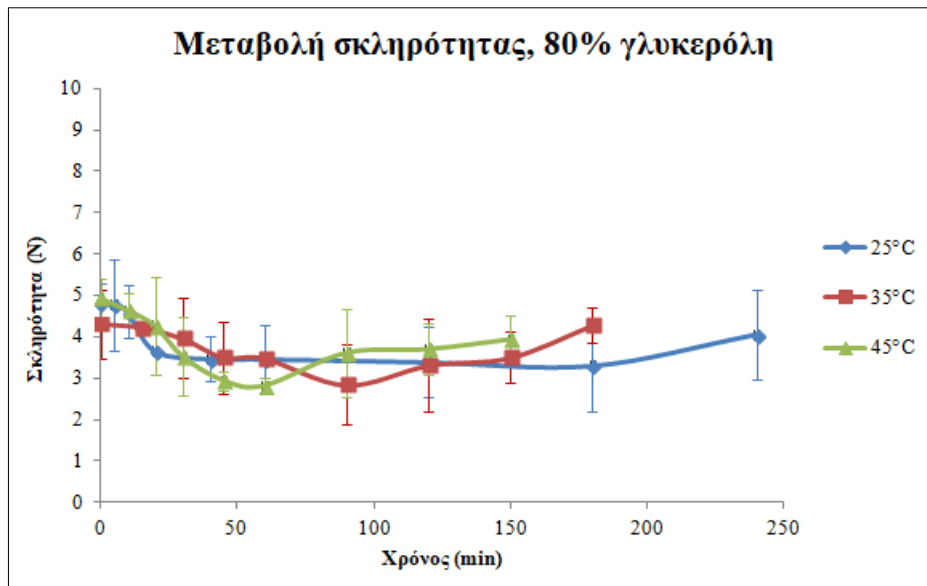
Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των σύκων λαμβάνονταν μετρήσεις της σκληρότητας των δειγμάτων προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της υφής τους καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας, σε κάθε εφαρμοζόμενη συνθήκη. Ακολουθούν οι τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων για συγκέντρωση γλυκερόλης 80% σε όλες τις θερμοκρασίες.

Πίνακας 9: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)
0	4,8049 ± 0,4726	0	4,3046 ± 0,8293	0	4,9390 ± 0,4833
5	4,7674 ± 1,0870	15	4,2211 ± 0,0930	10	4,6507 ± 0,3923
10	4,6009 ± 0,6306	30	3,9602 ± 0,9651	20	4,2719 ± 1,1698
20	3,6500 ± 0,5735	45	3,5036 ± 0,8674	30	3,5244 ± 0,9552
40	3,4655 ± 0,5337	60	3,4823 ± 0,0883	45	2,9320 ± 0,2243
60	3,4578 ± 0,8158	90	2,8415 ± 0,9588	60	2,8103 ± 0,1962
120	3,3889 ± 0,8603	120	3,3107 ± 1,1085	90	3,6130 ± 1,0578
180	3,3020 ± 1,1128	150	3,4971 ± 0,6134	120	3,7044 ± 0,6205
240	4,0597 ± 1,0792	180	4,2696 ± 0,4285	150	3,9455 ± 0,5806

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Όπως γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας τις τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων (βλ. Πίνακα 9), η υφή των σύκων μεταβάλλεται ελαφρώς κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, στα πρώτα στάδια παρατηρείται μια πτώση των τιμών σκληρότητας σε όλες τις θερμοκρασίες επεξεργασίας, ενώ στα τελευταία στάδια φαίνεται να υπάρχει εκ νέου μικρή αύξηση. Οι διαφορετικές θερμοκρασίες επεξεργασίας δε φαίνεται να ασκούν κάποια επίδραση, ενώ οι διακυμάνσεις μεταξύ των τιμών φαίνεται να οφείλονται στο ίδιο το σύκο, τη φυσική του κατάσταση ή σκληρότητα και το στάδιο ωριμότητας του. Τα παραπάνω γίνονται αντιληπτά και από την γραφική απεικόνιση των τιμών σκληρότητας που ακολουθεί.



Εικόνα 43: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 43) η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται ελαφρώς με την πάροδο του χρόνου, και στη συνέχεια αυξάνεται ξανά. Η θερμοκρασία επεξεργασίας δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τη μεταβολή της υφής εφόσον υπάρχει επικάλυψη των τιμών στις διαφορετικές θερμοκρασίες.

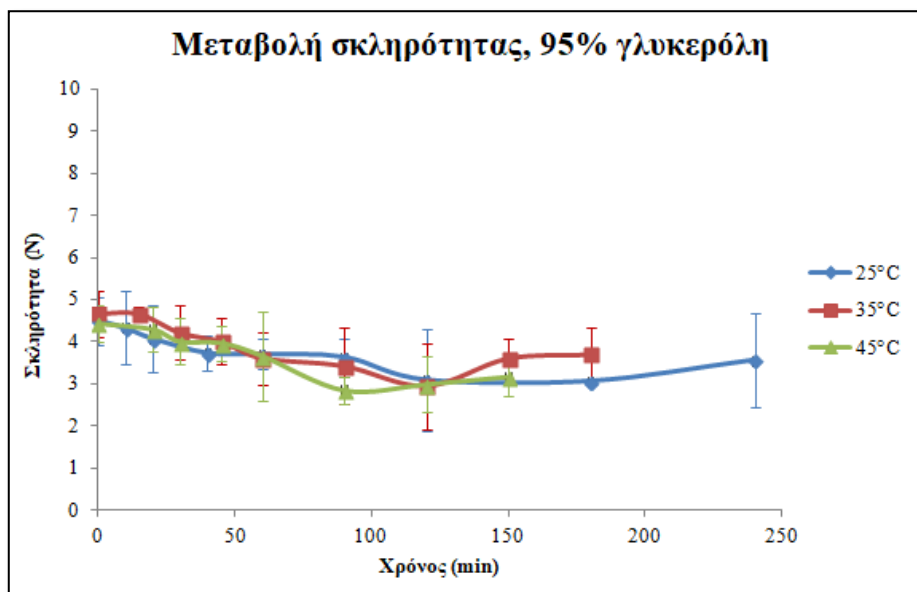
Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και σε συγκέντρωση γλυκερόλης 95%, μελετώντας τις τιμές σκληρότητας που ακολουθούν.

Πίνακας 10: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της οσμωτικής αφυδάτωσης στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)
0	4,5012 ± 0,5658	0	4,6681 ± 0,5486	0	4,4319 ± 0,4477
10	4,3259 ± 0,8661	15	4,6624 ± 0,1602	20	4,2943 ± 0,5246
20	4,0728 ± 0,8088	30	4,2111 ± 0,6408	30	4,0058 ± 0,5550
40	3,7276 ± 0,4110	45	4,0026 ± 0,5494	45	3,9699 ± 0,4204
60	3,6996 ± 0,3586	60	3,6057 ± 0,6364	60	3,6636 ± 1,0464
90	3,6308 ± 0,4485	90	3,4157 ± 0,9107	90	2,8446 ± 0,3352
120	3,0863 ± 1,2096	120	2,9382 ± 1,0384	120	2,9916 ± 0,6580
180	3,0577 ± 0,0711	150	3,5958 ± 0,4861	150	3,1698 ± 0,4547
240	3,5619 ± 1,1140	180	3,6856 ± 0,6689		

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση γίνεται αντιληπτό ότι οι τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων (βλ. Πίνακας 10) μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο (αρχική μείωση και στη συνέχεια μικρή αύξηση), ενώ η θερμοκρασία στην οποία έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την υφή τους. Οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται οφείλονται πιθανόν στο ίδιο το σύκο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.



Εικόνα 44: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35, και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 44) η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται ελαφρώς με την πάροδο του χρόνου, και στη συνέχεια αυξάνεται ξανά. Η θερμοκρασία επεξεργασίας δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τη μεταβολή της υφής εφόσον υπάρχει επικάλυψη των τιμών στις διαφορετικές θερμοκρασίες, και σε αυτή την περίπτωση.

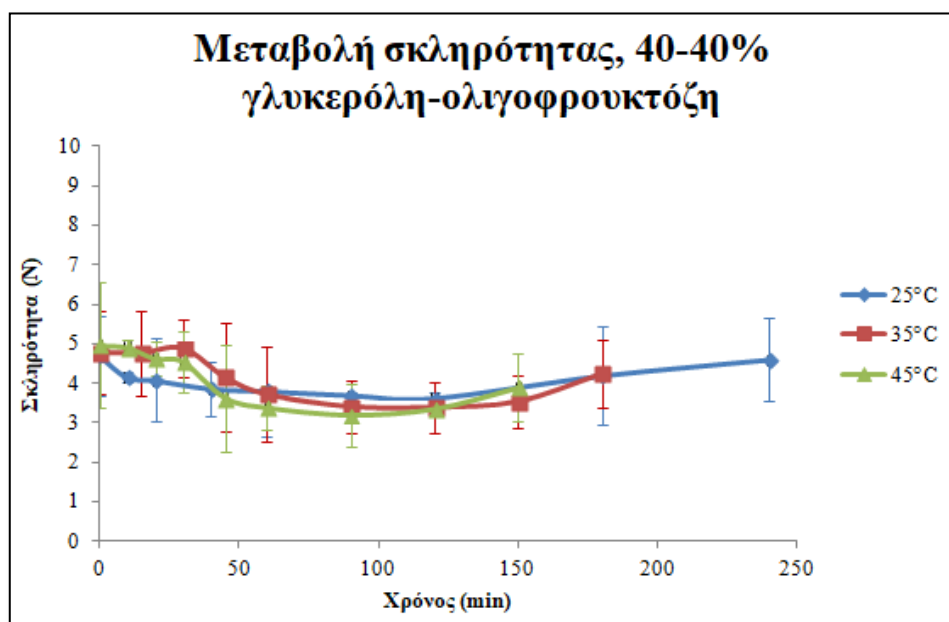
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές σκληρότητας των δειγμάτων σε συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης συγκέντρωσης 40-40%.

Πίνακας 11: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της οσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C, για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)
0	4,6991 ± 2,0147	0	4,7783 ± 2,0428	0	4,9582 ± 1,5963
10	4,1450 ± 0,1383	15	4,7615 ± 2,0677	10	4,9059 ± 0,1899
20	4,0714 ± 1,0533	30	4,8800 ± 1,7418	20	4,6242 ± 0,4431
40	3,8588 ± 0,6877	45	4,1537 ± 2,3880	30	4,5440 ± 0,7744
60	3,7992 ± 2,1342	60	3,7220 ± 3,2023	45	3,6222 ± 1,3396
90	3,6965 ± 0,0547	90	3,4155 ± 2,1693	60	3,3699 ± 2,3563
120	3,6253 ± 0,1516	120	3,3943 ± 0,6478	90	3,1846 ± 0,7901
180	4,1914 ± 1,2480	150	3,5427 ± 1,6708	120	3,1382 ± 0,0774
240	4,5985 ± 1,4470	180	4,2361 ± 2,8754	150	3,8856 ± 1,8583

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση γίνεται αντιληπτό ότι οι τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων (βλ. Πίνακας 11) μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο (αρχική μείωση και στη συνέχεια μικρή αύξηση), ενώ η θερμοκρασία στην οποία έλαβε χώρα η οσμωτική αφυδάτωση δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την υφή τους. Οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται οφείλονται πιθανόν στο ίδιο το σύκο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.



Εικόνα 45: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35, και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 45), και στο συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης παρατηρείται μια αρχική μείωση της σκληρότητας και στη συνέχεια μικρή αύξηση προς το τέλος της διεργασίας, ενώ η θερμοκρασία επεξεργασίας δε φαίνεται να επηρεάζει τη μεταβολή της υφής.

Συγκρίνοντας τις τιμές μεταξύ των διαφορετικών συγκεντρώσεων προκύπτει πως δεν επηρεάζουν σημαντικά τη μεταβολή της υφής των δειγμάτων καθώς οι τιμές είναι παρεμφερείς σε όλες τις συγκεντρώσεις.

Συμπερασματικά, προκύπτει πως η ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζει την υφή των σύκων Κύμης αρχικά μειώνοντάς τη, και στη συνέχεια προκαλώντας εκ νέου αύξηση. Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει βρεθεί πως οδηγεί σε ελάττωση της σκληρότητας φρούτων και λαχανικών, λόγω των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στα κύτταρα του ιστού, όπως απώλεια της σπαργής του κυττάρου (πλασμόλυση), πλήρωση των χώρων αέρα με το υπερτονικό διάλυμα και υποβάθμιση του μεσαίου ελάσματος (Lewicki & Lukaszuk, 2000; Haj Najafi et al., 2014). Έχουν βρεθεί αντίστοιχα αποτελέσματα σε μελέτες για μήλα (Lewicki & Lukaszuk, 2000; Chiralt & Talens, 2005), πορτοκάλια (Katsiferis et al., 2008) και φράουλες (Castelló et al., 2010). Η μετέπειτα μικρή αύξηση της σκληρότητάς τους, που λαμβάνει χώρα στα σύκα Κύμης, πιθανόν οφείλεται στη μεγάλη απώλεια νερού από το σύκο, καθώς η αφυδάτωσή του προκαλεί και αύξηση της σκληρότητας. Προέκυψε, επίσης, πως οι διαφορετικές συνθήκες ωσμωτικής επεξεργασίας δεν έχουν σημαντική επίδραση στη σκληρότητα των δειγμάτων. Αξίζει να τονισθεί πως τα εν λόγω αποτελέσματα αφορούν τα σύκα Κύμης και πιθανόν σε άλλα είδη να παρουσιάζονται διαφορετικές μεταβολές στην υφή των σύκων κατά την ωσμωτική επεξεργασία.

5.1.5. Μελέτη της μεταβολής των παραμέτρων του χρώματος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Καθ' όλη τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, και σε κάθε συνθήκη που εφαρμόστηκε, ελήφθησαν μετρήσεις των παραμέτρων του χρώματος, L, a, b στην εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα) και στην εσωτερική (σάρκα). Στη συνέχεια παρατίθενται οι τιμές που προέκυψαν στους 45°C για κάθε συγκέντρωση σακχάρου που εφαρμόστηκε.

Πίνακας 12: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b, σε θερμοκρασία 45°C και συγκέντρωση γλυκερόλης 80 και 95% και γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

80% γλυκερόλη						
Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	63,39 ± 2,48	2,88 ± 1,52	30,65 ± 3,03	26,19 ± 1,83	6,01 ± 0,34	14,97 ± 2,77
10	64,65 ± 3,09	2,54 ± 3,12	27,25 ± 3,76	27,18 ± 3,60	6,53 ± 0,88	16,04 ± 0,36
20	66,35 ± 3,66	3,73 ± 1,06	29,56 ± 1,40	29,01 ± 2,41	6,83 ± 0,69	13,69 ± 2,37
30	64,45 ± 2,88	1,99 ± 2,03	27,84 ± 2,69	26,64 ± 3,87	5,77 ± 0,91	16,98 ± 3,60
45	66,80 ± 3,53	2,11 ± 3,49	28,52 ± 3,74	28,24 ± 2,77	5,97 ± 0,56	15,10 ± 1,43
60	66,94 ± 4,14	1,75 ± 2,42	29,78 ± 3,93	28,47 ± 4,49	6,16 ± 1,13	15,64 ± 2,32
90	61,93 ± 2,75	4,22 ± 1,58	31,60 ± 2,94	27,86 ± 3,17	5,76 ± 0,55	15,23 ± 2,45
120	62,88 ± 3,64	3,42 ± 3,65	29,98 ± 4,71	27,17 ± 3,62	6,16 ± 0,96	15,86 ± 1,87
150	63,21 ± 3,22	1,55 ± 4,80	31,02 ± 3,21	26,81 ± 3,56	6,22 ± 0,64	15,81 ± 1,69
95% γλυκερόλη						
Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	61,37 ± 1,98	3,58 ± 1,92	27,77 ± 2,08	26,23 ± 2,27	6,17 ± 0,36	14,99 ± 1,17
20	61,24 ± 3,45	3,16 ± 0,89	30,03 ± 3,41	25,69 ± 2,96	6,34 ± 0,38	15,63 ± 1,87
30	63,24 ± 1,12	4,29 ± 0,64	28,22 ± 1,04	28,32 ± 2,01	5,70 ± 0,74	17,14 ± 1,72
45	64,80 ± 3,44	2,01 ± 1,53	26,75 ± 2,41	30,28 ± 4,61	6,26 ± 0,49	15,37 ± 1,01
60	60,73 ± 3,51	1,82 ± 1,93	29,05 ± 2,95	27,56 ± 3,09	5,28 ± 0,47	16,87 ± 1,69
90	65,59 ± 2,11	2,97 ± 0,77	29,88 ± 3,78	29,31 ± 3,67	5,38 ± 1,82	14,64 ± 1,40
120	62,32 ± 2,69	4,03 ± 1,26	31,94 ± 1,18	29,86 ± 2,70	6,03 ± 0,11	15,36 ± 0,57
150	61,49 ± 4,75	2,48 ± 0,97	29,48 ± 1,33	28,45 ± 4,80	5,09 ± 0,36	16,66 ± 1,75
40% γλυκερόλη – 40% ολιγοφρουκτόζη						
Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	65,35 ± 2,30	4,63 ± 0,78	28,60 ± 3,14	29,02 ± 1,16	5,09 ± 1,38	16,74 ± 2,83
10	63,04 ± 2,46	3,07 ± 1,75	30,26 ± 2,28	25,91 ± 3,93	6,74 ± 0,48	14,42 ± 1,79
20	63,56 ± 1,66	1,93 ± 0,69	27,32 ± 1,88	29,79 ± 2,94	5,80 ± 0,72	16,90 ± 0,76
30	63,53 ± 2,60	3,00 ± 1,14	26,65 ± 2,17	26,93 ± 2,59	6,36 ± 0,61	15,46 ± 2,72
45	66,23 ± 1,57	2,55 ± 2,38	31,92 ± 2,61	28,59 ± 3,71	6,18 ± 1,27	16,53 ± 1,32
60	61,25 ± 1,48	2,18 ± 0,72	29,14 ± 1,24	29,08 ± 0,91	6,44 ± 0,80	17,49 ± 0,46
90	65,82 ± 0,50	3,59 ± 1,14	29,33 ± 2,61	26,03 ± 2,06	5,84 ± 0,46	15,71 ± 3,34
120	62,39 ± 2,16	3,00 ± 0,70	27,68 ± 3,64	26,69 ± 2,86	5,36 ± 0,41	15,89 ± 2,99
150	64,27 ± 1,55	4,33 ± 1,19	31,45 ± 2,54	27,29 ± 3,52	6,10 ± 0,26	17,27 ± 1,86

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 6 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές των παραμέτρων του χρώματος στους 45°C για κάθε συγκέντρωση σακχάρου που εφαρμόστηκε (βλ. Πίνακας 12) γίνεται αντιληπτό πως η επεξεργασία δεν επηρέασε το χρώμα του σύκου ούτε στην εσωτερική αλλά ούτε και στην

εξωτερική πλευρά. Οι τιμές δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά σε καμία από τις συνθήκες, ενώ οι διακυμάνσεις που παρουσιάζονται πιθανόν οφείλονται στην ποικιλομορφία των δειγμάτων σύκων. Στις υπόλοιπες θερμοκρασίες επεξεργασίας (25 και 35°C) επίσης δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στις τιμές, ούτε σε επίπεδο διαφορετικής θερμοκρασίας, ούτε σε επίπεδο διαφορετικής συγκέντρωσης, επομένως δεν κρίθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθούν αυτές οι τιμές. Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως η ωσμωτική αφυδάτωση ως επεξεργασία δεν ασκεί σημαντική επίδραση στο χρώμα των σύκων Κύμης, ανεξάρτητα από τις παραμέτρους της ώσμωσης που εφαρμόζονται.

5.1.6. Μελέτη της μεταβολής του pH των σύκων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης λαμβάνονταν μετρήσεις pH για τα δείγματα ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει μεταβολή λόγω της ωσμωτικής επεξεργασίας. Παρουσιάζονται στη συνέχεια οι τιμές που προέκυψαν για συγκέντρωση γλυκερόλης 80% στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας.

Πίνακας 13: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τέσσερις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH
0	5,06	0	5,01	0	4,90
5	5,06	15	4,85	10	4,93
10	5,05	30	4,78	20	4,87
20	4,93	45	4,80	30	4,61
40	5,00	60	4,60	45	4,63
60	4,80	90	4,74	60	4,56
120	4,79	120	4,43	90	4,37
180	4,85	150	4,44	120	4,41
240	4,56	180	4,24	150	4,44

Παρατηρώντας τις τιμές pH των σύκων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης για συγκέντρωση γλυκερόλης 80% γίνεται αντιληπτό ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή. Παρουσιάζονται διακυμάνσεις μεταξύ των τιμών σε όλες τις θερμοκρασίες επεξεργασίας, που φαίνεται να συμβαίνουν λόγω των ίδιων των δειγμάτων, καθώς κάθε σύκο πριν την επεξεργασία είχε διαφορετική τιμή pH. Παρατηρείται μια μικρή

πτώση της τιμής του pH που οφείλεται στην αλληλεπίδραση του δείγματος με το ωσμωτικό διάλυμα και τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, όμως οι τιμές αυτές δε μπορούν να δώσουν ξεκάθαρο συμπέρασμα λόγω των διαφορών που υπάρχουν. Συνεπώς, φαίνεται πως η ωσμωτική αφυδάτωση σαν επεξεργασία δεν επηρεάζει σημαντικά το pH του σύκου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν για συγκέντρωση γλυκερόλης 95% στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας.

Πίνακας 14: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH
0	4,99	0	4,79	0	4,68
10	4,79	15	4,69	20	4,60
20	4,85	30	4,68	30	4,58
40	4,84	45	4,69	45	4,37
60	4,58	60	4,74	60	4,56
90	4,49	90	4,56	90	4,29
120	4,57	120	4,37	120	4,34
180	4,36	150	4,14	150	4,12
240	4,15	180	4,19		

Παρατηρώντας τις τιμές pH των σύκων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%, προκύπτουν αντίστοιχα συμπεράσματα με παραπάνω καθώς γίνεται αντιληπτό ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή. Οι διακυμάνσεις που παρουσιάζονται οφείλονται στο ίδιο το σύκο, ενώ η διαφορετική θερμοκρασία δε φαίνεται να ασκεί σημαντική επίδραση στη μεταβολή του pH του σύκου.

Ακολουθούν οι τιμές που προέκυψαν για το συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40% στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας.

Πίνακας 15: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH
0	4,87	0	4,77	0	4,75
10	4,53	15	4,50	10	4,54
20	4,56	30	4,50	20	4,75
40	4,60	45	4,38	30	4,26
60	4,33	60	4,49	45	4,11
90	4,37	90	4,39	60	4,19
120	4,24	120	4,09	90	4,14
180	4,02	150	4,09	120	4,23
240	4,19	180	4,12	150	4,17

Παρατηρώντας τις τιμές pH των σύκων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40% γίνεται αντιληπτό ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή, ούτε σε αυτή την περίπτωση.

Συμπερασματικά, λοιπόν, το pH των σύκων που υφίστανται ωσμωτική αφυδάτωση δε φαίνεται να επηρεάζεται από τις διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας, παρουσιάζεται όμως μια μικρή πτώση με την πάροδο του χρόνου που οφείλεται στην ανταλλαγή ουσιών με το ωσμωτικό διάλυμα.

5.1.7. Μελέτη των μεταβολών pH, °Brix, και a_w του ωσμωτικού διαλύματος

Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης λαμβάνονταν και μετρήσεις σχετικές με το ωσμωτικό διάλυμα. Συγκεκριμένα μελετούνταν οι μεταβολές του pH, της περιεκτικότητας σε διαλυτά στερεά (°Brix) και της ενεργότητας ύδατος του (a_w). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εν λόγω τιμές για τους διαφορετικούς ωσμωτικούς παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν, στις θερμοκρασίες στις οποίες εφαρμόστηκε ωσμωτική αφυδάτωση. Μετρήσεις ενεργότητας ύδατος ελήφθησαν μόνο στην περίπτωση 80% γλυκερόλης, ενώ στις άλλες περιπτώσεις δεν ήταν εφικτό λόγω τεχνικού προβλήματος. Ακολουθούν οι τιμές για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

Πίνακας 16: Τιμές pH, °Brix και a_w του ωσμωτικού διαλύματος στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 80%.

25°C				35°C				45°C			
Χρόνος (min)	pH	°Brix	a_w	Χρόνος (min)	pH	°Brix	a_w	Χρόνος (min)	pH	°Brix	a_w
0	2,95	61,7	0,505	0	2,87	61,9	0,506	0	2,84	62,0	0,484
5	3,05	61,5	0,510	15	2,97	61,2	0,501	10	2,91	62,0	0,487
10	3,04	61,5	0,511	30	3,07	61,2	0,507	20	3,03	61,4	0,491
20	3,17	61,3	0,513	45	3,13	61,0	0,513	30	3,07	61,4	0,490
40	3,17	60,9	0,518	60	3,18	61,2	0,517	45	3,17	60,9	0,509
60	3,23	60,8	0,520	90	3,16	60,5	0,519	60	3,22	60,4	0,513
120	3,41	60,1	0,533	120	3,24	60,3	0,526	90	3,24	60,0	0,529
180	3,38	60,1	0,535	150	3,26	59,9	0,530	120	3,29	59,6	0,537
240	3,38	60,1	0,537	180	3,35	59,7	0,542	150	3,34	59,2	0,540

Παρατηρώντας τις τιμές pH στον παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακα 16) φαίνεται πως με την πάροδο του χρόνου, κατά την διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας, το pH του διαλύματος αυξάνει, και στις τρεις θερμοκρασίες, καθώς μεταφέρονται ουσίες και νερό από το σύκο στο διάλυμα, προκαλώντας έτσι μεταβολή της τιμής του pH. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιών, συμπεραίνεται, λοιπόν, πως η θερμοκρασία δεν ασκεί σημαντική επίδραση στη μεταβολή του pH του διαλύματος.

Όπως είναι αναμενόμενο, τα διαλυτά στερεά στο ωσμωτικό διάλυμα, εκφρασμένα σε °Brix, μειώνονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας καθώς γίνεται μεταφορά διαλυτών στερεών από το διάλυμα στο δείγμα. Φαίνεται πως η μεταβολή είναι ελαφρώς μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η θερμοκρασία επεξεργασίας καθώς η τελική τιμή είναι 60,1, 59,7, και 59,2 στους 25, 35, και 45°C αντίστοιχα. Αυτό υποδηλώνει πως η θερμοκρασία επηρεάζει τη μείωση των διαλυτών στερεών στο διάλυμα, λόγω μεταφοράς τους στο δείγμα.

Αντίστοιχα, η ενεργότητα ύδατος του διαλύματος αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, καθώς νερό μεταφέρεται από το σύκο στο ωσμωτικό διάλυμα, αυξάνοντας έτσι την ενεργότητα ύδατος του. Η αύξηση αυτή επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και συγκεκριμένα είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερη θερμοκρασία. Η διαφορά παρόλα αυτά, δεν είναι σημαντική.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

Πίνακας 17: Τιμές pH και °Brix του ωσμωτικού διαλύματος στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης 95%.

25°C			35°C			45°C		
Χρόνος (min)	pH	°Brix	Χρόνος (min)	pH	°Brix	Χρόνος (min)	pH	°Brix
0	2,97	71,1	0	2,87	71,5	0	2,98	72,0
10	3,02	71,0	15	2,96	70,6	20	3,09	72,0
20	3,11	70,6	30	3,04	70,0	30	3,18	69,9
40	3,16	70,5	45	3,14	69,3	45	3,23	69,8
60	3,15	70,1	60	3,19	69,4	60	3,33	69,5
90	3,27	69,7	90	3,36	68,2	90	3,38	69,5
120	3,30	69,4	120	3,34	67,6	120	3,41	68,7
180	3,35	68,7	150	3,40	67,3	150	3,40	66,7
240	3,39	66,8	180	3,37	66,8			

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται πως οι τιμές του pH του διαλύματος παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, λόγω της μεταφοράς συστατικών και νερού που λαμβάνει χώρα. Δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική διαφορά ανά θερμοκρασία, αλλά ούτε και σε σύγκριση με τις τιμές στη συγκέντρωση γλυκερόλης 80% (βλ. Πίνακα 16).

Επιπλέον, τα διαλυτά στερεά, εκφρασμένα σε °Brix, εμφανίζουν μείωση λόγω της μεταφοράς στερεών συστατικών από το διάλυμα στο σύκο, με τη θερμοκρασία να μην ασκεί σημαντική επίδραση, καθώς οι τιμές είναι παρεμφερείς και στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C). Συγκριτικά με τη συγκέντρωση γλυκερόλης 80%, σε αυτή την περίπτωση φαίνεται πως συμβαίνει μεγαλύτερη μείωση διαλυτών στερεών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, κάτι που οφείλεται στη μεγαλύτερη πρόσληψη στερεών από το σύκο στην υψηλότερη συγκέντρωση.

Ακολουθούν οι αντίστοιχες τιμές για το συνδυασμό γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης σε συγκέντρωση 40-40%.

Πίνακας 18: Τιμές pH και °Brix του ωσμωτικού διαλύματος στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για συγκέντρωση γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40%.

25°C			35°C			45°C		
Χρόνος (min)	pH	°Brix	Χρόνος (min)	pH	°Brix	Χρόνος (min)	pH	°Brix
0	2,84	65,6	0	2,92	69,6	0	2,89	67,9
10	3,01	65,6	15	3,03	68,5	10	3,03	67,4
20	3,04	65,4	30	3,07	68,3	20	3,02	67,4
40	3,03	65,1	45	3,12	68,0	30	3,05	67,3
60	3,14	65,0	60	3,11	68,2	45	3,12	67,0
90	3,21	64,2	90	3,23	67,5	60	3,12	67,1
120	3,28	64,3	120	3,24	67,5	90	3,18	66,7
180	3,34	63,2	150	3,28	66,6	120	3,30	66,6
240	3,35	59,5	180	3,38	66,6	150	3,34	66,4

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται πως οι τιμές του pH του διαλύματος παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, λόγω της μεταφοράς συστατικών και νερού που λαμβάνει χώρα. Δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική διαφορά ανά θερμοκρασία, αλλά ούτε και σε σύγκριση με τις τιμές στις συγκεντρώσεις γλυκερόλης 80 και 95% (βλ. Πίνακα 16 και 17). Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως ούτε η θερμοκρασία επεξεργασίας, αλλά ούτε και η συγκέντρωση του σακχάρου στο ωσμωτικό διάλυμα, επηρεάζουν σημαντικά τη μεταβολή του pH του διαλύματος.

Επιπλέον, τα διαλυτά στερεά, εκφρασμένα σε °Brix, εμφανίζουν μείωση λόγω της μεταφοράς στερεών συστατικών από το διάλυμα στο σύκο. Σε αυτή την περίπτωση όμως δε μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα καθώς οι τιμές των °Brix παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Αυτό συμβαίνει διότι το διάλυμα γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης συγκέντρωσης 40-40% είχε πολύ υψηλό ιξώδες και ο χειρισμός του ήταν πολύ δύσκολος, με αποτέλεσμα να μην έχει γίνει σωστή ανάμιξη και διάλυση των συστατικών του διαλύματος. Για αυτό το λόγο δε μπορεί να συγκριθεί με ασφάλεια η επίδραση της θερμοκρασίας σε αυτή την περίπτωση.

Συμπεραίνεται, επομένως, πως δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στο pH του ωσμωτικού διαλύματος που να εξαρτώνται από τις συνθήκες της ωσμωτικής επεξεργασίας, ενώ λόγω των φαινομένων ανταλλαγής μάζας η τιμή του pH του διαλύματος αυξάνεται ελαφρώς με την πάροδο του χρόνου (όπως αντίστοιχα μειώνεται το

pH των σύκων). Η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά μειώνεται με την πάροδο του χρόνου σε όλες τις συνθήκες, λόγω της ανταλλαγής ουσιών που λαμβάνει χώρα, και σε υψηλότερη συγκέντρωση η μείωση είναι μεγαλύτερη. Αντίστοιχα, η ενεργότητα ύδατος του διαλύματος αυξάνεται κατά τη διεργασία λόγω της απώλειας νερού που συμβαίνει από το δείγμα, η οποία είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Τέλος, στην περίπτωση χρήσης συνδυασμού γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης 40-40% το διάλυμα που προέκυψε ήταν δύσκολο στο χειρισμό του και το υψηλό του ιξώδες δεν ευνόησε τα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται ασυνέχεια στις μετρηθείσες τιμές διαλυτών στερεών.

5.1.8. Βέλτιστες συνθήκες της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Λαμβάνοντας υπόψη όλη την παραπάνω μελέτη της επίδρασης των βασικών παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, αλλά και στη μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών, προκύπτει πως η βέλτιστη θερμοκρασία επεξεργασίας είναι αυτή των 45°C, καθώς τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι εντονότερα και η ενεργότητα ύδατος μειώνεται ταχύτερα.

Η συγκέντρωση σακχάρου που επιλέγεται είναι η συγκέντρωση γλυκερόλης 80%. Παρόλο που στη βέλτιστη θερμοκρασία των 45°C παρουσιάζεται μεγαλύτερη απώλεια ύδατος και πρόσληψη στερεών στη συγκέντρωση γλυκερόλης 95%, αυτή δεν επιλέγεται καθώς οι διαφορές που παρουσιάζονται είναι μικρές και δεν είναι οικονομικά συμφέρον να χρησιμοποιηθεί η υψηλότερη συγκέντρωση. Επιπλέον, λόγω του υψηλού ιξώδους του διαλύματος, η μείωση της ενεργότητας ύδατος στα αρχικά στάδια της ωσμωτικής αφυδάτωσης γίνεται πιο αργά από την αντίστοιχη στη συγκέντρωση 80%. Επομένως, είναι πιο αποτελεσματική η χρήση της συγκέντρωσης γλυκερόλης 80% στην προκειμένη περίπτωση.

5.2. Σύκα Μαρκοπούλου – μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Λόγω μη διαθεσιμότητας σύκων Κύμης δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί και να μελετηθεί η ξήρανσή τους. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν μαύρα σύκα Μαρκοπούλου για τη διεξαγωγή των πειραμάτων ξήρανσης. Δεδομένης όμως της πολύ διαφορετικής φύσης των δύο ειδών, οι βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης που βρέθηκαν μετά από την πλήρη κινητική μελέτη στα σύκα Κύμης, δεν ήταν βέβαιο πως θα ήταν οι βέλτιστες και για τα σύκα Μαρκοπούλου. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα μέχρι τότε συμπεράσματα, μελετήθηκαν κάποιες βασικές παράμετροι της ωσμωτικής επεξεργασίας για να επαναπροσδιορισθούν οι βέλτιστες συνθήκες στις οποίες θα πραγματοποιηθεί η ξήρανση. Μελετήθηκαν και σε αυτή την περίπτωση οι τρεις θερμοκρασίες των 25, 35 και 45°C και εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές αναλογίες σύκου/διαλύματος ανά θερμοκρασία (1/5 και 1/7). Ως ωσμωτικό υλικό χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις γλυκερόλη σε συγκέντρωση 80%.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση στις βέλτιστες συνθήκες που προέκυψαν από τα αποτελέσματα (80% συγκέντρωση γλυκερόλης, αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, 45°C) και τα ωσμωμένα δείγματα υπέστησαν ξήρανση σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 50, 60 και 70°C. Στις ίδιες θερμοκρασίες, πραγματοποιήθηκε ξήρανση και σε μη επεξεργασμένα σύκα, προκειμένου να μελετηθεί συγκριτικά η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας. Μελετήθηκε, επιπλέον, η ανασύσταση του ωσμωτικού διαλύματος στην αρχική του κατάσταση.

5.2.1. Μελέτη των παραμέτρων απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

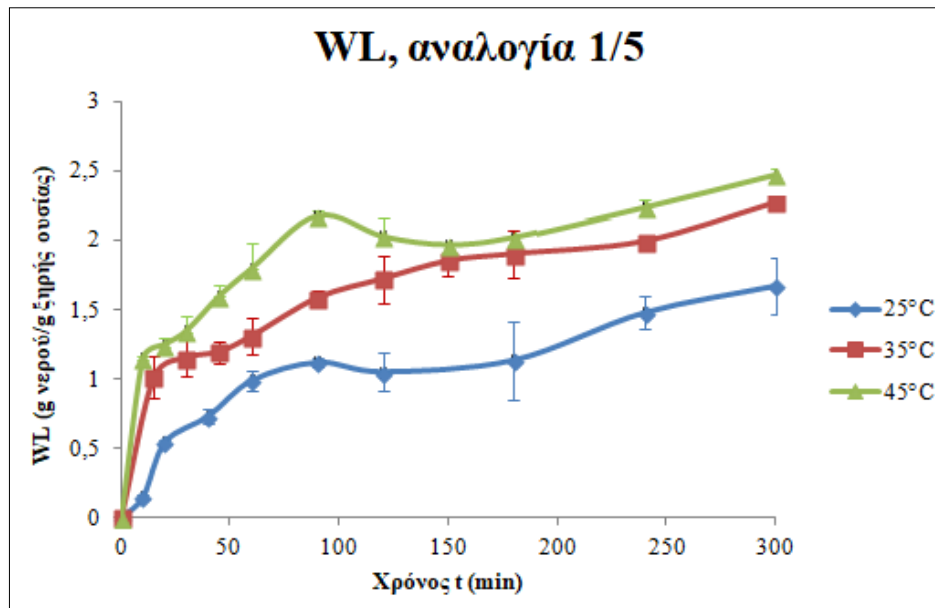
Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, λαμβάνονταν μετρήσεις του βάρους των δειγμάτων (πριν και μετά την ωσμωτική αφυδάτωση), και δείγματα οδηγούνταν σε ξήρανση έως σταθερού βάρους προκειμένου να υπολογισθεί η υγρασία τους κατά περίπτωση και κατ' επέκταση η απώλεια ύδατος (WL) και η πρόσληψη στερεών (SG) μέχρι το πέρας της διεργασίας. Στη συνέχεια παρατίθενται οι εν λόγω τιμές για την αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5 που εφαρμόστηκε, για τις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C.

Πίνακας 19: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

25°C			35°C			45°C		
Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
10	0,15 ± 0,02	0,017 ± 0,004	15	1,02 ± 0,15	0,056 ± 0,005	10	1,15 ± 0,02	0,093 ± 0,005
20	0,54 ± 0,02	0,011 ± 0,004	30	1,15 ± 0,13	0,090 ± 0,006	20	1,25 ± 0,05	0,100 ± 0,013
40	0,73 ± 0,05	0,023 ± 0,003	45	1,19 ± 0,08	0,103 ± 0,017	30	1,35 ± 0,11	0,125 ± 0,008
60	0,99 ± 0,07	0,050 ± 0,001	60	1,31 ± 0,13	0,127 ± 0,002	45	1,60 ± 0,08	0,133 ± 0,005
90	1,12 ± 0,03	0,091 ± 0,006	90	1,58 ± 0,06	0,143 ± 0,015	60	1,80 ± 0,18	0,149 ± 0,001
120	1,05 ± 0,14	0,071 ± 0,009	120	1,72 ± 0,17	0,165 ± 0,001	90	2,18 ± 0,04	0,193 ± 0,012
180	1,14 ± 0,28	0,087 ± 0,012	150	1,85 ± 0,11	0,194 ± 0,001	120	2,03 ± 0,13	0,187 ± 0,003
240	1,48 ± 0,12	0,120 ± 0,020	180	1,90 ± 0,17	0,205 ± 0,009	150	1,97 ± 0,01	0,196 ± 0,002
300	1,67 ± 0,20	0,150 ± 0,031	240	1,99 ± 0,03	0,211 ± 0,009	180	2,02 ± 0,01	0,227 ± 0,002
			300	2,27 ± 0,04	0,237 ± 0,030	240	2,24 ± 0,06	0,256 ± 0,005
						300	2,47 ± 0,05	0,295 ± 0,001

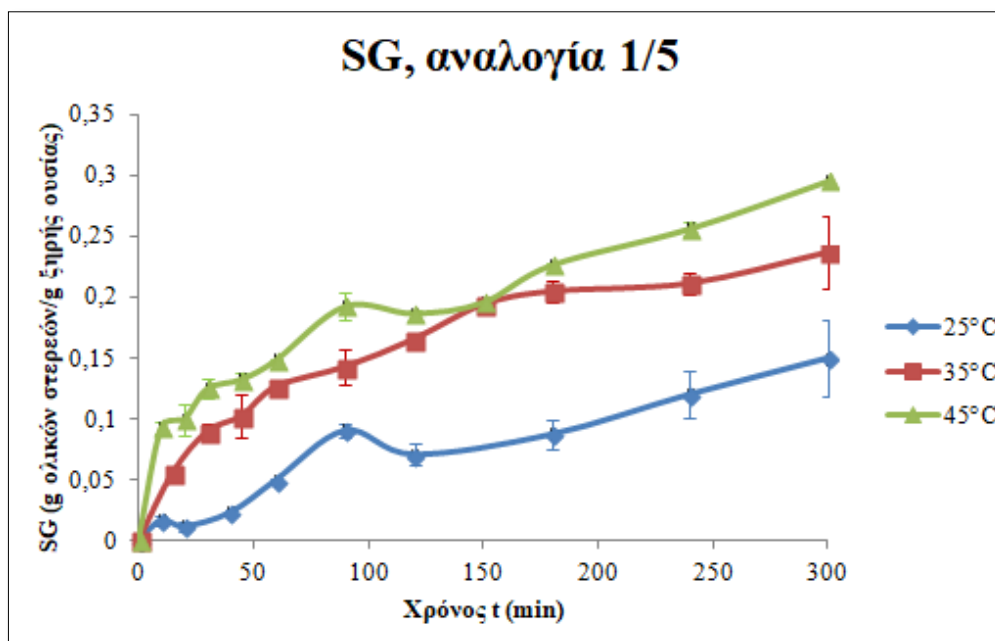
± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις παραπάνω τιμές απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) γίνεται εμφανές πως αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Το χρονικό διάστημα της ωσμωτικής επεξεργασίας είναι σημαντικός παράγοντας που προκαλεί αύξηση των τιμών WL και SG, όσο αυτό αυξάνεται, μέχρι να επέλθει ισορροπία. Η συνεχής αυτή αύξηση που συμβαίνει με την πάροδο του χρόνου οφείλεται στην υψηλή ωσμωτική πίεση μεταξύ του υπερτονικού διαλύματος και του τροφίμου (Chiu et al., 2017; Yadav et al., 2012). Επιπλέον, φαίνεται πως η θερμοκρασία επεξεργασίας έχει καθοριστικό ρόλο στα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας, όπως γίνεται αντιληπτό και από τις γραφικές αναπαραστάσεις των παραπάνω τιμών WL και SG (βλ. Πίνακα 19) που ακολουθούν.



Εικόνα 46: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

Όπως γίνεται αντιληπτό και από το παραπάνω διάγραμμα των τιμών WL συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας (βλ. Εικόνα 46), η απώλεια ύδατος αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία λαμβάνει χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση. Στην υψηλότερη θερμοκρασία, των 45°C, παρατηρείται η μεγαλύτερη απώλεια ύδατος, ενώ στη μικρότερη θερμοκρασία, των 25°C, η μικρότερη. Στους 45°C παρατηρείται επίσης ένα πρώτο μέγιστο στα 90 λεπτά επεξεργασίας όπου η τιμή WL αγγίζει τα $2,18 \pm 0,04$ g νερού/g ξηρής ουσίας. Στη συνέχεια ακολουθεί μια μικρή πτώση έως τα 240 λεπτά όπου παρατηρείται εκ νέου αύξηση, με τελικό μέγιστο στα 300 λεπτά την τιμή $2,47 \pm 0,05$ g νερού/g ξηρής ουσίας. Στις άλλες δύο θερμοκρασίες, 35 και 25°C, οι μέγιστες τιμές WL στο τέλος της επεξεργασίας (300 λεπτά) είναι μικρότερες, $2,27 \pm 0,04$ και $1,67 \pm 0,20$ g νερού/g ξηρής ουσίας αντίστοιχα. Η διαφορά μεταξύ των 25 και 45°C είναι σημαντική και γίνεται έτσι αντιληπτό πως η θερμοκρασία που εφαρμόζεται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση ασκεί σημαντική επίδραση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Η αύξηση της απώλειας ύδατος με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι δυνατό να οφείλεται στη διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών υπό υψηλή θερμοκρασία (Uddin et al., 2004), σε συνδυασμό με την απελευθέρωση αέρα από τη δομή του ιστού, κάτι που οδηγεί σε αποτελεσματικότερη μεταφορά νερού από το δείγμα στο υπερτονικό διάλυμα (Chiu et al., 2017). Επιπλέον, υψηλότερη θερμοκρασία μειώνει το ιξώδες του ωσμωτικού διαλύματος και έτσι ευνοείται η μεταφορά μάζας στην επιφάνεια του δείγματος (Lazarides et al., 1995).



Εικόνα 47: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

Όπως φαίνεται στη γραφική αναπαράσταση των τιμών SG συναρτήσει του χρόνου (βλ. Εικόνα 47), τα συμπεράσματα που προκύπτουν συνάδουν με όσα αναφέρθηκαν για την απώλεια ύδατος παραπάνω. Και σε αυτή την περίπτωση η πρόσληψη στερεών αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, με τη μεγαλύτερη αύξηση να συμβαίνει στους 45°C και τη μικρότερη στους 25°C. Οι τιμές SG στο πέρας της ώσμωσης είναι $0,295 \pm 0,001$, $0,237 \pm 0,030$, και $0,150 \pm 0,031$ g ολικών στερεών/g ξηρής ουσίας στις θερμοκρασίες 45, 35 και 25°C, αντίστοιχα. Είναι εμφανές, λοιπόν, πως η διαφορά μεταξύ των 25 και 45°C είναι σημαντική. Η πρόσληψη στερεών προάγεται με την αύξηση της θερμοκρασίας με τον ίδιο τρόπο με την απώλεια ύδατος (Chiu et al., 2017). Η διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών δεν προάγει μόνο την απώλεια ύδατος αλλά παράλληλα βελτιώνει το ρυθμό διάχυσης των διαλυμένων ουσιών όπως και τη διαπερατότητα των μεμβρανών στα μόρια σακχάρων (Lazarides et al., 1997). Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το ιζώδες του διαλύματος, το οποίο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης γλυκερόλης που περιέχει (80%) εμφανίζει υψηλό ιζώδες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό εξηγεί την μικρή πρόσληψη στερεών στη θερμοκρασία των 25°C, καθώς η διείσδυση των διαλυτών στερεών στο δείγμα δυσχεραίνεται λόγω του υψηλού ιζώδους του ωσμωτικού διαλύματος (Chiu et al., 2017).

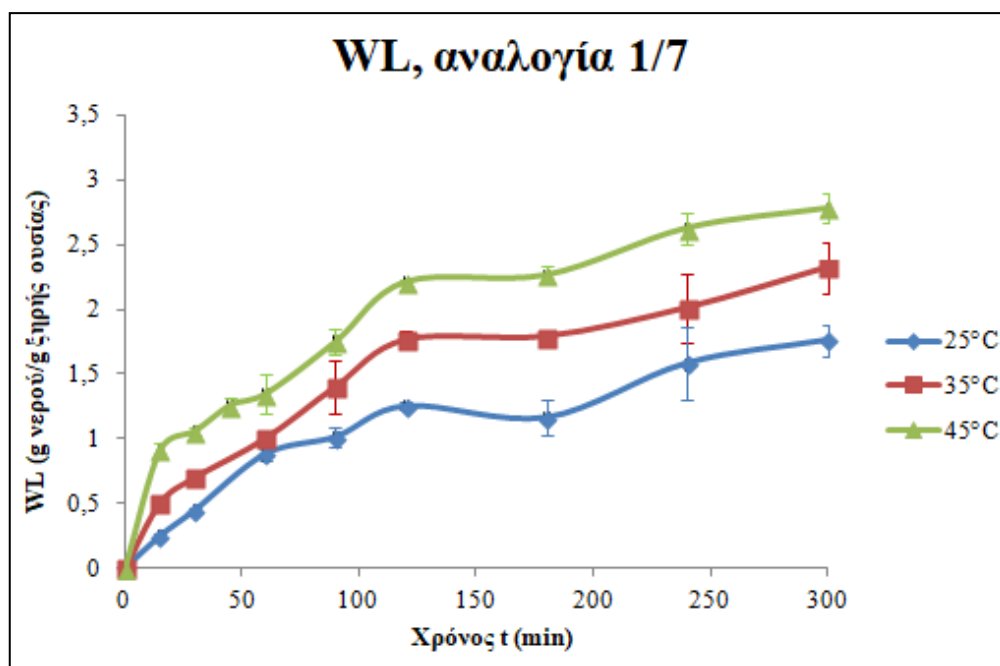
Ακολουθούν οι τιμές WL και SG για την αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7 όπως προέκυψαν για τις τρεις θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C.

Πίνακας 20: Τιμές WL και SG στις τρεις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

25°C			35°C			45°C		
Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)	Χρόνος (min)	WL (g νερού/ g ξ.ο.)	SG (g ολ. στ./ g ξ.ο.)
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
15	0,25 ± 0,02	0,004 ± 0,012	15	0,50 ± 0,05	0,020 ± 0,011	15	0,91 ± 0,06	0,041 ± 0,013
30	0,45 ± 0,02	0,010 ± 0,008	30	0,70 ± 0,06	0,050 ± 0,014	30	1,06 ± 0,03	0,060 ± 0,041
60	0,88 ± 0,05	0,025 ± 0,007	60	1,00 ± 0,04	0,080 ± 0,001	45	1,26 ± 0,06	0,080 ± 0,014
90	1,01 ± 0,07	0,056 ± 0,020	90	1,40 ± 0,21	0,091 ± 0,015	60	1,35 ± 0,15	0,117 ± 0,013
120	1,25 ± 0,03	0,060 ± 0,008	120	1,76 ± 0,07	0,110 ± 0,016	90	1,75 ± 0,10	0,134 ± 0,026
180	1,16 ± 0,14	0,068 ± 0,004	180	1,79 ± 0,04	0,168 ± 0,009	120	2,21 ± 0,02	0,190 ± 0,006
240	1,58 ± 0,28	0,078 ± 0,002	240	2,01 ± 0,27	0,230 ± 0,017	180	2,27 ± 0,07	0,248 ± 0,020
300	1,76 ± 0,12	0,110 ± 0,017	300	2,32 ± 0,20	0,240 ± 0,034	240	2,63 ± 0,12	0,307 ± 0,012
						300	2,78 ± 0,11	0,310 ± 0,016

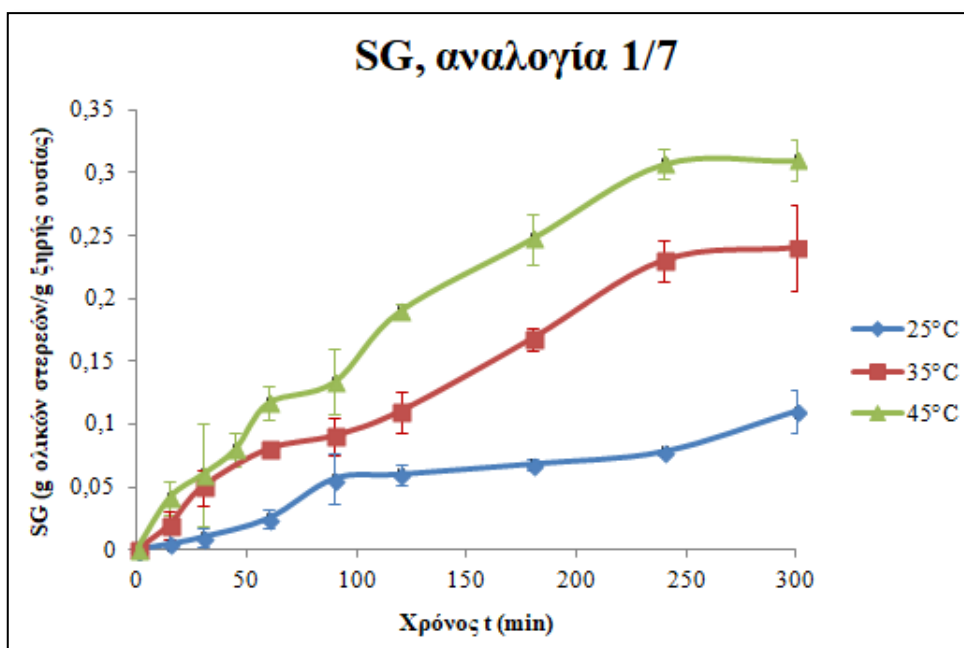
± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις παραπάνω τιμές απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) γίνεται εμφανές πως αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου και στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7. Όπως προαναφέρθηκε, όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα της επεξεργασίας τόσο αυξάνονται οι τιμές WL και SG, έως ότου επέλθει ισορροπία (Chiu et al., 2017). Επιπλέον, φαίνεται και εδώ πως η θερμοκρασία επεξεργασίας επηρεάζει τα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας, όπως γίνεται αντιληπτό και από τις γραφικές αναπαραστάσεις των παραπάνω τιμών WL και SG (βλ. Πίνακα 20) που ακολουθούν.



Εικόνα 48: Τιμές WL συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

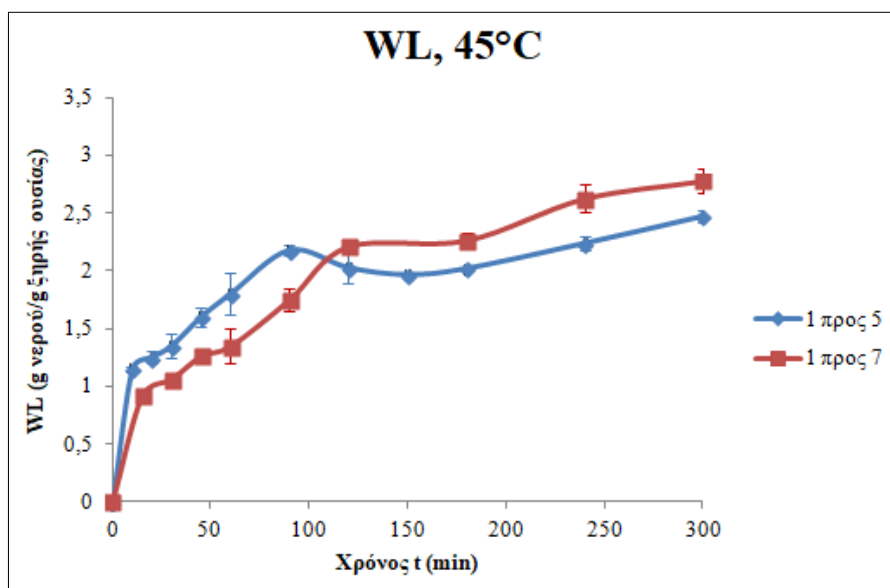
Όπως γίνεται αντιληπτό και από το παραπάνω διάγραμμα των τιμών WL συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας (βλ. Εικόνα 48), η απώλεια ύδατος αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία λαμβάνει χώρα η οσμωτική αφυδάτωση, και στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7. Στην υψηλότερη θερμοκρασία, των 45°C, παρατηρείται η μεγαλύτερη απώλεια ύδατος, ενώ στη μικρότερη θερμοκρασία, των 25°C, η μικρότερη. Οι τελικές μέγιστες τιμές WL είναι $2,78 \pm 0,11$, $2,32 \pm 0,20$, και $1,76 \pm 0,12$ g νερού/g ξηρής ουσίας στους 45, 35 και 25°C, αντίστοιχα. Η διαφορά μεταξύ των 25 και 45°C είναι σημαντική και γίνεται έτσι αντιληπτό πως η θερμοκρασία που εφαρμόζεται κατά την οσμωτική αφυδάτωση ασκεί σημαντική επίδραση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της απώλειας ύδατος με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι δυνατό να οφείλεται στη διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών υπό υψηλή θερμοκρασία (Uddin et al., 2004), σε συνδυασμό με την απελευθέρωση αέρα από τη δομή του ιστού, κάτι που οδηγεί σε αποτελεσματικότερη μεταφορά νερού από το δείγμα στο υπερτονικό διάλυμα (Chiu et al., 2017). Επιπλέον, υψηλότερη θερμοκρασία μειώνει το ιξώδες του οσμωτικού διαλύματος και έτσι ευνοείται η μεταφορά μάζας στην επιφάνεια του δείγματος (Lazarides et al., 1995).



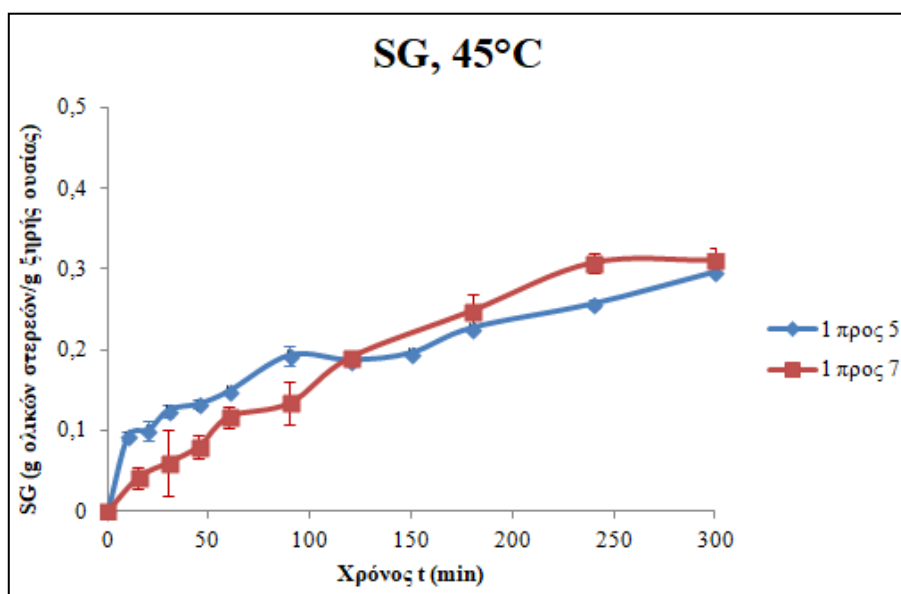
Εικόνα 49: Τιμές SG συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

Όπως φαίνεται στη γραφική αναπαράσταση των τιμών SG συναρτήσει του χρόνου (βλ. Εικόνα 49), τα συμπεράσματα που προκύπτουν συνάδουν με όσα αναφέρθηκαν για την απώλεια ύδατος παραπάνω, και με τα αντίστοιχα της πρόσληψης στερεών στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5. Και σε αυτή την περίπτωση η πρόσληψη στερεών αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, με τη μεγαλύτερη αύξηση να συμβαίνει στους 45°C και τη μικρότερη στους 25°C. Οι τιμές SG στο πέρας της ώσμωσης είναι $0,310 \pm 0,016$, $0,240 \pm 0,034$, και $0,110 \pm 0,017$ g ολικών στερεών/g ξηρής ουσίας στις θερμοκρασίες 45, 35 και 25°C, αντίστοιχα. Είναι εμφανές, λοιπόν, πως η διαφορά μεταξύ των 25 και 45°C είναι σημαντική. Η πρόσληψη στερεών προάγεται με την αύξηση της θερμοκρασίας με τον ίδιο τρόπο με την απώλεια ύδατος (Chiu et al., 2017). Η διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών δεν προάγει μόνο την απώλεια ύδατος αλλά παράλληλα βελτιώνει το ρυθμό διάχυσης των διαλυμένων ουσιών όπως και τη διαπερατότητα των μεμβρανών στα μόρια σακχάρων (Lazarides et al., 1997). Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το ιξώδες του διαλύματος, το οποίο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης γλυκερόλης που περιέχει (80%) εμφανίζει υψηλό ιξώδες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό εξηγεί τη μικρή πρόσληψη στερεών στη θερμοκρασία των 25°C, καθώς η διείδυση των διαλυτών στερεών στο δείγμα δυσχεραίνεται λόγω του υψηλού ιξώδους του ωσμωτικού διαλύματος (Chiu et al., 2017).

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει πως σε υψηλότερη θερμοκρασία τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ευνοούνται και παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια ύδατος και πρόσληψη στερεών. Για αυτό το λόγο επιλέγεται η θερμοκρασία των 45°C ως βέλτιστη για την ωσμωτική αφυδάτωση των σύκων. Προκειμένου να βρεθεί αν οι δύο διαφορετικές αναλογίες ασκούν επίδραση στην ανταλλαγή μάζας που λαμβάνει χώρα, ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα WL και SG συναρτήσεως του χρόνου στις δύο αναλογίες (1/5 και 1/7), στη βέλτιστη θερμοκρασία των 45°C.



Εικόνα 50: Τιμές WL συναρτήσεως του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για αναλογίες σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7.



Εικόνα 51: Τιμές SG συναρτήσεως του χρόνου σε θερμοκρασία επεξεργασίας 45°C για αναλογίες σύκου/ διαλύματος 1/5 και 1/7.

Παρατηρώντας τη μεταβολή των τιμών WL και SG στους 45°C στις δύο αναλογίες σύκου/διαλύματος (βλ. Εικόνα 50 και 51) φαίνεται πως δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Έως το χρόνο των 90 λεπτών παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές WL και SG στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, ενώ ύστερα, και έως το πέρας της ώσμωσης, στα 300 λεπτά, οι τιμές παρουσιάζονται υψηλότερες στην αναλογία 1/7. Είναι αναμενόμενο αύξηση της αναλογίας τροφίμου/διαλύματος να αυξάνει τις τιμές WL και SG (Ponting et al., 1966; Flink, 1979). Το γεγονός ότι στους αρχικούς χρόνους της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσιάζεται μικρότερη απώλεια ύδατος και πρόσληψη στερεών στην αναλογία 1/7 συγκριτικά με την αναλογία 1/5 πιθανόν οφείλεται στο μεγάλο ιξώδες του διαλύματος που δεν ευνοεί τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας αρχικά, και απαιτείται μεγάλος χρόνος προσαρμογής σε αυτές τις συνθήκες.

Συμπερασματικά, προέκυψε πως η αναλογία σύκου/διαλύματος που εφαρμόζεται δεν ασκεί σημαντική επίδραση στην απώλεια ύδατος και την πρόσληψη στερεών που συμβαίνει κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Παρόλο που στη μεγαλύτερη αναλογία (1/7) οι τιμές WL και SG βρέθηκαν υψηλότερες στο τέλος της διεργασίας από την μικρότερη αναλογία (1/5), φάνηκε πως απαιτείται μεγάλος χρόνος προσαρμογής λόγω της φύσης του διαλύματος. Λαμβάνοντας, λοιπόν, αυτό υπόψη και δεδομένου ότι οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των δύο αναλογιών ήταν μικρές, προτιμάται η αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, και για οικονομικούς κυρίως λόγους. Επιπλέον, έγινε εμφανές πως η θερμοκρασία επεξεργασίας παίζει καθοριστικό ρόλο στα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας, μιας και στη μεγαλύτερη θερμοκρασία των 45°C οι τιμές WL και SG ήταν υψηλότερες, και για αυτό το λόγο επιλέγεται ως βέλτιστη συνθήκη.

5.2.2. Μελέτη του συντελεστή διάχυσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Από τις παραπάνω τιμές WL και SG υπολογίστηκε ο συντελεστής διάχυσης για την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών, D_{ew} και D_{es} , αντίστοιχα, στις τρεις θερμοκρασίες της ωσμωτικής αφυδάτωσης (25, 35 και 45°C) για τις δύο εφαρμοζόμενες αναλογίες σύκου/διαλύματος (1/5 και 1/7). Ακολουθούν οι τιμές των συντελεστών στις εν λόγω συνθήκες.

Πίνακας 21: Τιμές συντελεστή διάχυσης για απώλεια ύδατος (D_{ew}) και πρόσληψη στερεών (D_{es}) στις θερμοκρασίες επεξεργασίας 25, 35 και 45°C για αναλογίες σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7.

Θερμοκρασία (°C)	D_{ew}		D_{es}	
	Αναλογία 1/5	Αναλογία 1/7	Αναλογία 1/5	Αναλογία 1/7
25	$0,94 \cdot 10^{-10} \pm 1,05 \cdot 10^{-11}$	$0,95 \cdot 10^{-10} \pm 1,73 \cdot 10^{-11}$	$0,56 \cdot 10^{-10} \pm 1,40 \cdot 10^{-11}$	$0,43 \cdot 10^{-10} \pm 1,65 \cdot 10^{-11}$
35	$1,66 \cdot 10^{-10} \pm 1,35 \cdot 10^{-11}$	$1,63 \cdot 10^{-10} \pm 3,53 \cdot 10^{-11}$	$1,19 \cdot 10^{-10} \pm 2,32 \cdot 10^{-11}$	$1,12 \cdot 10^{-10} \pm 1,14 \cdot 10^{-11}$
45	$2,10 \cdot 10^{-10} \pm 1,67 \cdot 10^{-11}$	$2,11 \cdot 10^{-10} \pm 3,28 \cdot 10^{-11}$	$1,53 \cdot 10^{-10} \pm 2,94 \cdot 10^{-11}$	$1,48 \cdot 10^{-10} \pm 2,59 \cdot 10^{-11}$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές στον παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακας 21) γίνεται αντιληπτό πως η αναλογία σύκου/διαλύματος δεν επηρεάζει το συντελεστή διάχυσης καθώς δεν υπάρχει αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ των αναλογιών 1/5 και 1/7. Αντιθέτως, η θερμοκρασία στην οποία λαμβάνει χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση φαίνεται να είναι καθοριστικής σημασίας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο συντελεστής διάχυσης απώλειας ύδατος (D_{ew}) και ο συντελεστής διάχυσης πρόσληψης στερεών (D_{es}). Έτσι, στην υψηλότερη θερμοκρασία των 45°C παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή σε κάθε περίπτωση, και συγκεκριμένα η τιμή του D_{ew} παρουσιάζεται διπλάσια συγκριτικά με εκείνη των 25°C, ενώ του D_{es} τριπλάσια στις ίδιες θερμοκρασίες. Συνεπώς, η θερμοκρασία επεξεργασίας επιδρά σημαντικά στο συντελεστή διάχυσης, ενώ αντίθετα η διαφορετική αναλογία σύκου/διαλύματος δεν επηρεάζει τις τιμές του συντελεστή.

5.2.3. Μελέτη της μείωσης της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

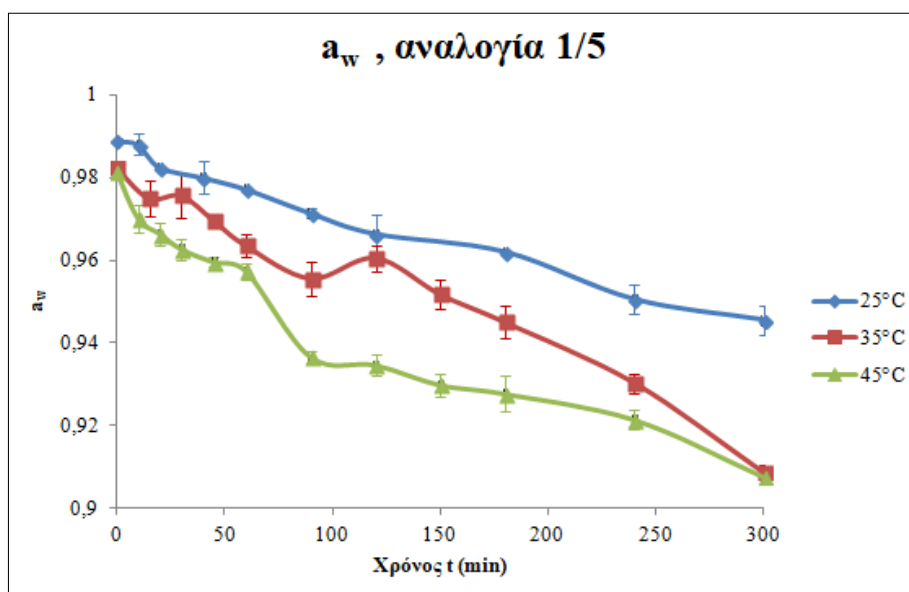
Καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελεί η μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) του τροφίμου κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Για αυτό το λόγο λαμβάνονταν μετρήσεις της a_w ανά τακτά χρονικά διαστήματα έως το τέλος της διεργασίας, σε κάθε συνθήκη που εφαρμόστηκε. Ακολουθούν οι τιμές ενεργότητας ύδατος στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

Πίνακας 22: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w
0	0,9889 ± 0,0007	0	0,9823 ± 0,0016	0	0,9813 ± 0,0012
10	0,9880 ± 0,0025	15	0,9750 ± 0,0043	10	0,9700 ± 0,0032
20	0,9825 ± 0,0001	30	0,9756 ± 0,0052	20	0,9663 ± 0,0026
40	0,9800 ± 0,0038	45	0,9696 ± 0,0013	30	0,9626 ± 0,0026
60	0,9772 ± 0,0003	60	0,9635 ± 0,0028	45	0,9595 ± 0,0012
90	0,9714 ± 0,0012	90	0,9556 ± 0,0040	60	0,9573 ± 0,0021
120	0,9664 ± 0,0045	120	0,9605 ± 0,0031	90	0,9366 ± 0,0015
180	0,9621 ± 0,0003	150	0,9517 ± 0,0034	120	0,9347 ± 0,0026
240	0,9506 ± 0,0036	180	0,9450 ± 0,0040	150	0,9299 ± 0,0027
300	0,9456 ± 0,0035	240	0,9303 ± 0,0024	180	0,9278 ± 0,0042
		300	0,9086 ± 0,0018	240	0,9215 ± 0,0024
				300	0,9078 ± 0,0008

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές της ενεργότητας ύδατος (βλ. Πίνακα 22) διαπιστώνεται πως μειώνονται με την πάροδο του χρόνου, όπως είναι αναμενόμενο. Η μείωση αυτή φαίνεται πως είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η θερμοκρασία επεξεργασίας έως τον τελικό χρόνο των 300 λεπτών. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι μεταβολές της ενεργότητας ύδατος στις τρεις θερμοκρασίες.



Εικόνα 52: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 52), η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στη μείωση της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Συγκεκριμένα υψηλότερη θερμοκρασία επεξεργασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη πτώση της a_w . Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που είναι εντονότερα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελάττωση της ενεργότητας ύδατος. Για αυτό το λόγο, οι τιμές a_w εμφάνισαν μεγαλύτερη μείωση στους 45°C, ακολουθούμενη από τους 35°C και τέλος τους 25°C όπου η μείωση ήταν η μικρότερη εκ των τριών θερμοκρασιών. Οι τελικές τιμές ενεργότητας ύδατος στα 300 λεπτά ήταν $0,9078 \pm 0,0035$, $0,9086 \pm 0,0018$, και $0,9456 \pm 0,0008$, στους 45, 35 και 25°C, αντίστοιχα. Η διαφορά των τελικών τιμών a_w μεταξύ των 25°C με τις δύο μεγαλύτερες θερμοκρασίες είναι σημαντική, τονίζοντας έτσι τον καθοριστικό ρόλο που διαδραματίζει η θερμοκρασία στην επεξεργασία. Μεταξύ των 35 και 45°C δεν υπάρχει διαφορά στην τελική τιμή, όμως στους 45°C η πτώση της a_w ήταν μεγαλύτερη καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι αντίστοιχες τιμές ενεργότητας ύδατος που προέκυψαν για την αναλογία διαλύματος/σύκου 1/7.

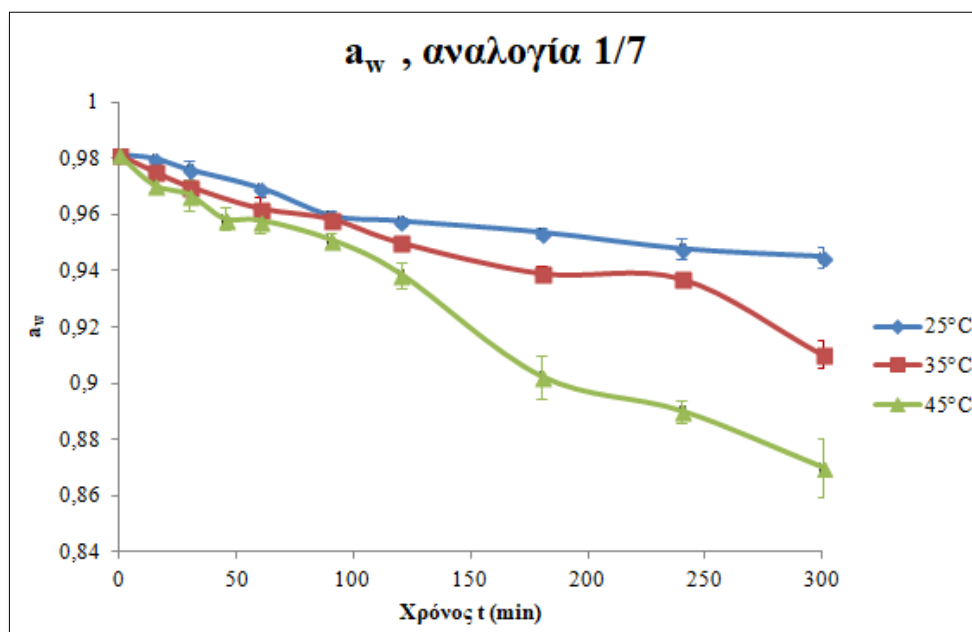
Πίνακας 23: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w) στις θερμοκρασίες που έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w	Χρόνος (min)	a_w
0	$0,9813 \pm 0,0012$	0	$0,9813 \pm 0,0016$	0	$0,9813 \pm 0,0012$
15	$0,9800 \pm 0,0004$	15	$0,9753 \pm 0,0017$	15	$0,9705 \pm 0,0023$
30	$0,9760 \pm 0,0033$	30	$0,9700 \pm 0,0001$	30	$0,9671 \pm 0,0057$
60	$0,9695 \pm 0,0006$	60	$0,9622 \pm 0,0042$	45	$0,9585 \pm 0,0041$
90	$0,9596 \pm 0,0021$	90	$0,9585 \pm 0,0000$	60	$0,9579 \pm 0,0042$
120	$0,9577 \pm 0,0015$	120	$0,9500 \pm 0,0013$	90	$0,9510 \pm 0,0025$
180	$0,9537 \pm 0,0018$	180	$0,9391 \pm 0,0030$	120	$0,9387 \pm 0,0046$
240	$0,9478 \pm 0,0036$	240	$0,9372 \pm 0,0025$	180	$0,9023 \pm 0,0076$
300	$0,9450 \pm 0,0035$	300	$0,9104 \pm 0,0049$	240	$0,8900 \pm 0,0039$
				300	$0,8700 \pm 0,0104$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση, εξετάζοντας τις τιμές του παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακα 23), γίνεται αντιληπτό πως με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η μείωση

της ενεργότητας ύδατος. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό και στη γραφική απεικόνιση που ακολουθεί, για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

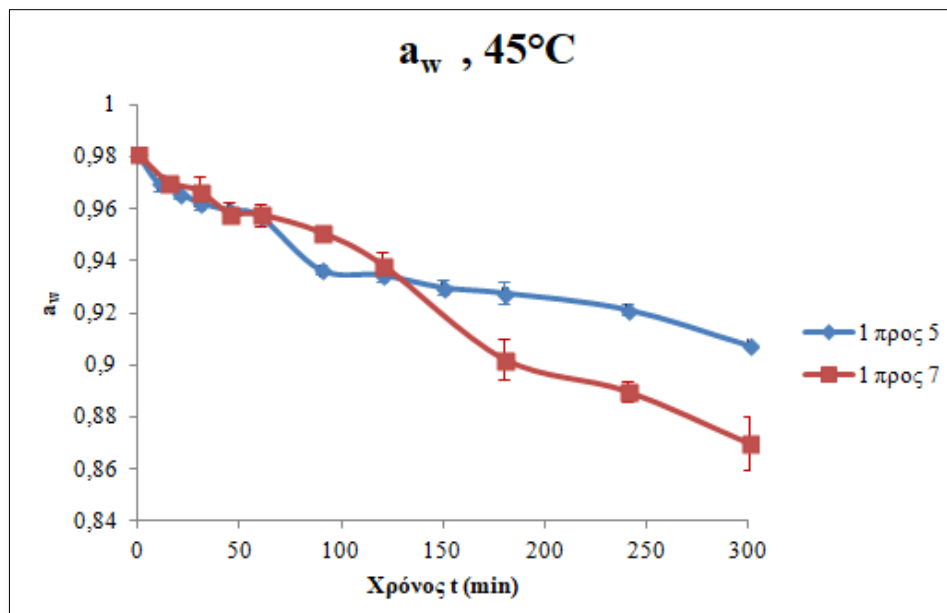


Εικόνα 53: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 53), η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στη μείωση της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, και στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7. Συγκεκριμένα υψηλότερη θερμοκρασία επεξεργασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη πτώση της a_w . Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που είναι εντονότερα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες οδηγούν σε ελάττωση της ενεργότητας ύδατος. Για αυτό το λόγο, οι τιμές a_w εμφάνισαν μεγαλύτερη μείωση στους 45°C, ακολουθούμενη από τους 35°C και τέλος τους 25°C όπου η μείωση ήταν η μικρότερη εκ των τριών θερμοκρασιών. Οι τελικές τιμές ενεργότητας ύδατος στα 300 λεπτά ήταν $0,8700 \pm 0,104$, $0,9104 \pm 0,0049$, και $0,9450 \pm 0,0035$, στους 45, 35 και 25°C, αντίστοιχα. Οι διαφορές αυτές είναι σημαντικές, και φαίνεται πως στους 45°C η πτώση της a_w είναι κατά πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με τους 25°C. Σημαντική όμως είναι και η διαφορά μεταξύ των τιμών στους 45 και τους 35°C. Σημαντικό είναι πως στα πρώτα στάδια της ωσμωτικής αφυδάτωσης φαίνεται ο ρυθμός πτώσης της a_w να μη διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τριών θερμοκρασιών, στη συνέχεια όμως στη θερμοκρασία των 45°C συμβαίνει ραγδαία πτώση.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει πως σε υψηλότερη θερμοκρασία συμβαίνει μεγαλύτερη μείωση της ενεργότητας ύδατος. Για αυτό το λόγο επιλέγεται η θερμοκρασία

των 45°C ως βέλτιστη για την ωσμωτική αφυδάτωση των σύκων. Προκειμένου να βρεθεί αν οι δύο διαφορετικές αναλογίες ασκούν επίδραση στη μεταβολή της ενεργότητας ύδατος, ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα a_w συναρτήσει του χρόνου στις δύο αναλογίες (1/5 και 1/7), στη βέλτιστη θερμοκρασία των 45°C.



Εικόνα 54: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου για τις αναλογίες σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7 στους 45°C.

Παρατηρώντας τη μεταβολή των τιμών a_w συναρτήσει του χρόνου στις δύο αναλογίες (1/5 και 1/7) στους 45°C, (βλ. Εικόνα 54) γίνεται αντιληπτό πως δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο αναλογιών έως το χρόνο των 120 λεπτών. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μεγάλη πτώση της ενεργότητας ύδατος στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7 έως τον τελικό χρόνο των 300 λεπτών. Η μεγαλύτερη αναλογία τροφίμου/διαλύματος προάγει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, παρόλα αυτά το μεγαλύτερο ιξώδες του διαλύματος πιθανόν οδηγεί σε μεγαλύτερο χρόνο προσαρμογής στις νέες συνθήκες, εξηγώντας έτσι γιατί οι τιμές της ενεργότητας ύδατος στα πρώτα στάδια της επεξεργασίας σε αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7 δεν είναι μεγαλύτερες από εκείνες της αναλογίας 1/5. Φαίνεται, επίσης, πως στα 90 λεπτά ωσμωτικής αφυδάτωσης, η ενεργότητα ύδατος είναι μειωμένη στην αναλογία 1/5 έναντι της 1/7 ($0,9366 \pm 0,0015$ έναντι $0,9510 \pm 0,0025$ αντίστοιχα).

Συμπερασματικά, προέκυψε πως η αναλογία σύκου/διαλύματος επηρεάζει την μείωση της ενεργότητας ύδατος με την πάροδο του χρόνου κυρίως προς το τέλος της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Παρόλα αυτά, εν προκειμένω η ωσμωτική αφυδάτωση έχει ως σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως προεπεξεργασία, επομένως δεν είναι αποδεκτό ένα μεγάλο

χρονικό διάστημα ώσμωσης. Η διαδικασία πρέπει να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στο μικρότερο δυνατό χρόνο, και στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7 η σημαντική διαφορά στην πτώση της ενεργότητας ύδατος εμφανίζεται αρκετά αργότερα. Επιπλέον, για οικονομικούς λόγους είναι χρήσιμο να αποφευχθεί η χρήση της μεγαλύτερης αναλογίας. Επιπλέον, έγινε αντιληπτό πως η αύξηση της θερμοκρασίας επεξεργασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της a_w , καθώς οι μικρότερες τιμές της ελήφθησαν στην υψηλότερη θερμοκρασία των 45°C, γεγονός που καθιστά αυτή τη θερμοκρασία τη βέλτιστη εκ των τριών που μελετήθηκαν (25, 35 και 45°C).

5.2.4. Μελέτη της μεταβολής της υφής (σκληρότητα) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

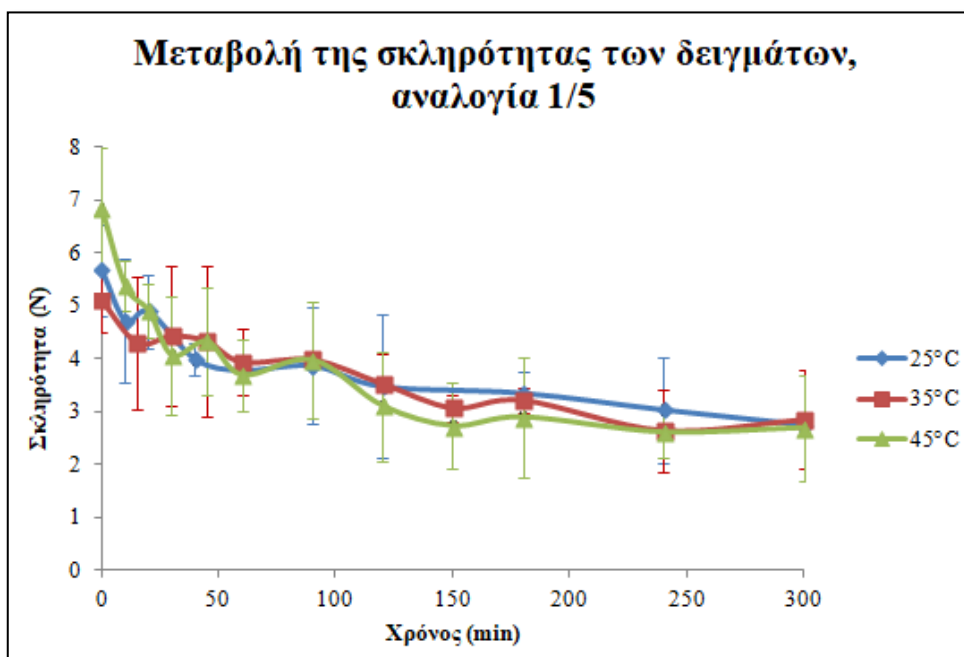
Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των σύκων λαμβάνονταν μετρήσεις της σκληρότητας των δειγμάτων προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της υφής τους καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας, σε κάθε εφαρμοζόμενη συνθήκη. Όπως προέκυψε, η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, ενώ οι συνθήκες της επεξεργασίας δεν επηρέασαν σε αξιοσημείωτο βαθμό τις μεταβολές της υφής. Ακολουθούν οι τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

Πίνακας 24: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)
0	5,6711 ± 0,8623	0	5,0974 ± 0,6134	0	6,8309 ± 1,1649
10	4,7107 ± 1,1678	15	4,3004 ± 1,2472	10	5,3742 ± 0,4703
20	4,8918 ± 0,7079	30	4,4332 ± 1,3309	20	4,9073 ± 0,5243
40	3,9864 ± 0,3024	45	4,3565 ± 1,4186	30	4,0586 ± 1,1154
60	3,7773 ± 0,0266	60	3,9337 ± 0,6242	45	4,3265 ± 1,0234
90	3,8657 ± 1,0938	90	3,9806 ± 0,0141	60	3,6871 ± 0,6815
120	3,4739 ± 1,3485	120	3,5223 ± 0,5617	90	3,9761 ± 1,1156
180	3,3471 ± 0,3903	150	3,0662 ± 0,2469	120	3,1030 ± 1,0354
240	3,0319 ± 0,9943	180	3,2096 ± 0,2467	150	2,7241 ± 0,8160
300	2,7510 ± 0,1149	240	2,6379 ± 0,7685	180	2,8917 ± 1,1311
		300	2,8431 ± 0,9292	240	2,6031 ± 0,4594
				300	2,6865 ± 1,0079

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

Όπως γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας τις τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων (βλ. Πίνακα 24), η υφή των σύκων μεταβάλλεται ελαφρώς κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας, καθώς μειώνεται η σκληρότητά τους και καθίστανται μαλακότερα. Οι διαφορετικές θερμοκρασίες επεξεργασίας δε φαίνεται να ασκούν κάποια επίδραση, ενώ οι διακυμάνσεις μεταξύ των τιμών φαίνεται να οφείλονται στο ίδιο το σύκο, τη φυσική του κατάσταση ή σκληρότητα και το στάδιο ωριμότητας του.



Εικόνα 55: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 55) η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται ελαφρώς με την πάροδο του χρόνου, ενώ η θερμοκρασία επεξεργασίας δε φαίνεται να επηρεάζει τη μεταβολή της υφής, εφόσον οι τιμές και στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) δε διαφέρουν σημαντικά.

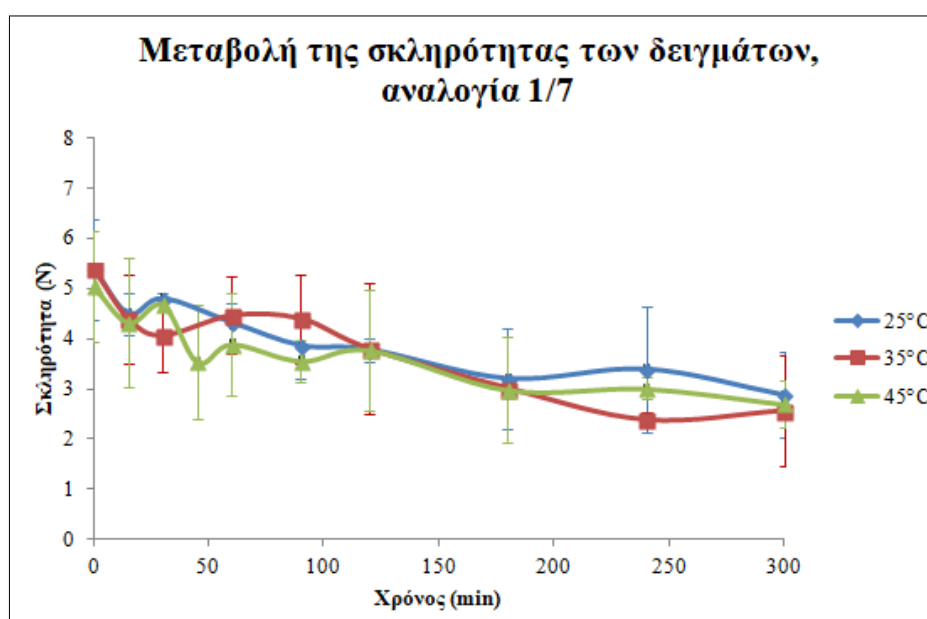
Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και σε αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7, μελετώντας τις τιμές σκληρότητας που ακολουθούν.

Πίνακας 25: Τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

25°C		35°C		45°C	
Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)	Χρόνος (min)	Σκληρότητα F (N)
0	5,3849 ± 1,0015	0	5,3943 ± 0,1172	0	5,0358 ± 1,1108
15	4,4972 ± 0,4149	15	4,3965 ± 0,8940	15	4,3217 ± 1,2852
30	4,7988 ± 0,1016	30	4,0650 ± 0,7228	30	4,6817 ± 0,0180
60	4,3222 ± 0,4025	60	4,4669 ± 0,7645	45	3,5380 ± 1,1246
90	3,8657 ± 0,6505	90	4,4013 ± 0,8830	60	3,8973 ± 1,0137
120	3,7855 ± 0,2375	120	3,7988 ± 1,3010	90	3,5602 ± 0,4306
180	3,2067 ± 0,9987	180	3,0159 ± 0,1766	120	3,7749 ± 1,2061
240	3,3954 ± 1,2568	240	2,3845 ± 0,1665	180	2,9825 ± 1,0505
300	2,8806 ± 0,8443	300	2,5647 ± 1,1021	240	3,0102 ± 0,2149
				300	2,7011 ± 0,4763

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση γίνεται αντιληπτό ότι οι τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων (βλ. Πίνακας 25) μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο (η υφή των σύκων γίνεται μαλακότερη), ενώ η θερμοκρασία στην οποία έλαβε χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση δε φαίνεται να επηρεάζει την υφή τους. Οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται οφείλονται πιθανόν στο ίδιο το σύκο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.



Εικόνα 56: Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα (βλ. Εικόνα 56), και σε αυτή την περίπτωση, η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται ελαφρώς με την πάροδο του χρόνου, ενώ η θερμοκρασία επεξεργασίας δεν επηρεάζει τη μεταβολή της υφής.

Συγκρίνοντας τις τιμές των δύο αναλογιών σύκου/διαλύματος (1/5 και 1/7) φαίνεται πως ούτε η διαφορετική αναλογία επιδρά σημαντικά στην υφή των δειγμάτων σύκων.

Επομένως, προκύπτει πως η ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζει την υφή των σύκων Μαρκοπούλου, καθώς μειώνει τη σκληρότητά τους με την πάροδο του χρόνου, όμως οι διαφορετικές συνθήκες ωσμωτικής επεξεργασίας δεν έχουν σημαντική επίδραση στη σκληρότητα των δειγμάτων. Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει βρεθεί πως οδηγεί σε ελάττωση της σκληρότητας φρούτων και λαχανικών, λόγω των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στα κύτταρα του ιστού, όπως απώλεια της σπαργής του κυττάρου (πλασμόλυση), πλήρωση των χώρων αέρα με το υπερτονικό διάλυμα και υποβάθμιση του μεσαίου ελάσματος (Lewicki & Lukaszuk, 2000; Haj Najafi et al., 2014). Έχουν βρεθεί αντίστοιχα αποτελέσματα σε μελέτες για μήλα (Lewicki & Lukaszuk, 2000; Chiralt & Talens, 2005), πορτοκάλια (Katsiferis et al., 2008) και φράουλες (Castelló et al., 2010). Αξίζει να τονισθεί πως τα εν λόγω αποτελέσματα αφορούν τα σύκα Μαρκοπούλου και πιθανόν σε άλλα είδη να παρουσιάζονται διαφορετικές μεταβολές στην υφή των σύκων κατά την ωσμωτική επεξεργασία.

5.2.5. Μελέτη της μεταβολής των παραμέτρων του χρώματος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, και σε κάθε συνθήκη που εφαρμόστηκε, ελήφθησαν μετρήσεις των παραμέτρων του χρώματος, L, a, b, στην εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα) και στην εσωτερική (σάρκα). Στη συνέχεια παρατίθενται όλες οι τιμές που προέκυψαν ανά θερμοκρασία και αναλογία σύκου/διαλύματος.

Στους 25°C: Ακολούθως παρουσιάζονται οι παράμετροι του χρώματος L, a, b στις δύο αναλογίες σύκου/διαλύματος (1/5 και 1/7) που εφαρμόστηκαν.

Πίνακας 26: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, σε θερμοκρασία 25°C.

Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	33,43 ± 1,54	5,68 ± 1,12	1,18 ± 0,94	41,11 ± 2,53	24,22 ± 0,55	19,49 ± 1,57
10	28,25 ± 0,99	4,55 ± 2,30	1,93 ± 2,14	39,71 ± 3,67	19,31 ± 1,60	21,74 ± 1,58
20	32,06 ± 4,37	7,11 ± 2,15	4,93 ± 3,88	38,84 ± 2,97	19,37 ± 3,06	23,49 ± 3,25
40	29,76 ± 2,06	5,26 ± 1,28	1,39 ± 0,60	36,42 ± 2,66	19,87 ± 1,47	23,94 ± 1,87
60	32,12 ± 3,42	5,33 ± 4,01	1,51 ± 2,61	36,93 ± 3,43	19,40 ± 1,76	22,47 ± 2,58
90	30,19 ± 1,46	3,89 ± 1,98	0,38 ± 1,41	37,12 ± 2,87	18,11 ± 2,21	23,84 ± 2,37
120	29,60 ± 1,17	5,21 ± 3,00	1,38 ± 2,06	37,67 ± 0,61	18,80 ± 3,19	25,50 ± 2,35
180	29,32 ± 2,65	6,05 ± 1,14	2,08 ± 1,38	36,06 ± 1,15	16,44 ± 2,18	25,86 ± 1,75
240	30,91 ± 2,79	6,52 ± 2,90	2,50 ± 2,53	34,31 ± 3,81	16,78 ± 1,24	26,63 ± 3,65
300	28,13 ± 1,73	3,12 ± 2,28	5,01 ± 3,68	31,51 ± 3,94	14,62 ± 1,61	26,21 ± 3,88

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές των παραμέτρων για την εξωτερική πλευρά του σύκου δεν είναι δυνατό να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα καθώς παρουσιάζεται σημαντική διακύμανση τόσο στην παράμετρο της φωτεινότητας (L), όσο και σε αυτή του κόκκινου (a) και κίτρινου χρώματος (b). Οι διαφορές αυτές οφείλονται στην ποικιλία των σύκων που χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτη ύλη, καθώς το χρώμα τους δεν είναι δυνατό να είναι πανομοιότυπο. Επομένως, η επεξεργασία δεν φαίνεται να επηρέασε το χρώμα της φλούδας του σύκου.

Όσον αφορά στο εσωτερικό του σύκου, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η ποικιλομορφία της πρώτης ύλης, παρατηρείται όμως πως η επεξεργασία επιδρά στο χρώμα της σάρκας. Αρχικά, όπως φαίνεται από την παράμετρο L, η φωτεινότητα των δειγμάτων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου (από 41,11 ± 2,53 σε 31,51 ± 3,94), ως αποτέλεσμα της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Επιπλέον, όπως γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας τις τιμές της παραμέτρου a, το έντονο κόκκινο χρώμα της σάρκας του σύκου χάνεται κατά την επεξεργασία, καθώς είναι εμφανής η πτώση στις τιμές της παραμέτρου (από 24,22 ± 0,55 σε 14,62 ± 1,61). Η παράμετρος b αντίθετα εμφανίζει μια μικρή αύξηση με την πάροδο του χρόνου (από 19,49 ± 1,57 σε 26,21 ± 3,88), κάτι που σημαίνει πως αυξάνεται το κίτρινο χρώμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές για την αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

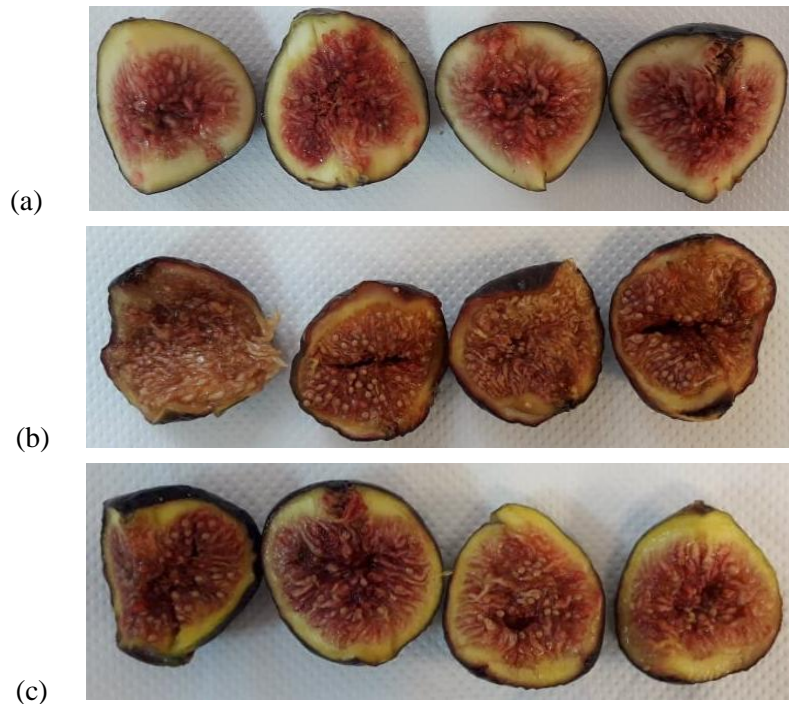
Πίνακας 27: Οι τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7, σε θερμοκρασία 25°C.

Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	33,49 ± 1,89	5,89 ± 1,01	1,99 ± 0,54	40,11 ± 2,89	22,39 ± 0,89	22,55 ± 1,74
15	30,34 ± 1,55	5,45 ± 3,39	1,79 ± 2,22	38,98 ± 1,19	20,29 ± 2,42	20,54 ± 2,33
30	29,68 ± 2,36	6,49 ± 3,89	2,52 ± 2,49	37,19 ± 1,82	19,59 ± 3,37	21,64 ± 0,93
60	30,41 ± 2,93	5,15 ± 1,25	5,58 ± 3,59	38,65 ± 2,65	17,90 ± 2,60	24,37 ± 3,66
90	28,54 ± 1,62	6,78 ± 2,38	5,96 ± 3,50	37,55 ± 2,77	18,53 ± 1,30	24,76 ± 2,07
120	27,66 ± 3,49	6,95 ± 1,94	4,32 ± 2,13	37,58 ± 1,92	16,35 ± 3,73	26,78 ± 2,64
180	30,35 ± 2,93	6,75 ± 1,69	5,49 ± 3,15	35,75 ± 2,50	16,38 ± 2,16	25,79 ± 3,65
240	28,02 ± 2,48	5,61 ± 2,28	4,14 ± 3,17	36,17 ± 1,05	16,62 ± 0,99	26,97 ± 1,31
300	28,46 ± 2,57	7,92 ± 2,23	4,21 ± 3,50	34,43 ± 1,05	14,91 ± 2,01	28,08 ± 3,99

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση δε διαπιστώνονται μεταβολές χρώματος που να οφείλονται στην επεξεργασία στην εξωτερική πλευρά του σύκου και οι διαφορές σχετίζονται με την ποικιλομορφία των δειγμάτων. Στην εσωτερική πλευρά είναι επίσης εμφανής μια μικρή ελάττωση της φωτεινότητας (L) (από 40,11 ± 2,89 σε 34,43 ± 1,05), ενώ παρατηρείται και εδώ η μείωση του κόκκινου χρώματος (a) (από 22,39 ± 0,89 σε 14,91 ± 2,01). Αντίθετα το κίτρινο χρώμα (b) φαίνεται να αυξάνεται ελαφρώς (από 22,55 ± 1,74 σε 28,08 ± 3,99).

Συγκρίνοντας τις δύο αναλογίες σύκου/διαλύματος φαίνεται πως δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των αναλογιών, στη θερμοκρασία των 25°C. Πρέπει να ληφθεί υπόψη η ποικιλομορφία των σύκων, παράγοντας που επηρεάζει καθοριστικά τις προκύπτουσες τιμές των παραμέτρων και εξηγεί τις αυξομειώσεις που παρατηρούνται σε αυτές.



Εικόνα 57: (a) σύκα πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control), (b) σύκα μετά από 300 λεπτά ώσμωση στους 25°C σε αναλογία 1/5, (c) σύκα μετά από 240 λεπτά ώσμωση στους 25°C σε αναλογία 1/7.

Στους 35°C: Ακολουθώς παρουσιάζονται οι παράμετροι του χρώματος L, a, b στις δύο αναλογίες σύκου/διαλύματος (1/5 και 1/7) που εφαρμόστηκαν.

Πίνακας 28: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, σε θερμοκρασία 35°C.

Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	27,01 ± 1,45	4,70 ± 1,41	1,65 ± 0,53	47,32 ± 2,20	20,56 ± 3,79	24,17 ± 0,53
15	31,10 ± 3,28	7,32 ± 3,00	6,57 ± 3,61	42,20 ± 3,08	19,36 ± 2,79	24,84 ± 2,97
30	28,91 ± 3,49	6,30 ± 2,44	3,33 ± 3,84	39,19 ± 1,37	20,00 ± 3,43	24,79 ± 3,40
45	29,40 ± 3,70	7,77 ± 3,53	4,57 ± 4,08	39,74 ± 2,69	19,00 ± 3,91	24,45 ± 1,95
60	33,35 ± 2,58	6,30 ± 3,29	7,77 ± 4,55	38,17 ± 2,90	17,57 ± 1,70	25,58 ± 1,58
90	28,46 ± 3,06	5,46 ± 3,22	3,26 ± 3,90	37,08 ± 3,85	17,82 ± 1,14	25,55 ± 1,84
120	30,41 ± 3,83	5,14 ± 3,78	6,09 ± 3,57	38,75 ± 3,57	17,94 ± 3,52	28,21 ± 1,83
150	31,45 ± 3,62	3,12 ± 3,58	7,50 ± 3,74	38,54 ± 1,60	16,60 ± 1,86	28,33 ± 2,71
180	32,31 ± 3,55	4,52 ± 1,48	8,19 ± 2,54	37,74 ± 1,83	16,54 ± 2,28	30,11 ± 2,76
240	28,11 ± 3,33	6,44 ± 0,98	5,07 ± 3,32	36,44 ± 2,54	13,62 ± 2,11	29,45 ± 0,63
300	32,22 ± 3,39	3,45 ± 1,77	4,91 ± 3,72	37,17 ± 2,67	11,82 ± 0,67	30,20 ± 1,41

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Όπως προαναφέρθηκε στη μελέτη για τη θερμοκρασία των 25°C δε μπορεί να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με τη μεταβολή του χρώματος της εξωτερικής πλευράς του σύκου και θεωρείται πως οι διακυμάνσεις που παρουσιάζονται οφείλονται στην ποικιλομορφία των σύκων.

Όσον αφορά στο εσωτερικό του σύκου, παρατηρείται πως η επεξεργασία επιδρά στο χρώμα της σάρκας, με ίδιο τρόπο όπως προαναφέρθηκε στους 25°C. Η φωτεινότητα (L) των δειγμάτων μειώνεται (από $47,32 \pm 2,20$ σε $37,17 \pm 2,67$), όπως επίσης και το κόκκινο χρώμα (a) (από $20,56 \pm 3,79$ σε $11,82 \pm 0,67$), ενώ το κίτρινο χρώμα (b) αυξάνεται (από $24,17 \pm 0,53$ σε $30,20 \pm 1,41$).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές για την αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

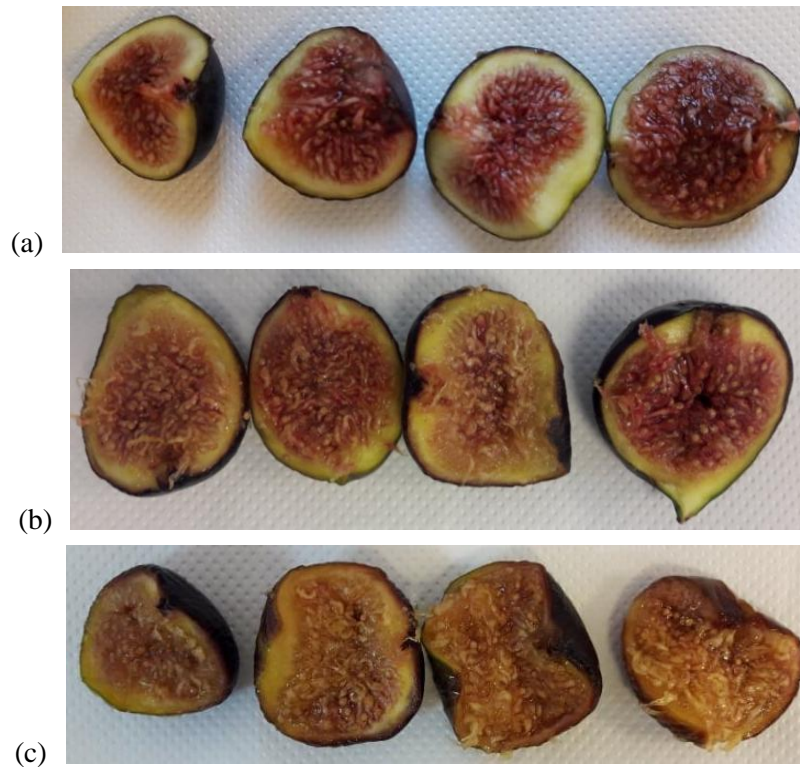
Πίνακας 29: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7, σε θερμοκρασία 35°C.

Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	$29,53 \pm 1,89$	$5,08 \pm 0,77$	$4,58 \pm 0,99$	$42,69 \pm 2,00$	$23,44 \pm 3,01$	$22,79 \pm 0,88$
15	$31,23 \pm 3,29$	$7,80 \pm 3,36$	$9,40 \pm 2,98$	$39,35 \pm 0,96$	$21,13 \pm 0,94$	$24,40 \pm 2,48$
30	$28,24 \pm 2,96$	$5,84 \pm 1,25$	$4,35 \pm 1,49$	$38,85 \pm 2,87$	$20,29 \pm 3,10$	$24,98 \pm 3,07$
60	$28,04 \pm 2,73$	$5,18 \pm 2,13$	$3,53 \pm 2,22$	$37,28 \pm 2,65$	$17,70 \pm 1,83$	$25,11 \pm 2,34$
90	$29,32 \pm 2,53$	$6,12 \pm 2,47$	$4,32 \pm 2,77$	$35,99 \pm 1,52$	$15,18 \pm 0,66$	$27,79 \pm 1,41$
120	$29,07 \pm 2,17$	$7,92 \pm 1,30$	$6,96 \pm 1,33$	$34,65 \pm 1,31$	$16,01 \pm 1,79$	$27,48 \pm 3,77$
180	$31,06 \pm 1,92$	$7,08 \pm 3,66$	$9,93 \pm 2,06$	$33,80 \pm 1,97$	$15,74 \pm 1,36$	$27,93 \pm 2,35$
240	$30,91 \pm 2,32$	$8,65 \pm 2,38$	$7,71 \pm 3,34$	$34,33 \pm 1,16$	$15,50 \pm 2,85$	$29,84 \pm 3,07$
300	$28,35 \pm 2,59$	$8,19 \pm 2,53$	$8,25 \pm 3,82$	$34,77 \pm 1,23$	$13,28 \pm 2,34$	$30,43 \pm 3,54$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση δε διαπιστώνονται μεταβολές χρώματος που να οφείλονται στην επεξεργασία στην εξωτερική πλευρά του σύκου και οι διαφορές σχετίζονται με την ποικιλομορφία των δειγμάτων. Στην εσωτερική πλευρά είναι επίσης εμφανής μια μικρή ελάττωση της φωτεινότητας (L) (από $42,69 \pm 2,00$ σε $34,77 \pm 1,23$), ενώ παρατηρείται και εδώ η μείωση του κόκκινου χρώματος (a) (από $23,44 \pm 3,01$ σε $13,28 \pm 2,34$). Αντίθετα το κίτρινο χρώμα (b) φαίνεται να αυξάνεται (από $22,79 \pm 0,88$ σε $30,43 \pm 3,54$).

Συγκρίνοντας τις δύο αναλογίες σύκου/διαλύματος φαίνεται πως δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των αναλογιών, στη θερμοκρασία των 35°C.



Εικόνα 58: (a) σύκα πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control), (b) σύκα μετά από 240 λεπτά ώσμωση στους 35°C σε αναλογία 1/5, (c) σύκα μετά από 300 λεπτά ώσμωση στους 35°C σε αναλογία 1/7.

Στους 45°C: Ακολουθώς παρουσιάζονται οι παράμετροι του χρώματος L, a, b στις δύο αναλογίες σύκου/διαλύματος (1/5 και 1/7) που εφαρμόστηκαν.

Πίνακας 30: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, σε θερμοκρασία 45°C.

Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	32,34 ± 3,07	6,85 ± 3,05	2,26 ± 3,28	43,96 ± 1,80	25,63 ± 2,28	26,29 ± 1,52
10	30,12 ± 3,65	4,93 ± 1,96	6,60 ± 2,52	40,59 ± 2,28	23,79 ± 3,63	26,41 ± 1,84
20	29,26 ± 3,82	5,68 ± 1,46	5,56 ± 3,16	39,08 ± 3,29	20,83 ± 2,90	25,47 ± 2,88
30	27,34 ± 1,58	6,44 ± 2,54	2,60 ± 2,23	37,36 ± 0,68	18,68 ± 2,99	26,02 ± 3,07
45	28,30 ± 2,74	6,96 ± 1,13	5,15 ± 3,28	36,35 ± 2,31	16,46 ± 3,25	25,88 ± 3,53
60	28,38 ± 2,14	3,95 ± 3,22	5,99 ± 3,41	37,74 ± 1,27	14,17 ± 2,32	27,44 ± 0,80
90	29,01 ± 1,54	7,42 ± 1,21	6,07 ± 2,82	37,88 ± 2,26	13,90 ± 3,55	27,60 ± 2,96
120	27,39 ± 1,32	5,65 ± 2,21	3,63 ± 2,24	36,96 ± 1,89	14,89 ± 3,06	30,07 ± 2,63
150	28,93 ± 3,28	6,47 ± 1,22	7,64 ± 3,74	36,26 ± 2,09	14,41 ± 2,83	30,23 ± 1,73
180	27,17 ± 1,79	6,42 ± 1,18	5,44 ± 3,73	36,22 ± 0,78	12,93 ± 1,74	29,52 ± 1,30
240	29,24 ± 1,78	8,27 ± 0,84	6,84 ± 3,49	35,78 ± 0,54	13,39 ± 0,92	31,45 ± 1,71
300	28,92 ± 1,91	7,81 ± 1,74	8,33 ± 2,71	35,46 ± 1,31	12,54 ± 2,02	32,20 ± 2,27

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Όπως προαναφέρθηκε στη μελέτη για τις άλλες δύο θερμοκρασίες, δε μπορεί να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με τη μεταβολή του χρώματος της εξωτερικής πλευράς του σύκου και θεωρείται πως οι διακυμάνσεις που παρουσιάζονται οφείλονται στην ποικιλομορφία των σύκων.

Όσον αφορά στο εσωτερικό του σύκου, η επεξεργασία επιδρά στο χρώμα της σάρκας με ίδιο τρόπο όπως προαναφέρθηκε στις άλλες θερμοκρασίες. Η φωτεινότητα (L) των δειγμάτων μειώνεται (από $43,96 \pm 1,80$ σε $35,46 \pm 1,31$), όπως επίσης και το κόκκινο χρώμα (a) (από $25,63 \pm 2,28$ σε $12,54 \pm 2,02$), ενώ το κίτρινο χρώμα (b) αυξάνεται (από $26,29 \pm 1,52$ σε $32,20 \pm 2,27$).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές για την αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

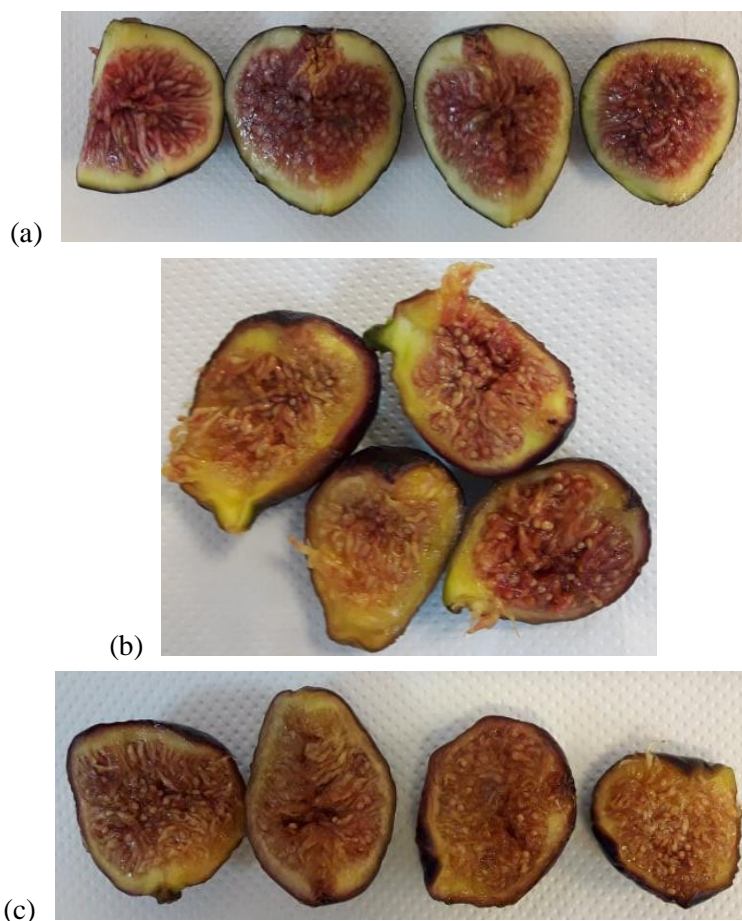
Πίνακας 31: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7, σε θερμοκρασία 45°C.

Χρόνος (min)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	$27,92 \pm 1,21$	$5,02 \pm 1,43$	$3,04 \pm 2,06$	$40,55 \pm 3,92$	$20,58 \pm 2,14$	$24,76 \pm 1,78$
15	$28,81 \pm 0,65$	$4,10 \pm 1,54$	$2,39 \pm 1,57$	$40,18 \pm 1,30$	$18,84 \pm 2,98$	$25,57 \pm 1,07$
30	$28,09 \pm 3,22$	$5,75 \pm 3,20$	$3,85 \pm 3,87$	$39,01 \pm 1,65$	$18,72 \pm 1,62$	$24,67 \pm 2,09$
45	$29,13 \pm 0,86$	$9,99 \pm 1,71$	$6,85 \pm 2,51$	$37,56 \pm 1,65$	$17,68 \pm 2,18$	$25,42 \pm 1,43$
60	$28,15 \pm 2,66$	$5,49 \pm 3,50$	$4,63 \pm 3,62$	$38,97 \pm 2,32$	$15,68 \pm 2,17$	$25,68 \pm 3,77$
90	$26,80 \pm 2,10$	$4,22 \pm 1,32$	$1,94 \pm 1,46$	$37,44 \pm 1,83$	$12,35 \pm 2,35$	$28,52 \pm 1,44$
120	$31,58 \pm 3,66$	$8,28 \pm 3,27$	$8,31 \pm 3,81$	$36,51 \pm 1,73$	$11,76 \pm 3,19$	$29,50 \pm 3,00$
180	$29,02 \pm 3,12$	$5,19 \pm 1,54$	$4,42 \pm 3,97$	$36,82 \pm 1,26$	$10,95 \pm 0,65$	$28,13 \pm 2,77$
240	$31,62 \pm 3,63$	$7,33 \pm 2,84$	$6,38 \pm 2,88$	$35,17 \pm 2,16$	$9,24 \pm 2,59$	$30,86 \pm 2,60$
300	$30,26 \pm 2,38$	$6,33 \pm 2,65$	$5,44 \pm 1,59$	$33,76 \pm 2,69$	$10,41 \pm 2,83$	$30,23 \pm 1,73$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 4 επαναλήψεις

Και σε αυτή την περίπτωση δε διαπιστώνονται μεταβολές χρώματος που να οφείλονται στην επεξεργασία στην εξωτερική πλευρά του σύκου και οι διαφορές σχετίζονται με την ποικιλομορφία των δειγμάτων. Στην εσωτερική πλευρά είναι επίσης εμφανής μια ελάττωση της φωτεινότητας (L) (από $40,55 \pm 3,92$ σε $33,76 \pm 2,69$), ενώ παρατηρείται και εδώ η μείωση του κόκκινου χρώματος (a) (από $20,58 \pm 2,14$ σε $10,41 \pm 2,83$). Αντίθετα το κίτρινο χρώμα (b) φαίνεται να αυξάνεται (από $24,76 \pm 1,78$ σε $30,23 \pm 1,73$).

Συγκρίνοντας τις δύο αναλογίες σύκου/διαλύματος φαίνεται πως δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των αναλογιών, ούτε στη θερμοκρασία των 45°C.



Εικόνα 59: (a) σύκα πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (control), (b) σύκα μετά από 240 λεπτά ώσμωση στους 45°C σε αναλογία 1/5, (c) σύκα μετά από 300 λεπτά ώσμωση στους 45°C σε αναλογία 1/7.

Παρατηρώντας τις τιμές των L, a, b σε όλες τις συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης που εφαρμόστηκαν προκύπτει πως η διεργασία δεν είχε κάποια επίδραση στην εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα) και οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται οφείλονται στην ανομοιομορφία χρώματος κάθε σύκου. Παρατηρούνται όμως μεταβολές στην εσωτερική πλευρά (σάρκα) όπου γίνεται αντιληπτή μια μείωση της φωτεινότητας (L) και του κόκκινου χρώματος (a), και αύξηση του κίτρινου χρώματος (b), σε όλες τις συνθήκες. Οι διαφορετικές συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης όμως (θερμοκρασία και αναλογία σύκου/διαλύματος), δε φαίνεται να επηρέασαν σημαντικά τις μεταβολές του χρώματος. Η απώλεια του χρώματος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια από τις σημαντικότερες μεταβολές που προκαλεί η διεργασία (Osorio et al., 2007). Κάποιοι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την απώλεια του χρώματος είναι η απώλεια ή συγκέντρωση διαφόρων

χρωστικών ουσιών του φρούτου και η ανάπτυξη ενζυμικής ή μη ενζυμικής αμαύρωσης (Haj Najafi et al., 2014). Εν προκειμένω είναι πιθανό οι μεταβολές που συνέβησαν στο χρώμα του σύκου να οφείλονται στο σχηματισμό μη ενζυμικής αμαύρωσης λόγω του υψηλού περιεχομένου αναγόντων σακχάρων του φρούτου (Haj Najafi et al., 2014). Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν βρεθεί για άλλους φυτικούς ιστούς που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση όπως βερίκοκα, μπανάνες, κάστανα και φρούτο του δράκου (pitaya) (Waliszewski et al., 1999; Moreira et al., 2010; Haj Najafi et al., 2014). Η μείωση της φωτεινότητας θα μπορούσε επίσης να οφείλεται στην συρρίκνωση του ιστού που οδηγεί σε αύξηση της αδιαφάνειας του δείγματος (Contreras et al., 2008; Heredia et al., 2009). Από την άλλη, οι μεταβολές στο κόκκινο και στο κίτρινο χρώμα πιθανόν σχετίζονται με τις μεταβολές που συμβαίνουν στις περιεχόμενες χρωστικές του φρούτου και την πρόσληψη στερεών συστατικών (Forni et al., 1997; Rodrigues et al., 2003; Falade & Igbeka, 2007).

5.2.6. Μελέτη της μεταβολής του pH των σύκων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης λαμβάνονταν μετρήσεις pH για τα δείγματα ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει μεταβολή λόγω της ωσμωτικής επεξεργασίας. Παρουσιάζονται στη συνέχεια οι τιμές που προέκυψαν για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5 στις τρεις θερμοκρασίες επεξεργασίας.

Πίνακας 32: Τιμές pH για τα δείγματα σύκων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5 και 1/7.

25°C				35°C				45°C			
Αναλογία 1/5		Αναλογία 1/7		Αναλογία 1/5		Αναλογία 1/7		Αναλογία 1/5		Αναλογία 1/7	
Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH	Χρόνος (min)	pH
0	4,47	0	4,71	0	4,50	0	4,59	0	4,32	0	4,54
10	4,32	15	4,44	15	4,13	15	4,35	10	4,09	15	4,29
20	4,53	30	4,50	30	4,06	30	4,55	20	4,12	30	4,43
40	4,07	60	4,73	45	4,04	60	4,28	30	4,29	45	4,38
60	4,11	90	4,74	60	4,01	90	4,49	45	4,34	60	4,39
90	4,12	120	4,47	90	4,10	120	4,47	60	4,18	90	4,28
120	4,15	180	4,44	120	4,34	180	4,19	90	4,15	120	4,29
180	4,26	240	4,34	150	4,36	240	4,24	120	4,03	180	4,22
240	4,32	300	4,19	180	4,26	300	4,13	150	4,05	240	4,16
300	4,23			240	4,09			180	4,11	300	4,06
				300	4,12			240	4,15		
								300	4,20		

Παρατηρώντας τις τιμές pH των σύκων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης γίνεται αντιληπτό ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή. Παρουσιάζονται διακυμάνσεις μεταξύ των τιμών σε όλες τις συνθήκες, είτε διαφορετική θερμοκρασία, είτε διαφορετική αναλογία σύκου/διαλύματος, που φαίνεται να συμβαίνουν λόγω των ίδιων των δειγμάτων, καθώς κάθε σύκο πριν την επεξεργασία είχε διαφορετική τιμή pH. Παρατηρείται μια μικρή πτώση της τιμής του pH που οφείλεται στην αλληλεπίδραση του δείγματος με το ωσμωτικό διάλυμα και τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, όμως οι τιμές αυτές δε μπορούν να δώσουν ξεκάθαρο συμπέρασμα λόγω των διαφορών που υπάρχουν. Συνεπώς, φαίνεται πως η ωσμωτική αφυδάτωση σαν επεξεργασία δεν επηρεάζει σημαντικά το pH του σύκου.

5.2.7. Μελέτη των μεταβολών pH, °Brix, και a_w του ωσμωτικού διαλύματος

Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης λαμβάνονταν και μετρήσεις σχετικές με το ωσμωτικό διάλυμα. Συγκεκριμένα μελετούνταν οι μεταβολές του pH, της περιεκτικότητας σε διαλυτά στερεά (°Brix) και της ενεργότητας ύδατος του (a_w). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εν λόγω τιμές για τις τρεις θερμοκρασίες στις οποίες εφαρμόστηκε ωσμωτική αφυδάτωση σε αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5. Λόγω τεχνικού προβλήματος δεν ήταν δυνατό να ληφθούν μετρήσεις ενεργότητας ύδατος του διαλύματος στις θερμοκρασίες 35 και 45°C.

Πίνακας 33: Τιμές pH, °Brix και a_w του ωσμωτικού διαλύματος στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

25°C				35°C			45°C		
Χρόνος (min)	pH	°Brix	a_w	Χρόνος (min)	pH	°Brix	Χρόνος (min)	pH	°Brix
0	2,93	62,1	0,482	0	3,03	61,9	0	2,90	61,5
10	3,08	61,4	0,484	15	3,07	60,2	10	3,03	60,2
20	3,05	61,0	0,488	30	3,08	59,6	20	3,03	58,5
40	3,09	60,9	0,494	45	3,16	59,5	30	3,00	58,3
60	3,09	60,8	0,498	60	3,20	59,5	45	3,06	58,2
90	3,19	59,7	0,512	90	3,19	58,8	60	3,03	58,1
120	3,10	60,0	0,525	120	3,18	58,8	90	3,07	57,5
180	3,15	59,5	0,526	150	3,20	58,8	120	3,12	57,2
240	3,23	58,6	0,547	180	3,25	58,0	150	3,20	57,2
300	3,34	57,4	0,574	240	3,32	57,7	180	3,82	57,0
				300	3,30	56,4	240	3,84	56,8
							300	3,86	56,5

Παρατηρώντας τις τιμές pH στον παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακα 33) φαίνεται πως με την πάροδο του χρόνου, κατά την διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας, το pH του διαλύματος αυξάνει, καθώς μεταφέρονται ουσίες και νερό από το σύκο στο διάλυμα, προκαλώντας έτσι μεταβολή της τιμής του pH. Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται σε ορισμένες περιπτώσεις πιθανόν οφείλονται στην ποικιλομορφία των σύκων που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγματα. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των 25 και 35°C, στους 45°C όμως η τελική τιμή pH του διαλύματος είναι αρκετά υψηλότερη και αγγίζει την τιμή του 3,86.

Όπως είναι αναμενόμενο, τα διαλυτά στερεά στο ωσμωτικό διάλυμα, εκφρασμένα σε °Brix, μειώνονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας καθώς γίνεται μεταφορά διαλυτών στερεών από το διάλυμα στο δείγμα. Η θερμοκρασία φαίνεται να ασκεί μικρή επίδραση στη μείωση των περιεχόμενων διαλυτών στερεών, καθώς στις θερμοκρασίες των 35 και 45°C, οι °Brix είναι χαμηλότεροι από ότι στους 25°C μετά το πέρας των 300 λεπτών συνεχούς ωσμωτικής αφυδάτωσης (56,4 και 56,5 έναντι 57,4, αντίστοιχα).

Αντίστοιχα, όπως παρατηρείται στους 25°C, η ενεργότητα ύδατος του διαλύματος αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, καθώς νερό μεταφέρεται από το σύκο στο ωσμωτικό διάλυμα, αυξάνοντας έτσι την ενεργότητα ύδατος του.

Σε αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7 πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχες μετρήσεις στο ωσμωτικό διάλυμα οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια ανά θερμοκρασία επεξεργασίας.

Πίνακας 34: Τιμές pH, °Brix και a_w του ωσμωτικού διαλύματος στις τρεις θερμοκρασίες (25, 35 και 45°C) για αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7.

25°C				35°C				45°C			
Χρόνος (min)	pH	°Brix	a_w	Χρόνος (min)	pH	°Brix	a_w	Χρόνος (min)	pH	°Brix	a_w
0	3,01	61,7	0,489	0	2,96	61,7	0,494	0	2,86	62,0	0,462
15	3,12	60,9	0,496	15	2,95	60,7	0,497	15	2,89	60,4	0,489
30	3,14	60,8	0,498	30	2,99	60,2	0,498	30	2,90	60,1	0,499
60	3,12	60,7	0,502	60	3,01	60,0	0,504	45	2,93	60,1	0,504
90	3,16	60,5	0,509	90	3,01	60,1	0,508	60	2,94	60,0	0,509
120	3,17	60,4	0,505	120	3,07	60,0	0,510	90	3,09	59,5	0,526
180	3,19	59,9	0,509	180	3,10	59,3	0,527	120	3,16	58,9	0,543
240	3,20	59,8	0,516	240	3,13	58,7	0,528	180	3,15	58,8	0,544
300	3,19	58,9	0,537	300	3,13	58,7	0,539	240	3,18	58,1	0,557
								300	3,19	57,9	0,561

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται πως οι τιμές του pH του διαλύματος παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, λόγω της μεταφοράς συστατικών και νερού που λαμβάνει χώρα. Δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική διαφορά ανά θερμοκρασία, ενώ συγκριτικά με την αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, οι τιμές pH εδώ εμφανίζονται χαμηλότερες.

Επιπλέον, τα διαλυτά στερεά, εκφρασμένα σε °Brix, εμφανίζουν μείωση λόγω της μεταφοράς στερεών συστατικών από το διάλυμα στο σύκο, με τη θερμοκρασία να ασκεί μικρή επίδραση, καθώς στους 45°C η τιμή °Brix είναι ελαφρώς χαμηλότερη σε σχέση με τις άλλες δύο θερμοκρασίες (57,9 έναντι 58,9 και 58,7). Οι τιμές εμφανίζονται υψηλότερες στο τέλος της επεξεργασίας συγκριτικά με αυτές στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5.

Όσον αφορά την ενεργότητα ύδατος του διαλύματος, όπως είναι αναμενόμενο αυξάνει καθώς μεταφέρεται νερό από το σύκο στο ωσμωτικό διάλυμα όσο εξελίσσεται η διεργασία. Στη θερμοκρασία των 45°C η τελική τιμή στο τέλος της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι μεγαλύτερη (0,561) σε σύγκριση με τις άλλες δύο θερμοκρασίες (0,537 και 0,539), λόγω της μεγαλύτερης μεταφοράς νερού από το σύκο στο διάλυμα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Λόγω της αδυναμίας λήψης μετρήσεων για όλες τις θερμοκρασίες στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5 είναι αδύνατο να υπάρξει πλήρης σύγκριση, παρόλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις τιμές στους 25°C η τελική τιμή ενεργότητας ύδατος είναι αρκετά υψηλότερη στην αναλογία 1/5 από ότι στην αναλογία 1/7 (0,574 και 0,537 αντίστοιχα).

5.2.8. Ανασύσταση του ωσμωτικού διαλύματος

Μετά το πέρας μιας ωσμωτικής επεξεργασίας το ωσμωτικό διάλυμα δεν απορρίφθηκε αλλά υπολογίσθηκε πως αυτό θα μπορούσε να ανασυσταθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί. Για να γίνει αυτό είναι αναγκαίο να αποκτήσει το διάλυμα το ίδιο περιεχόμενο διαλυτών στερεών που περιείχε πριν χρησιμοποιηθεί για την πρώτη ώσμωση, και να παραχθεί εκ νέου διάλυμα με την ίδια συγκέντρωση συστατικών. Αυτό εφαρμόστηκε τέσσερις φορές και κάθε φορά πραγματοποιούνταν ωσμωτική αφυδάτωση (για 90 λεπτά, στους 45°C, αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5), και στο πέρας της διεργασίας μετρούνταν η ενεργότητα ύδατος του δείγματος και προσδιορίζονταν η απώλεια ύδατος και η πρόσληψη στερεών για να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα του ανασυσταμένου διαλύματος.

Πίνακας 35: Τιμές ενεργότητας ύδατος (a_w), απώλειας ύδατος (WL) και πρόσληψης στερεών (SG) κατά τις 4 ανασυστάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα.

<i>Ανασύσταση</i>	a_w	WL (g νερού/g ξ.ο.)	SG (g ξ.στ./g ξ.ο.)
1 ^η	0,9314 ± 0,0071	2,17 ± 0,02	0,190 ± 0,003
2 ^η	0,9392 ± 0,0021	2,16 ± 0,01	0,182 ± 0,001
3 ^η	0,9352 ± 0,0017	2,15 ± 0,01	0,179 ± 0,002
4 ^η	0,9353 ± 0,0057	2,15 ± 0,01	0,174 ± 0,002

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Με βάση τον Πίνακα 35, γίνεται αντιληπτό πως η ανασύσταση ήταν επιτυχής και το διάλυμα μπορούσε επιτυχώς να επαναχρησιμοποιηθεί δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα ενεργότητας ύδατος. Η τιμή της a_w έπειτα από ωσμωτική αφυδάτωση στις ίδιες συνθήκες, αλλά με νέο διάλυμα (όχι ανασυσταμένο), ήταν $0,9366 \pm 0,0015$, επομένως φαίνεται πως τα αποτελέσματα που προέκυψαν σε όλες τις ανασυστάσεις δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνα ενός νέου διαλύματος. Αντίστοιχα και οι τιμές απώλειας ύδατος (WL) δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνες που προκύπτουν με τη χρήση νέου διαλύματος ($2,18 \pm 0,04$ g νερού/g ξηρής ουσίας) σε καμία εκ των τεσσάρων ανασυστάσεων. Στις τιμές πρόσληψης στερεών (SG) παρουσιάζεται μια μικρή πτώση σε κάθε ανασύσταση, δεν καθιστά όμως τη διαδικασία μη αποτελεσματική, σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην περίπτωση του μη ανασυσταμένου διαλύματος ($0,193 \pm 0,0012$ g ξηρών στερεών/g ξηρής ουσίας). Επομένως, συμπεραίνεται πως το ανασυσταμένο διάλυμα δεν παρεμποδίζει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί.

5.2.9. Βέλτιστες συνθήκες της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Λαμβάνοντας υπόψη όλη την παραπάνω μελέτη των παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης προκύπτει πως η βέλτιστη θερμοκρασία επεξεργασίας είναι αυτή των 45°C , καθώς τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι εντονότερα και η ενεργότητα ύδατος μειώνεται ταχύτερα.

Όσο αυξάνεται ο χρόνος της ωσμωτικής αφυδάτωσης τόσο ευνοούνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, έως ότου επέλθει ισορροπία. Μια χρονοβόρα όμως διεργασία δεν ωφελεί οικονομικά, και δε συνίσταται σε περιπτώσεις όπου η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται ως προκατεργασία. Για αυτό το λόγο επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η αναλογία σέκου/διαλύματος 1/5. Παρόλο που στη βέλτιστη θερμοκρασία των 45°C παρουσιάζεται μεγαλύτερη μείωση της ενεργότητας ύδατος των

σύκων στους τελευταίους χρόνους της διεργασίας στην υψηλότερη αναλογία (1/7), στα αρχικά στάδια η υψηλότερη αναλογία δεν ευνοεί τη μείωση της a_w . Στα 90 λεπτά επεξεργασίας, συγκεκριμένα, η ενεργότητα ύδατος στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5 παρουσιάζεται μικρότερη συγκριτικά με την αναλογία 1/7 ($0,9366 \pm 0,0015$ έναντι $0,9510 \pm 0,0025$). Το χρονικό διάστημα των 90 λεπτών, επομένως, θεωρείται βέλτιστο για την εν λόγω διεργασία. Επιπλέον, η απώλεια ύδατος και η πρόσληψη στερεών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις δύο αναλογίες, ενώ βασικός λόγος μη επιλογής της υψηλότερης αναλογίας είναι επίσης τα οικονομικά κριτήρια, εφόσον στην αναλογία σύκου/διαλύματος 1/7 δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά που να καθιστά τη χρήση της ευνοϊκότερη της μικρότερης αναλογίας (1/5).

Συμπερασματικά, λοιπόν, οι βέλτιστες συνθήκες στις οποίες πρέπει να λάβει χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση ώστε να αποτελέσει προκατεργασία της ξήρανσης των σύκων προέκυψε πως είναι: 80% συγκέντρωση γλυκερόλης (δεν μελετήθηκε άλλη συγκέντρωση για τα σύκα Μαρκοπούλου), αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5, θερμοκρασία 45°C και συνολικός χρόνος επεξεργασίας 90 λεπτά.

5.3. Σύκα Μαρκοπούλου – μελέτη της ξήρανσης

Μετά την εύρεση των βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης, ακολούθησε η ξήρανση των σύκων προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των συνθηκών αυτών στην εξέλιξη της διεργασίας και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Αφότου πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση για 90 λεπτά, σε θερμοκρασία 45°C, αναλογία σύκου/διαλύματος 1/5 και συγκέντρωση γλυκερόλης 80% (βέλτιστες συνθήκες), τα δείγματα αυτά οδηγήθηκαν σε ξήρανση σε ρεύμα αέρα έως την επίτευξη της επιθυμητής τιμής ενεργότητας ύδατος (0,55-0,60). Η ξήρανση πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες 50, 60 και 70°C και κατά τη διάρκεια της λαμβάνονταν μετρήσεις του βάρους των δειγμάτων, της ενεργότητας ύδατος τους, της υφής (σκληρότητα) και του χρώματός τους. Στις ίδιες συνθήκες εφαρμόστηκε ξήρανση σε μη προεπεξεργασμένα δείγματα (control) και έγινε σύγκριση με τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από τα προεπεξεργασμένα δείγματα.

Στα τελικά αποξηραμένα προϊόντα (προεπεξεργασμένα και μη) προσδιορίστηκε επιπλέον το περιεχόμενό τους σε φαινολικά συστατικά, αντιοξειδωτικές ουσίες, φλαβονοειδή, σάκχαρα, οργανικά οξέα και πρωτεΐνες. Επιπλέον, ακολούθησε αποθήκευσή τους για χρονικό διάστημα 45 ημερών, σε θερμοκρασίες 25, 35 και 45°C για να μελετηθεί η σταθερότητα του χρώματος και υφής τους κατά την αποθήκευση.

5.3.1. Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά την ξήρανση

Μελετήθηκε η επίδραση τριών διαφορετικών θερμοκρασιών (70, 60 και 50°C) στην ενεργότητα ύδατος προεπεξεργασμένων με ώσμωση και μη επεξεργασμένων δειγμάτων. Τελικός στόχος ήταν η επίτευξη μιας τιμής ενεργότητας ύδατος στο εύρος 0,55-0,60, δηλαδή μια τιμή που έχουν τα συμβατικά αποξηραμένα σύκα που κυκλοφορούν στην αγορά και διασφαλίζει τη σταθερότητα και ασφάλεια του προϊόντος. Οι τιμές της ενεργότητας ύδατος κατά τη διάρκεια της ξήρανσης στις εν λόγω συνθήκες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

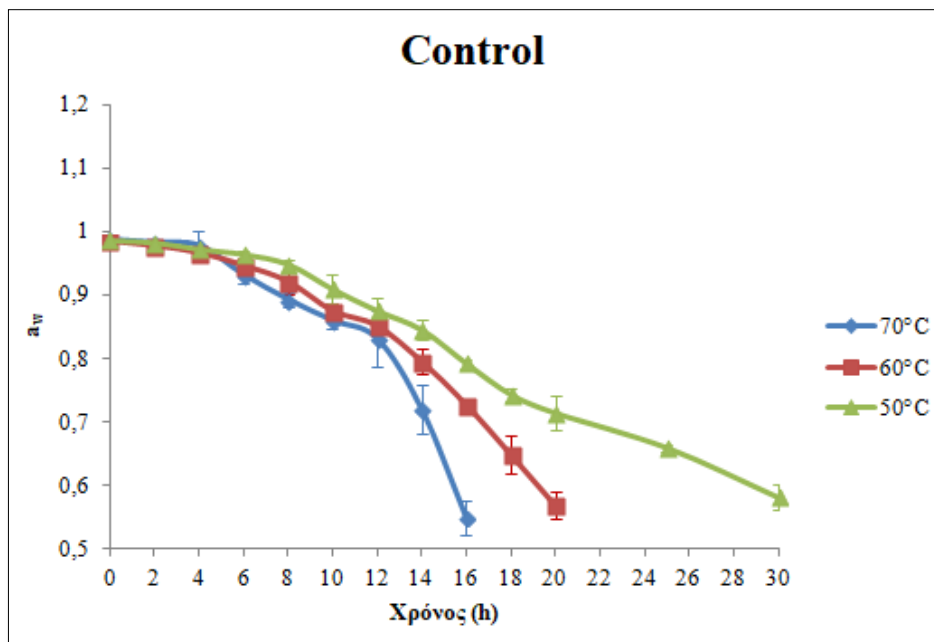
Πίνακας 36: Τιμές ενεργότητας ύδατος a_w για επεξεργασμένα (ωσμωμένα) και μη (control) δείγματα σε θερμοκρασίες ξήρανσης 70, 60 και 50°C.

Χρόνος (hours)	Ενεργότητα ύδατος a_w					
	70°C		60°C		50°C	
	Control	Ωσμωμένα	Control	Ωσμωμένα	Control	Ωσμωμένα
0	0,9870 ± 0,0012	0,9292 ± 0,0014	0,9852 ± 0,0018	0,9375 ± 0,0029	0,9863 ± 0,0033	0,9332 ± 0,0029
2	0,9825 ± 0,0016	0,8928 ± 0,0115	0,9779 ± 0,0022	0,9158 ± 0,0044	0,9832 ± 0,0025	0,9002 ± 0,0108
4	0,9773 ± 0,0250	0,7693 ± 0,0250	0,9671 ± 0,0049	0,8383 ± 0,0063	0,9726 ± 0,0037	0,8782 ± 0,0046
6	0,9316 ± 0,0141	0,6861 ± 0,0364	0,9468 ± 0,0087	0,7571 ± 0,0331	0,9649 ± 0,0061	0,8383 ± 0,0391
8	0,8927 ± 0,0123	0,6257 ± 0,0078	0,9215 ± 0,0205	0,7128 ± 0,0145	0,9489 ± 0,0077	0,7949 ± 0,0149
10	0,8597 ± 0,0137	0,5776 ± 0,0336	0,8755 ± 0,0122	0,6467 ± 0,0162	0,9096 ± 0,0228	0,7731 ± 0,0216
12	0,8312 ± 0,0452		0,8518 ± 0,0044	0,5503 ± 0,0257	0,8758 ± 0,0189	0,7003 ± 0,0094
14	0,7203 ± 0,0379		0,7959 ± 0,0213		0,8455 ± 0,0165	0,6548 ± 0,0113
16	0,5501 ± 0,0269		0,7279 ± 0,0077		0,7925 ± 0,0073	0,5714 ± 0,0179
18			0,6495 ± 0,0301		0,7437 ± 0,0104	
20			0,5695 ± 0,0208		0,7149 ± 0,0268	
25					0,6601 ± 0,0057	
30					0,5818 ± 0,0204	

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 3 επαναλήψεις

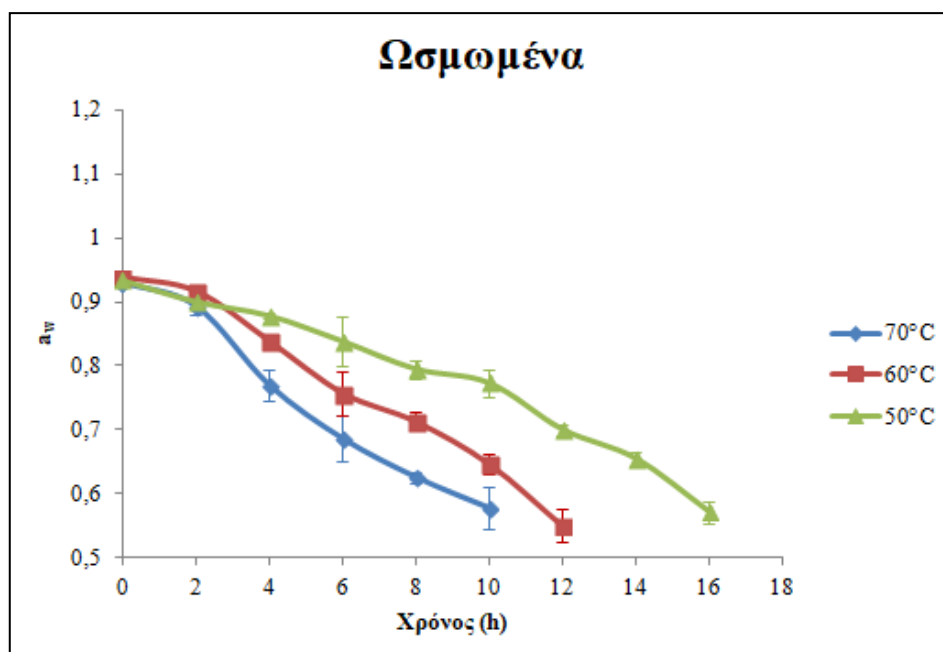
Παρατηρώντας τις τιμές ενεργότητας ύδατος που παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακας 36), γίνεται εμφανές πως και στις τρεις θερμοκρασίες ξήρανσης τα προεπεξεργασμένα δείγματα (ωσμωμένα) εμφάνισαν πολύ μικρότερο χρόνο ξήρανσης σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα (control). Αυτό υποδηλώνει πως η χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προεπεξεργασίας της ξήρανσης ήταν αποτελεσματική στη μείωση του χρόνου ξήρανσης και κατ' επέκταση την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους.

Επιπλέον, σε υψηλότερη θερμοκρασία μειώθηκε και ο χρόνος ξήρανσης σε επεξεργασμένα και μη δείγματα. Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται οι διαφορές στις εφαρμοζόμενες θερμοκρασίες για control (βλ. Εικόνα 60) και ωσσωμένα (βλ. Εικόνα 61) δείγματα.



Εικόνα 60: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες (70, 60 και 50°C) για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα.

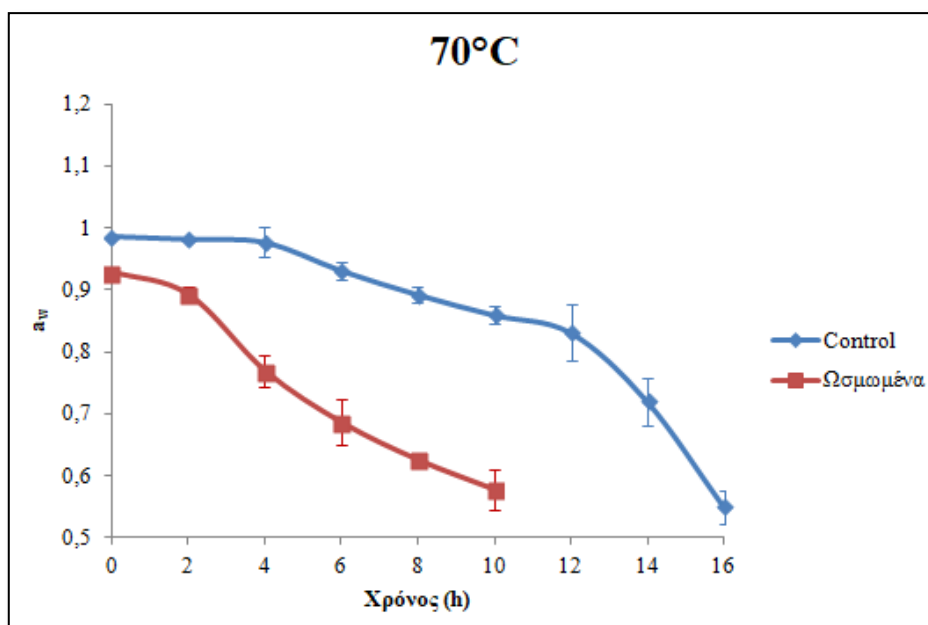
Όπως φαίνεται από τη γραφική απεικόνιση της μεταβολής της ενεργότητας ύδατος για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα (βλ. Εικόνα 60), η ξήρανση εξελίχθηκε πολύ ταχύτερα στην υψηλότερη θερμοκρασία των 70°C, ακολουθούμενη από τους 60°C και τέλος πιο αργή διαδικασία πραγματοποιήθηκε στους 50°C. Στους 70°C τα control δείγματα άγγιξαν την τιμή ενεργότητας ύδατος $0,5501 \pm 0,0127$ σε χρόνο 16 ωρών ξήρανσης σε ρεύμα αέρα, στους 60°C την τιμή $0,5695 \pm 0,0108$ σε χρόνο 20 ωρών, ενώ στους 50°C την τιμή $0,5818 \pm 0,0204$ σε χρόνο 30 ωρών. Όπως παρατηρείται και στη γραφική αναπαράσταση (βλ. Εικόνα 60), έως το χρόνο των 12 ωρών περίπου, η διαδικασία εξελισσόταν με παρόμοιο ρυθμό και οι τιμές a_w ήταν πολύ κοντινές μεταξύ τους. Από τις 12 ώρες, όμως, και ως την επίτευξη της επιθυμητής τιμής a_w (τέλος της ξήρανσης) οι διαφορές μεταξύ των τριών θερμοκρασιών μεγαλώνουν, με τη διαδικασία στους 50°C να εξελίσσεται πολύ πιο αργά συγκριτικά με τις άλλες δύο θερμοκρασίες. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εμφανής η επίδραση της θερμοκρασίας ξήρανσης, η οποία όσο αυξάνεται, τόσο μειώνεται ο χρόνος ξήρανσης.



Εικόνα 61: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στις τρεις θερμοκρασίες (70, 60 και 50°C) για τα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

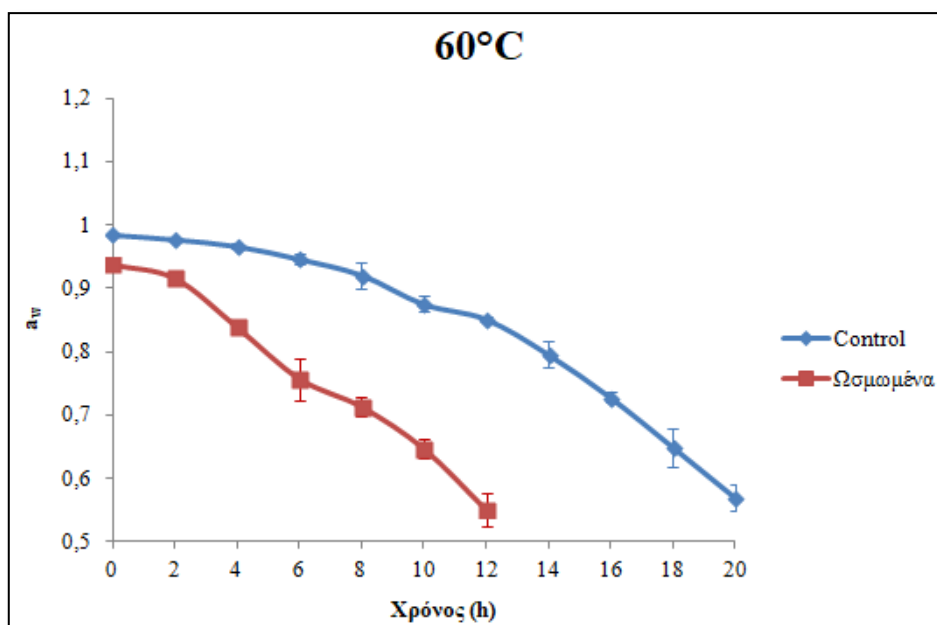
Όπως φαίνεται από τη γραφική απεικόνιση της μεταβολής της ενεργότητας ύδατος για τα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα (βλ. Εικόνα 61), η ξήρανση εξελίχθηκε ταχύτερα στην υψηλότερη θερμοκρασία των 70°C, ακολουθούμενη από τους 60°C και τέλος πιο αργή διαδικασία πραγματοποιήθηκε στους 50°C, όπως συνέβη και στα μη επεξεργασμένα δείγματα. Στους 70°C τα ωσμωμένα δείγματα άγγιξαν την τιμή ενεργότητας ύδατος $0,5776 \pm 0,0108$ σε χρόνο 10 ωρών ξήρανσης σε ρεύμα αέρα, στους 60°C την τιμή $0,5503 \pm 0,0257$ σε χρόνο 12 ωρών, ενώ στους 50°C την τιμή $0,5714 \pm 0,0079$ σε χρόνο 16 ωρών. Όπως παρατηρείται και στη γραφική αναπαράσταση (βλ. Εικόνα 61), τις πρώτες δύο ώρες της ξήρανσης δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις τρεις θερμοκρασίες, ενώ έπειτα οι τιμές a_w αρχίζουν να διαφοροποιούνται έως το τέλος της ξήρανσης (επίτευξη κατάλληλης τιμής a_w). Η διαδικασία εξελίσσεται αρκετά πιο αργά στους 50°C συγκριτικά με τις άλλες δύο θερμοκρασίες. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εμφανής η επίδραση της θερμοκρασίας ξήρανσης, η οποία όσο αυξάνεται, τόσο μειώνεται ο χρόνος ξήρανσης, κάτι που ισχύει και στην περίπτωση των δειγμάτων που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία.

Στη συνέχεια παρίστανται γραφικά τα επεξεργασμένα και μη δείγματα στους 70, 60 και 50°C προκειμένου να γίνει περισσότερο εμφανής η συμβολή της προεπεξεργασίας στην εξέλιξη της ξήρανσης.



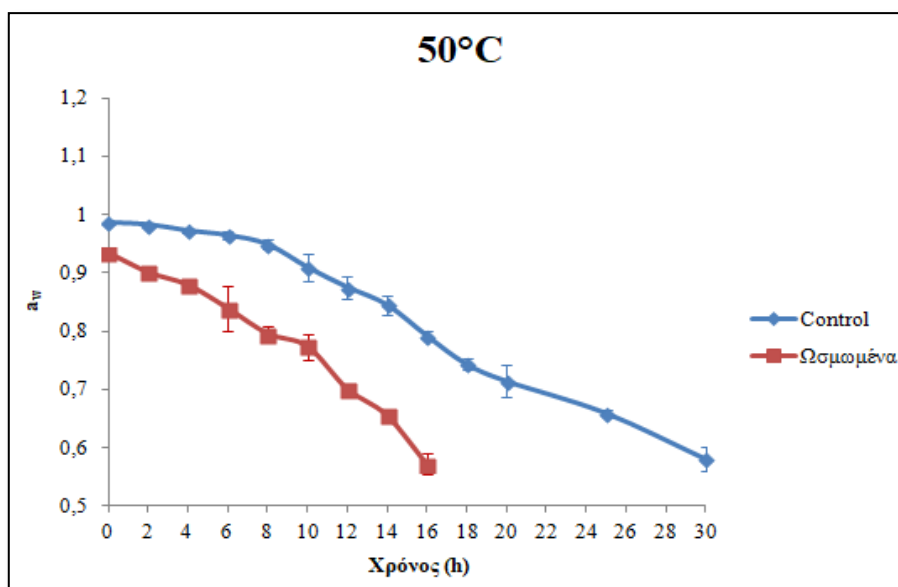
Εικόνα 62: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στους 70°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τη γραφική παράσταση που απεικονίζει την εξέλιξη των τιμών ενεργότητας ύδατος στους 70°C (βλ. Εικόνα 62), τα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα εμφανίζουν πολύ μικρότερο χρόνο ξήρανσης σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα. Στις δύο περιπτώσεις η αρχική ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων διαφέρει, καθώς τα control δείγματα παρουσιάζουν a_w της τάξης $0,9870 \pm 0,0012$, ενώ τα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση προηγουμένως παρουσίασαν την τιμή $0,9292 \pm 0,0013$. Αυτή είναι μια σημαντική διαφορά καθώς τα μη επεξεργασμένα δείγματα χρειάστηκαν 6 ώρες ξήρανσης σε ρεύμα αέρα για να επιτευχθεί αντίστοιχη τιμή a_w ($0,9316 \pm 0,0089$), κάτι που συνέβη μόλις σε 90 λεπτά προεπεξεργασίας (ωσμωτικής αφυδάτωσης). Στη συνέχεια φαίνεται πως η ξήρανση εξελίχθηκε ταχέως στα ωσμωμένα δείγματα για να ολοκληρωθεί σε 10 ώρες με τιμή a_w $0,5776 \pm 0,0108$, έναντι 16 ωρών που απαιτήθηκαν για να φτάσουν τα control δείγματα την τιμή $0,5501 \pm 0,0227$. Επομένως, προκύπτει πως η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας ήταν αποτελεσματική στη μείωση του χρόνου ξήρανσης σε ρεύμα αέρα σε θερμοκρασία 70°C.



Εικόνα 63: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στους 60°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τη γραφική παράσταση που απεικονίζει την εξέλιξη των τιμών ενεργότητας ύδατος στους 60°C (βλ. Εικόνα 63), τα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα εμφανίζουν πολύ μικρότερο χρόνο ξήρανσης σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα. Στις δύο περιπτώσεις η αρχική ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων διαφέρει, καθώς τα control δείγματα παρουσιάζουν a_w της τάξης $0,9852 \pm 0,0018$, ενώ τα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση προηγουμένως παρουσίασαν την τιμή $0,9375 \pm 0,0029$. Αυτή είναι μια σημαντική διαφορά καθώς τα μη επεξεργασμένα δείγματα χρειάστηκαν 8 ώρες ξήρανσης σε ρεύμα αέρα για να επιτευχθεί μια κοντινή σε αυτή τιμή a_w ($0,9215 \pm 0,0205$), κάτι που συνέβη μόλις σε 90 λεπτά προεπεξεργασίας (ωσμωτικής αφυδάτωσης). Στη συνέχεια φαίνεται πως η ξήρανση εξελίχθηκε ταχέως στα ωσμωμένα δείγματα για να ολοκληρωθεί σε 12 ώρες με τιμή a_w $0,5503 \pm 0,0257$, έναντι 20 ωρών που απαιτήθηκαν για να φτάσουν τα control δείγματα την τιμή $0,5695 \pm 0,0208$. Επομένως, προκύπτει πως η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας ήταν αποτελεσματική στη μείωση του χρόνου ξήρανσης σε ρεύμα αέρα σε θερμοκρασία 60°C.



Εικόνα 64: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w) συναρτήσει του χρόνου στους 50°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τη γραφική παράσταση που απεικονίζει την εξέλιξη των τιμών ενεργότητας ύδατος στους 50°C (βλ. Εικόνα 64), τα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα εμφανίζουν πολύ μικρότερο χρόνο ξήρανσης σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα. Στις δύο περιπτώσεις η αρχική ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων διαφέρει, καθώς τα control δείγματα παρουσιάζουν a_w της τάξης $0,9863 \pm 0,0033$, ενώ τα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση προηγουμένως παρουσίασαν την τιμή $0,9332 \pm 0,0029$. Αυτή είναι μια σημαντική διαφορά καθώς τα μη επεξεργασμένα δείγματα χρειάστηκαν 8 ώρες ξήρανσης σε ρεύμα αέρα για να επιτευχθεί μια κοντινή σε αυτή τιμή a_w ($0,9489 \pm 0,0077$), κάτι που συνέβη μόλις σε 90 λεπτά προεπεξεργασίας (ωσμωτικής αφυδάτωσης). Στη συνέχεια φαίνεται πως η ξήρανση εξελίχθηκε ταχέως στα ωσμωμένα δείγματα για να ολοκληρωθεί σε 16 ώρες με τιμή a_w $0,5714 \pm 0,0179$, έναντι 30 ωρών που απαιτήθηκαν για να φτάσουν τα control δείγματα την τιμή $0,5818 \pm 0,0204$. Επομένως, προκύπτει πως η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας ήταν αποτελεσματική στη μείωση του χρόνου ξήρανσης σε ρεύμα αέρα σε θερμοκρασία 50°C.

Συμπερασματικά, προέκυψε πως η εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης στα δείγματα σύκων πριν αυτά οδηγηθούν για ξήρανση σε ρεύμα αέρα είναι μια αποτελεσματική προκατεργασία ώστε να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος ξήρανσης για να επιτευχθεί η κατάλληλη τιμή ενεργότητας ύδατος (0,55-0,60). Επιπλέον, η εφαρμογή

υψηλότερης θερμοκρασίας ξήρανσης (70°C) είχε ως αποτέλεσμα μικρότερο χρόνο ξήρανσης τόσο στα προεπεξεργασμένα όσο και στα μη επεξεργασμένα δείγματα.

5.3.2. Συντελεστής διάχυσης κατά την ξήρανση

Λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη της ξήρανσης και με βάση την ελάττωση της περιεχόμενης υγρασίας κατά τη διάρκειά της, υπολογίστηκε ο συντελεστής διάχυσης D_{eff} τόσο για τα επεξεργασμένα (ωσμωμένα), όσο και για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα.

Πίνακας 37: Τιμές συντελεστή διάχυσης D_{eff} σε θερμοκρασίες ξήρανσης 70, 60 και 50°C για μη επεξεργασμένα (control) και επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Θερμοκρασία (°C)	D_{eff} (m^2/s)	
	Control	Ωσμωμένα
70	$0,95 \cdot 10^{-10} \pm 1,05 \cdot 10^{-11}$	$1,21 \cdot 10^{-10} \pm 1,73 \cdot 10^{-11}$
60	$0,88 \cdot 10^{-10} \pm 1,35 \cdot 10^{-11}$	$0,97 \cdot 10^{-10} \pm 0,53 \cdot 10^{-11}$
50	$0,55 \cdot 10^{-10} \pm 0,67 \cdot 10^{-11}$	$0,77 \cdot 10^{-10} \pm 0,28 \cdot 10^{-11}$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον παραπάνω πίνακα (βλ. Πίνακα 37), ο συντελεστής διάχυσης D_{eff} φαίνεται να είναι σημαντικά μεγαλύτερος ($p < 0,05$) στην περίπτωση των προεπεξεργασμένων (ωσμωμένων) δειγμάτων σε σύγκριση με εκείνων των μη επεξεργασμένων (control) δειγμάτων. Επιπλέον, γίνεται αντιληπτό πως υψηλότερες τιμές του συντελεστή προέκυψαν σε υψηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης, επιβεβαιώνοντας έτσι την επίδραση της θερμοκρασίας στην επεξεργασία.

5.3.3. Μεταβολή της υφής (σκληρότητα) των δειγμάτων κατά την ξήρανση

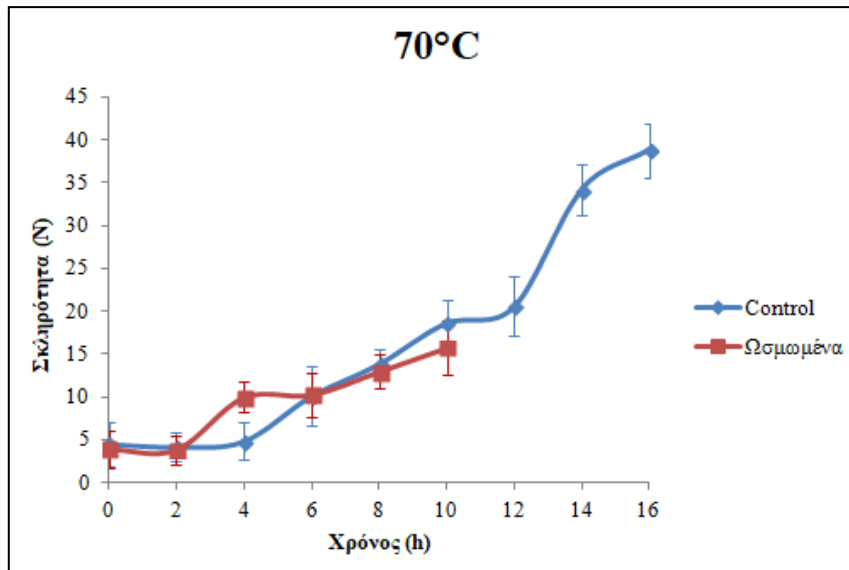
Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης τόσο των επεξεργασμένων όσο και των μη επεξεργασμένων δειγμάτων λαμβάνονταν μετρήσεις της σκληρότητας τους προκειμένου να μελετηθεί πως μεταβάλλεται η υφή τους κατά τη διεργασία, αλλά και να συγκριθούν οι δύο περιπτώσεις. Ακολουθούν οι τιμές σκληρότητας που προέκυψαν για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης (70, 60 και 50°C).

Πίνακας 38: Τιμές σκληρότητας των επεξεργασμένων (ωσμωμένων) και μη (control) δειγμάτων στις τρεις θερμοκρασίες (70, 60 και 50°C).

Χρόνος (hours)	Σκληρότητα (N)					
	70°C		60°C		50°C	
	Control	Ωσμωμένα	Control	Ωσμωμένα	Control	Ωσμωμένα
0	4,5440±2,5458	3,9423±2,1561	4,8204±1,5987	3,5475±1,4963	4,8955±2,3049	3,0080±2,4614
2	4,2026±1,5898	3,8524±1,7008	4,5215±2,4778	3,4922±1,5473	4,9033±2,0090	3,4446±1,0566
4	4,8557±2,1544	9,9593±1,7781	4,7181±2,9972	4,9719±3,1407	4,7724±1,9926	3,6270±2,1146
6	10,1145±3,4775	10,2742±2,6147	6,2702±2,4686	7,5473±2,8966	5,4959±3,0141	6,6649±2,0827
8	13,8636±1,6691	12,9608±2,0312	7,2805±3,6985	9,7137±1,6274	4,9465±2,1561	6,5264±1,0086
10	18,6653±2,7474	15,7445±3,1492	14,9953±2,4981	14,2626±3,3736	7,8474±1,3525	7,0838±2,4913
12	20,5617±3,4478		19,0123±3,1136	17,5735±2,9146	8,3966±2,4846	8,8685±1,8050
14	34,1579±2,8996		26,4677±1,8964		9,0221±1,2564	8,9636±3,5152
16	38,7593±3,2203		27,7727±2,6477		11,4464±2,5865	14,5499±2,4216
18			35,6940±1,1231		14,5468±3,4684	
20			41,5571±2,4963		15,8340±1,5876	
25					29,4689±3,6488	
30					40,1363±2,7789	

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

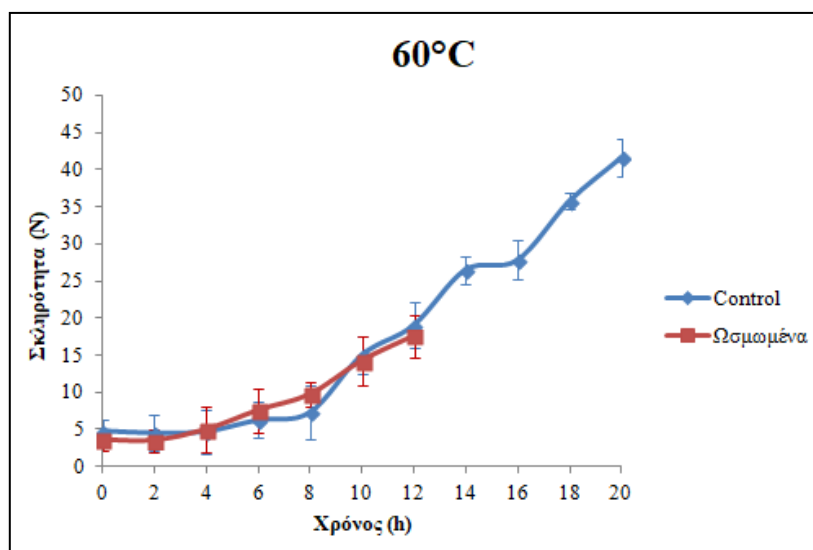
Παρατηρώντας τις τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων (βλ. Πίνακας 38) κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, γίνεται αντιληπτό πως τα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα παρουσιάζουν πολύ μικρότερες τιμές σκληρότητας, επομένως είναι πολύ πιο μαλακά συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα στο τέλος της ξήρανσης, και στις τρεις εφαρμοζόμενες θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι στους 70°C, σε 10 ώρες ξήρανσης, τα ωσμωμένα δείγματα παρουσιάζουν σκληρότητα $15,7445 \pm 3,1492$ N, έναντι της τιμής $38,7593 \pm 3,2203$ N των control δειγμάτων σε 16 ώρες ξήρανσης.



Εικόνα 65: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 70°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω γραφική παράσταση (βλ. Εικόνα 65) και έχει ήδη αναφερθεί, ο χρόνος ξήρανσης των μη επεξεργασμένων (control) δειγμάτων είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν των επεξεργασμένων (ωσμωμένων). Στους κοινούς χρόνους ξήρανσης οι διαφορές στην σκληρότητά τους δεν είναι σημαντικές, όμως λόγω του ότι απαιτείται περισσότερος χρόνος ξήρανσης για τα control δείγματα, είναι αναπόφευκτη η αύξηση της σκληρότητάς τους με την πάροδο του χρόνου, σε πολύ υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τα ωσμωμένα δείγματα.

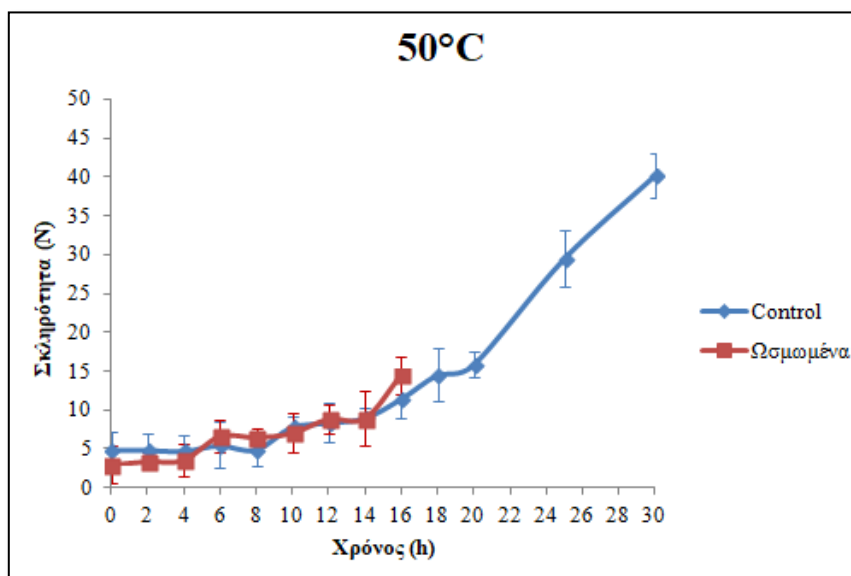
Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για τη θερμοκρασία των 60°C.



Εικόνα 66: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 60°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Στους 60°C, σε 12 ώρες ξήρανσης, τα ωσμωμένα δείγματα παρουσιάζουν σκληρότητα $17,5735 \pm 2,9146$ N, έναντι της τιμής $41,5571 \pm 2,4963$ N των control δειγμάτων σε 20 ώρες ξήρανσης. Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτή η διαφορά μεταξύ control και ωσμωμένων δειγμάτων στην τελική τους σκληρότητα, λόγω του πολύ μικρότερου χρόνου ξήρανσης των επεξεργασμένων δειγμάτων.

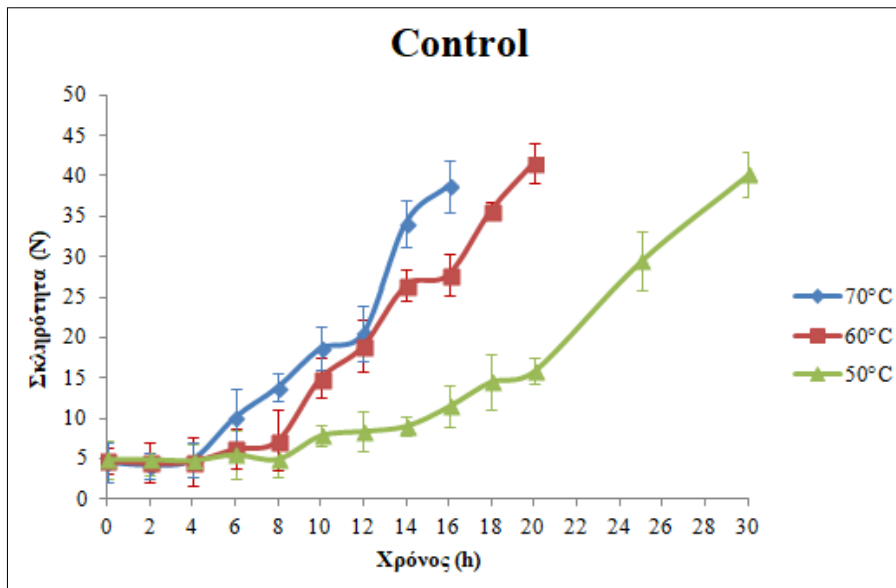
Αντίστοιχα, στους 50°C:



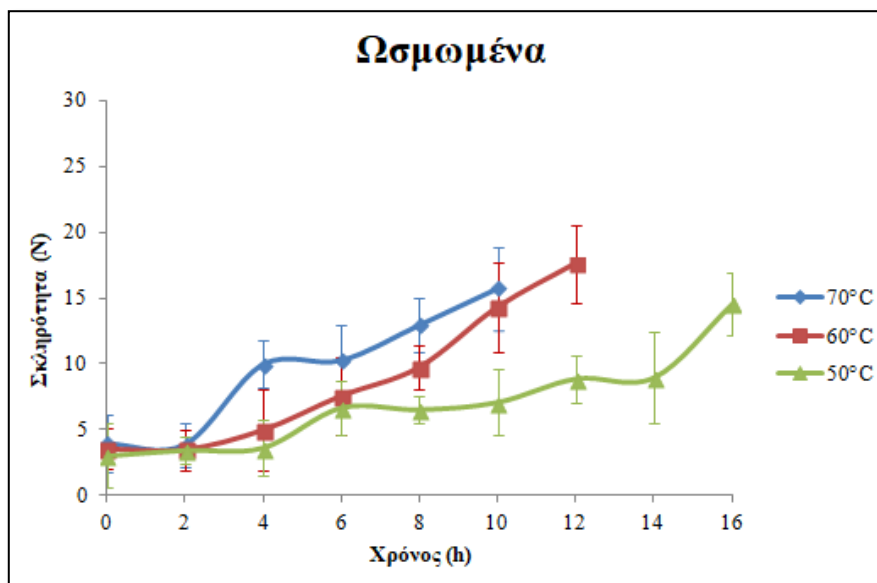
Εικόνα 67: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 50°C για τα μη επεξεργασμένα (control) και προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Στους 50°C, σε 16 ώρες ξήρανσης, τα ωσμωμένα δείγματα παρουσιάζουν σκληρότητα $14,5499 \pm 2,4216$ N, έναντι της τιμής $40,1363 \pm 2,7789$ N των control δειγμάτων σε 20 ώρες ξήρανσης. Φαίνεται, λοιπόν, και σε αυτή την περίπτωση η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη σκληρότητα των δειγμάτων.

Γίνεται έτσι αντιληπτό πως η ωσμωτική αφυδάτωση ως προεπεξεργασία έχει καθοριστική σημασία στην υφή των αποξηραμένων σύκων και τα καθιστά πολύ πιο μαλακά. Παρατηρήθηκε, επιπλέον, πως η θερμοκρασία ξήρανσης επηρέασε τη μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων, όχι τόσο την τελική τους τιμή, όσο την ταχύτητα της μεταβολής αυτής.



Εικόνα 68: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 70, 60 και 50°C για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα.



Εικόνα 69: Μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου στους 70, 60 και 50°C για τα επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα.

Όπως παρατηρείται και στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων (control) δειγμάτων αλλά και στην περίπτωση των επεξεργασμένων (ωσμωμένων) δειγμάτων (βλ. Εικόνα 68 και 69 αντίστοιχα), παρουσιάζονται μικρές διαφορές στην τελική τιμή σκληρότητας στις τρεις θερμοκρασίες ξήρανσης. Οι διαφορές εντοπίζονται στη μεταβολή της σκληρότητας καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας. Στην υψηλότερη θερμοκρασία των 70°C, εφόσον η απομάκρυνση υγρασίας γίνεται ταχύτερα, και η σκλήρυνση επέρχεται γρηγορότερα σε σύγκριση με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

5.3.4. Μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων κατά την ξήρανση

Κατά τη διεξαγωγή της ξήρανσης, λαμβάνονταν μετρήσεις των παραμέτρων του χρώματος L, a, b ώστε να εξετασθεί κατά πόσο μεταβάλλεται το χρώμα των δειγμάτων κατά τη διεργασία αλλά και να συγκριθούν οι παράμετροι για τα μη επεξεργασμένα (control) και τα επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα, στις τρεις θερμοκρασίες ξήρανσης (70, 60 και 50°C). Ακολουθούν οι τιμές των παραμέτρων για τα μη επεξεργασμένα δείγματα.

Πίνακας 39: Τιμές παραμέτρων χρώματος L, a, b για τα μη επεξεργασμένα (control) δείγματα στους 70°C.

Χρόνος (h)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	36,14 ± 0,67	3,91 ± 1,34	3,32 ± 1,78	37,41 ± 0,99	23,13 ± 1,70	24,23 ± 1,37
2	34,64 ± 0,79	5,59 ± 1,03	6,99 ± 1,07	36,39 ± 1,79	23,02 ± 1,98	23,73 ± 0,91
4	32,23 ± 1,44	4,79 ± 1,53	5,97 ± 1,65	36,96 ± 0,68	19,23 ± 1,99	23,80 ± 1,30
6	31,22 ± 0,42	4,24 ± 0,23	5,88 ± 1,83	33,54 ± 1,86	17,67 ± 1,38	20,88 ± 1,37
8	25,82 ± 0,77	3,88 ± 0,99	5,22 ± 0,18	27,01 ± 1,98	11,26 ± 0,94	22,25 ± 1,17
10	24,30 ± 0,91	4,89 ± 0,72	6,68 ± 0,54	27,17 ± 1,41	11,72 ± 0,98	22,33 ± 1,02
12	24,90 ± 0,22	5,46 ± 0,78	8,67 ± 0,80	26,47 ± 0,97	11,96 ± 1,49	22,04 ± 1,69
14	22,59 ± 0,66	3,48 ± 1,54	6,88 ± 1,96	23,98 ± 1,45	10,01 ± 1,66	23,34 ± 0,89
16	20,67 ± 1,21	4,55 ± 0,58	5,01 ± 0,86	23,47 ± 1,61	9,48 ± 1,49	24,03 ± 0,56

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 39 προκύπτει πως στην εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα) η φωτεινότητα (L) μειώνεται με την πάροδο του χρόνου από $36,14 \pm 0,67$ σε $20,67 \pm 1,21$ που σημαίνει πως η εξωτερική πλευρά του σύκου γίνεται ακόμη πιο σκούρα. Οι παράμετροι του κόκκινου (a) και κίτρινου χρώματος (b) φαίνεται να μην μεταβάλλονται, ενώ οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στις τιμές πιθανόν οφείλονται στη διαφορετικότητα κάθε δείγματος σύκου. Στην εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα) παρατηρείται πως η φωτεινότητα (L) μειώνεται από $37,41 \pm 0,99$ σε $23,47 \pm 1,61$, όπως επίσης μειώνεται και το κόκκινο χρώμα (a) από $23,13 \pm 1,70$ σε $9,48 \pm 1,49$, ενώ το κίτρινο χρώμα (b) φαίνεται να μη μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και για τις άλλες δύο θερμοκρασίες (60 και 50°C) στα μη επεξεργασμένα σύκα και για αυτό το λόγο δεν παρατίθενται αναλυτικά οι τιμές των παραμέτρων.

Στους 60°C:

Στην εξωτερική πλευρά:

- Φωτεινότητα (L) από $31,91 \pm 0,96$ (αρχική τιμή σε χρόνο 0) σε $21,87 \pm 1,19$ (τελική τιμή σε χρόνο 20 ώρες).
- Παράμετροι a και b δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά.

Στην εσωτερική πλευρά:

- Φωτεινότητα (L) από $36,87 \pm 1,88$ (αρχική τιμή σε χρόνο 0) σε $30,96 \pm 0,49$ (τελική τιμή σε χρόνο 12 ώρες).
- Κόκκινο χρώμα (a) από $23,83 \pm 1,71$ (αρχική τιμή σε χρόνο 0) σε $9,42 \pm 0,65$ (τελική τιμή σε χρόνο 12 ώρες).
- Κίτρινο χρώμα (b) δεν μεταβλήθηκε σημαντικά.

Στους 50°C:

Στην εξωτερική πλευρά:

- Φωτεινότητα (L) από $32,70 \pm 0,64$ (αρχική τιμή σε χρόνο 0) σε $23,55 \pm 1,12$ (τελική τιμή σε χρόνο 30 ώρες).
- Παράμετροι a και b δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά.

Στην εσωτερική πλευρά:

- Φωτεινότητα (L) από $39,58 \pm 1,47$ (αρχική τιμή σε χρόνο 0) σε $27,44 \pm 0,81$ (τελική τιμή σε χρόνο 16 ώρες).
- Κόκκινο χρώμα (a) από $20,95 \pm 1,55$ (αρχική τιμή σε χρόνο 0) σε $10,74 \pm 1,09$ (τελική τιμή σε χρόνο 16 ώρες).
- Κίτρινο χρώμα (b) δεν μεταβλήθηκε σημαντικά.

Ακολουθούν οι αντίστοιχες τιμές για τα προεπεξεργασμένα δείγματα.

Πίνακας 40: Τιμές παραμέτρων χρώματος L, a, b για τα επεξεργασμένα (ωσμωμένα) δείγματα στους 70°C.

Χρόνος (h)	Εξωτερική πλευρά του σύκου (φλούδα)			Εσωτερική πλευρά του σύκου (σάρκα)		
	L	a	b	L	a	b
0	$26,98 \pm 0,88$	$3,12 \pm 1,26$	$3,29 \pm 0,70$	$33,06 \pm 1,56$	$14,25 \pm 0,50$	$26,88 \pm 0,95$
2	$26,83 \pm 0,86$	$5,04 \pm 1,14$	$5,39 \pm 0,21$	$33,20 \pm 1,18$	$16,33 \pm 0,69$	$24,92 \pm 1,55$
4	$25,87 \pm 0,76$	$5,82 \pm 1,63$	$8,63 \pm 0,33$	$34,97 \pm 1,45$	$15,64 \pm 1,09$	$26,25 \pm 0,96$
6	$24,74 \pm 0,87$	$5,08 \pm 1,19$	$4,79 \pm 1,20$	$32,48 \pm 0,92$	$13,63 \pm 0,66$	$24,97 \pm 1,36$
8	$23,16 \pm 1,58$	$4,15 \pm 0,97$	$3,40 \pm 0,73$	$35,26 \pm 0,77$	$15,74 \pm 0,52$	$24,59 \pm 1,67$
10	$25,66 \pm 0,64$	$7,45 \pm 0,33$	$5,35 \pm 1,56$	$32,05 \pm 0,90$	$14,38 \pm 0,84$	$26,14 \pm 1,28$

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 40 γίνεται αντιληπτό πως στην περίπτωση των ωσμομένων δειγμάτων όλες οι παράμετροι του χρώματος, τόσο στην εξωτερική, όσο και στην εσωτερική πλευρά του σύκου, παραμένουν σταθερές και δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές. Αυτό δείχνει πως η ωσμωτική αφυδάτωση βοηθά στη διατήρηση του χρώματος όταν εφαρμόζεται ως προκατεργασία της ξήρανσης. Στις άλλες δύο θερμοκρασίες (60 και 50°C) τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά, για αυτό το λόγο δεν κρίθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθούν εδώ.

Διαπιστώθηκε, και στα ωσμομένα αλλά και στα control δείγματα, πως οι τιμές των παραμέτρων δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά μεταξύ των εφαρμοζόμενων θερμοκρασιών, κάτι που σημαίνει πως η θερμοκρασία ξήρανσης δεν επηρεάζει το χρώμα των δειγμάτων. Για αυτό το λόγο συγκρίνονται μόνο οι τιμές των παραμέτρων στη θερμοκρασία των 70°C για τις δύο περιπτώσεις, στο πέρας της ξήρανσης.

Πίνακας 41: Σύγκριση των τελικών τιμών (στο τέλος της ξήρανσης) των παραμέτρων χρώματος, σε θερμοκρασία 70°C, για επεξεργασμένα (ωσμομένα) και μη (control) δείγματα.

	Παράμετροι	Control	Ωσμομένα
Εξωτερική πλευρά (φλούδα)	<i>L</i>	20,67 ± 1,21	25,66 ± 0,64
	<i>a</i>	4,55 ± 0,58	7,45 ± 0,33
	<i>b</i>	5,01 ± 0,86	5,35 ± 1,56
Εσωτερική πλευρά (σάρκα)	<i>L</i>	23,47 ± 1,61	32,05 ± 0,90
	<i>a</i>	9,48 ± 1,49	14,38 ± 0,84
	<i>b</i>	24,03 ± 0,56	26,14 ± 1,28

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Συγκρίνοντας τις τιμές των παραμέτρων του χρώματος (βλ. Πίνακας 41) στο τέλος της ξήρανσης (10 και 16 ώρες ξήρανσης για ωσμομένα και control δείγματα αντίστοιχα) φαίνεται πως η ωσμωτική αφυδάτωση που εφαρμόστηκε ως προκατεργασία της ξήρανσης οδήγησε στην απόκτηση τελικού αποξηραμένου προϊόντος βελτιωμένου χρώματος σε σχέση με το συμβατικά αποξηραμένο. Στην εξωτερική επιφάνεια του σύκου φαίνεται πως τα ωσμομένα δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη φωτεινότητα (*L*) ενώ οι παράμετροι *a* και *b* δεν επηρεάζονται από τη διεργασία επομένως δε συγκρίνονται. Στην εσωτερική πλευρά του σύκου, η φωτεινότητα (*L*) είναι αισθητά υψηλότερη, κάτι που σημαίνει πως τα προεπεξεργασμένα δείγματα δεν σκουραίνουν τόσο κατά την επεξεργασία όπως τα μη επεξεργασμένα. Γίνεται, επίσης, αντιληπτό από την παράμετρο *a* πως τα ωσμομένα δείγματα διατηρούν περισσότερο το κόκκινο χρώμα της σάρκας, ενώ στα

control δείγματα φαίνεται να χάνεται. Η παράμετρος του κίτρινου χρώματος (b) δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη διαφορά στις δύο περιπτώσεις.

Συμπερασματικά, προέκυψε πως τα σύκα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία, εμφάνισαν μεγαλύτερη σταθερότητα χρώματος κατά την ξήρανση και το χρώμα τους ήταν εντονότερο συγκριτικά με τα σύκα που δεν είχαν υποστεί κάποια επεξεργασία. Επιπλέον, η θερμοκρασία ξήρανσης δε φάνηκε να επηρεάζει τις παραμέτρους του χρώματος.

5.3.5. Σύσταση των αποξηραμένων σύκων

Στα τελικά αποξηραμένα προϊόντα (επεξεργασμένα και μη) μετρήθηκε η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες, φαινολικά συστατικά, αντιοξειδωτικές ουσίες, φλαβονοειδή, σάκχαρα και οργανικά οξέα. Οι εν λόγω τιμές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Πίνακας 42: Διατροφικές και βιοενεργές ενώσεις στα προεπεξεργασμένα (ωσμωμένα) και μη επεξεργασμένα (control) δείγματα.

Συστατικά	Control	Ωσμωμένα
Σύνολο φαινολικών ενώσεων (mg CAE/100g ζ.ο.)	22,31 ± 0,26	26,34 ± 0,25
Ολικά φλαβονοειδή (mg κατεχίνης/100g ζ.ο.)	4,47 ± 0,11	5,16 ± 0,33
Αντιοξειδωτική ικανότητα (mg Trolox/100g ζ.ο.)	13,14 ± 0,05	14,18 ± 0,16
Ολικές φυτικές ίνες (g/100g ζ.ο.)	11,48 ± 0,15	16,15 ± 0,22
Πρωτεΐνες (g/100g ζ.ο.)	11,01 ± 0,95	9,33 ± 0,82
Γλυκόζη (mg/100g ζ.ο.)	0,64 ± 0,08	0,73 ± 0,05
Φρουκτόζη (mg/100g ζ.ο.)	1,25 ± 0,06	1,43 ± 0,02
Γλυκερόλη (mg/100g ζ.ο.)	-	3,00 ± 0,56
Ασκορβικό οξύ (mg/100g ζ.ο.)	33,94 ± 2,21	15,61 ± 3,61
Κιτρικό οξύ (mg/100g ζ.ο.)	15,80 ± 0,25	9,20 ± 1,12
Τρυγικό οξύ (mg/100g ζ.ο.)	3,03 ± 0,91	1,65 ± 0,28
Μηλικό οξύ (mg/100g ζ.ο.)	8,15 ± 1,52	2,75 ± 0,17
Γαλακτικό οξύ (mg/100g ζ.ο.)	1,12 ± 0,22	0,72 ± 0,12

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση από 2 επαναλήψεις

Παρατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 42 γίνεται αντιληπτό πως υπήρξε αύξηση της περιεκτικότητας σημαντικών ενώσεων στα δείγματα που είχαν υποστεί προεπεξεργασία, όπως οι φαινολικές ενώσεις, τα φλαβονοειδή, οι αντιοξειδωτικές ουσίες, οι φυτικές ίνες και σάκχαρα όπως η γλυκόζη και η φρουκτόζη. Από αυτό φαίνεται πως η ωσμωτική αφυδάτωση λειτούργησε θετικά στη συγκράτηση σημαντικών θρεπτικών συστατικών. Επιπλέον, τα ωσμωμένα δείγματα είχαν περιεκτικότητα σε γλυκερόλη της τάξης $3,00 \pm 0,56$ mg/100g ξηρής ουσίας, λόγω του ωσμωτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε, το οποίο περιείχε γλυκερόλη σε συγκέντρωση 80%. Η ποσότητα των περιεχόμενων σακχάρων επηρεάζει τη γλυκύτητα του αποξηραμένου σύκου (Veberic et

al., 2016), επομένως το γεγονός ότι στα ωσμωμένα δείγματα οι ποσότητες των σακχάρων είναι μεγαλύτερες υποδηλώνει πως είναι και πιο γλυκά. Σε αυτό συμβάλλουν και τα περιεχόμενα οργανικά οξέα όπου φαίνεται πως βρίσκονται σε μικρότερη ποσότητα στα ωσμωμένα σε σχέση με τα control δείγματα. Η ύπαρξη των οργανικών οξέων μπορεί να μειώσει τη γλυκύτητα ακόμη και αν η περιεκτικότητα σε σάκχαρα είναι υψηλή (Veberic et al., 2016). Επομένως, το γεγονός ότι οξέα όπως το μηλικό, κιτρικό, ασκορβικό, τρυγικό και γαλακτικό περιέχονται σε μικρότερες ποσότητες στα επεξεργασμένα δείγματα σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα ωσμωμένα σύκα παρουσιάζουν γλυκύτερη γεύση. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς έχουν επεξεργασθεί με ωσμωτικό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης γλυκερόλης (80%) που προσθέτει επίσης γλυκύτητα. Το γεγονός όμως πως οι διαφορές μεταξύ των περιεκτικότητων αυτών των ουσιών σε επεξεργασμένα και μη δείγματα είναι μικρές υποδηλώνει πως δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στη γεύση μεταξύ τους, όπως διαπιστώθηκε και από οργανοληπτική δοκιμή.

5.3.6. Μελέτη της σταθερότητας των αποξηραμένων προϊόντων

Εφόσον μελετήθηκε η επίδραση που ασκεί η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης κατά την εξέλιξη της διαδικασίας, θεωρήθηκε χρήσιμο να μελετηθεί και η σταθερότητα των αποξηραμένων προϊόντων κατά την αποθήκευση. Για αυτό το λόγο αποξηραμένα δείγματα, προεπεξεργασμένα και μη, αποθηκεύτηκαν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 25, 35 και 45°C και εξετάστηκε η μεταβολή του χρώματος και της υφής τους για χρονικό διάστημα 45 ημερών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της σκληρότητας των δειγμάτων στις τρεις θερμοκρασίες.

Πίνακας 43: Τιμές της σκληρότητας επεξεργασμένων (ωσμωμένων) και μη (control) δειγμάτων κατά την αποθήκευσή τους στους 25, 35 και 45°C.

Χρόνος (days)	Σκληρότητα (N)					
	25°C		35°C		45°C	
	Control	Ωσμωμένα	Control	Ωσμωμένα	Control	Ωσμωμένα
0	50,9435	18,8707	50,9435	18,8707	50,9435	18,8707
15	50,3832	17,6221	24,3324	12,7994	17,5337	11,0434
30	52,0510	22,7786	30,9376	17,3967	26,4741	12,5740
45	61,9968	26,4962	32,7566	25,1306	28,5793	21,8293

Όπως παρατηρείται από τις τιμές του Πίνακα 43 η υψηλότερη θερμοκρασία (35 και 45°C) είχε ως αποτέλεσμα μια αρχική ελάττωση της σκληρότητας, που σημαίνει πως δεν επιτυγχάνεται η κατάλληλη σταθερότητα σε άλλη θερμοκρασία εκτός των 25°C. Μετά την πρώτη πτώση των τιμών (στους 35 και 45°C) στις 15 ημέρες αποθήκευσης, φαίνεται να ξεκινά μια αύξηση στις 30 ημέρες αποθήκευσης που σημαίνει ότι τα προϊόντα σκληραίνουν ξανά. Έπειτα, στις 45 ημέρες η αύξηση είναι ακόμη μεγαλύτερη, σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Συγκριτικά, τα ωσμομένα και τα control δείγματα δεν εμφανίζουν μεταβολή στην πορεία εξέλιξης της αποθήκευσής τους, πέρα από την πολύ σημαντική διαφορά που παρουσιάζουν λόγω της προκατεργασίας που υπέστησαν τα επεξεργασμένα δείγματα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων του χρώματος L, a, b στις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης (25, 35 και 45°C) για την εσωτερική πλευρά μη επεξεργασμένων (control) και επεξεργασμένων (ωσμομένων) δειγμάτων. Οι τιμές για την εξωτερική πλευρά δεν παρατίθενται γιατί έχει διαπιστωθεί πως δεν υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στις παραμέτρους αυτής.

Πίνακας 44: Τιμές των παραμέτρων χρώματος L, a, b της εσωτερικής πλευράς του σύκου στις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης (25, 35 και 45°C) για τα μη επεξεργασμένα (control) και επεξεργασμένα (ωσμομένα) δείγματα.

Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος (days)	Control			Ωσμομένα		
		L	a	b	L	a	b
25°C	0	32,03 ± 3,95	14,09 ± 3,25	18,82 ± 3,17	29,62 ± 2,98	14,24 ± 2,33	19,93 ± 2,51
	15	29,40 ± 1,85	9,30 ± 0,91	17,87 ± 1,75	32,21 ± 0,83	10,17 ± 0,84	22,10 ± 0,73
	30	41,00 ± 1,83	11,92 ± 0,24	22,88 ± 1,25	34,25 ± 1,21	9,29 ± 2,29	21,99 ± 0,68
	45	38,55 ± 0,88	11,80 ± 0,36	22,10 ± 0,56	31,11 ± 2,00	11,67 ± 1,21	21,81 ± 1,55
35°C	0	32,03 ± 3,95	14,09 ± 3,25	18,82 ± 3,17	29,62 ± 2,98	14,24 ± 2,33	19,93 ± 2,51
	15	21,97 ± 3,79	8,40 ± 1,24	11,67 ± 1,60	25,06 ± 1,48	10,60 ± 0,46	15,60 ± 1,23
	30	30,10 ± 4,04	11,01 ± 1,50	17,09 ± 2,92	31,27 ± 2,46	8,79 ± 1,24	20,78 ± 3,04
	45	23,54 ± 0,29	6,94 ± 0,92	12,13 ± 1,35	27,54 ± 3,16	9,45 ± 0,64	17,00 ± 2,05
45°C	0	32,03 ± 3,95	14,09 ± 3,25	18,82 ± 3,17	29,62 ± 2,98	14,24 ± 2,33	19,93 ± 2,51
	15	22,99 ± 1,09	8,33 ± 0,79	9,68 ± 1,68	26,40 ± 1,54	8,78 ± 0,71	18,03 ± 1,50
	30	19,13 ± 3,07	4,63 ± 1,23	5,21 ± 1,63	20,40 ± 0,76	5,65 ± 0,38	10,07 ± 1,68
	45	22,31 ± 1,32	5,55 ± 0,64	7,80 ± 1,71	19,02 ± 1,02	5,44 ± 0,64	8,80 ± 2,03

± συμβολίζει την τυπική απόκλιση

Παρατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 44 γίνεται αντιληπτό πως η διαφορετική θερμοκρασία αποθήκευσης επιδρά στη μεταβολή των παραμέτρων του χρώματος. Η μεγαλύτερη μεταβολή πραγματοποιείται στην περίπτωση της αποθήκευσης στους 45°C, όπου τόσο στα control όσο και στα ωσμομένα δείγματα, όλες οι παράμετροι (L, a, b) εμφανίζουν σημαντική μείωση. Αυτό σημαίνει πως τα δείγματα σκουραίνουν και χάνουν το κόκκινο και κίτρινο χρώμα τους. Στους 35°C, τόσο στα control, όσο και στα ωσμομένα δείγματα παρατηρείται σημαντική μείωση του κόκκινου χρώματος (a), ενώ στους 25°C παρατηρείται μια σχετική σταθερότητα στις παραμέτρους στα δείγματα. Μεγαλύτερη σταθερότητα στο χρώμα παρουσιάζεται στους 25°C, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς στις υψηλές θερμοκρασίες τα προϊόντα δεν είναι το ίδιο σταθερά. Όσον αφορά στη σύγκριση μεταξύ ωσμομένων και control δειγμάτων, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα έως το χρόνο των 45 ημερών, και θα απαιτούνταν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αποθήκευσης για να διαπιστωθεί αν οι μεταβολές οφείλονται στη διαφορετική επεξεργασία ή στην εκ φύσεως διαφορετικότητα κάθε δείγματος.

6. Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

6.1. Συμπεράσματα

Μελετώντας κριτικά τα ευρήματα της παρούσας ερευνητικής εργασίας διαπιστώνεται ότι η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια αποτελεσματική προκατεργασία της ξήρανσης σύκων σε ρεύμα αέρα. Παρατηρήθηκε πως τα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση, παρουσίασαν πολύ μικρότερο χρόνο ξήρανσης, σε σύγκριση με τα συμβατικά αποξηραμένα ανάλογα που δεν είχαν υποστεί κάποια προεπεξεργασία, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή υψηλότερης θερμοκρασίας ξήρανσης (70°C) οδηγεί σε συντομότερο χρόνο ξήρανσης. Επιπλέον, η υφή των επεξεργασμένων δειγμάτων στο τέλος της ξήρανσής τους εμφανίστηκε βελτιωμένη σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα, καθώς η σκληρότητά τους ήταν εμφανώς μικρότερη, καθιστώντας τα έτσι πολύ πιο μαλακά. Η ωσμωτική αφυδάτωση, επιπλέον, οδήγησε σε καλύτερη συγκράτηση του χρώματος των δειγμάτων σύκων κατά την επεξεργασία. Τα ωσμωμένα σύκα εμφάνισαν, επίσης, υψηλότερα ποσοστά φαινολικών ενώσεων, φλαβονοειδών, αντιοξειδωτικών ουσιών, φυτικών ινών και σακχάρων (γλυκόζη και φρουκτόζη).

Οι συνθήκες στις οποίες λαμβάνει χώρα η ωσμωτική αφυδάτωση ασκούν σημαντική επίδραση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που συμβαίνουν κατά τη διάρκειά της, και κατά συνέπεια, τα χαρακτηριστικά του προεπεξεργασμένου δείγματος που θα υποστεί ξήρανση εξαρτώνται από τις εν λόγω συνθήκες. Η θερμοκρασία της ωσμωτικής επεξεργασίας διαδραματίζει τον πιο καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη των φαινομένων ανταλλαγής μάζας. Υψηλότερη θερμοκρασία (45°C) οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια ύδατος και πρόσληψη στερεών, και μικρότερη ενεργότητα ύδατος. Επιπλέον, υψηλότερη συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος (95%) ευνοεί τη μεταφορά μάζας, όμως λόγω υψηλού ιξώδους του διαλύματος μεγαλύτερης συγκέντρωσης απαιτείται μεγάλος χρόνος προσαρμογής στις νέες συνθήκες, με αποτέλεσμα μια μικρότερη συγκέντρωση (80%) να παρουσιάζει μεγαλύτερη απώλεια ύδατος/πρόσληψη στερεών και μικρότερη ενεργότητα ύδατος στα αρχικά στάδια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η χρήση συνδυαστικού διαλύματος γλυκερόλης-ολιγοφρουκτόζης παρεμπόδισε την αποτελεσματική εφαρμογή της διεργασίας, λόγω του πολύ υψηλού ιξώδους του διαλύματος, και της ατελούς διαλυτοποίησης της στερεής ολιγοφρουκτόζης στην παχύρρευστη γλυκερόλη. Ως αποτέλεσμα, η χρήση αυτού του ωσμωτικού διαλύματος δεν έδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αντίθετα, η χρήση ωσμωτικών διαλυμάτων γλυκερόλης (80 και 95%) ήταν

αποτελεσματική. Με τον ίδιο τρόπο επηρεάζει τη διαδικασία και η αναλογία σύκου/διαλύματος. Μεγαλύτερη αναλογία σύκου/διαλύματος (1/7) ευνοεί τη διεξαγωγή των φαινομένων μεταφοράς μάζας, στους αρχικούς όμως χρόνους η μεταφορά δυσχεραίνεται λόγω υψηλού ιξώδους του διαλύματος, με αποτέλεσμα καλύτερα αποτελέσματα να λαμβάνονται στη μικρότερη αναλογία (1/5).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των σύκων Κύμης και των μαύρων σύκων Μαρκοπούλου διαφέρουν κατά πολύ. Αυτό οφείλεται στο ότι είναι διαφορετικά είδη, σε διαφορετικό στάδιο ωριμότητας και διαφορετικό τρόπο συγκομιδής. Επομένως, συμπεραίνεται πως το είδος και τα φυσικά χαρακτηριστικά του σύκου καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό την εξέλιξη της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, και κατ' επέκταση της μετέπειτα ξήρανσής τους.

6.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια ήπια επεξεργασία που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια σε διάφορους φυτικούς και ζωικούς ιστούς ως προκατεργασία άλλων μεθόδων συντήρησης. Στα σύκα, όμως, η έρευνα είναι περιορισμένη. Επομένως, θα παρουσίαζε ενδιαφέρον να γίνει εκτενέστερη μελέτη, εφαρμόζοντας διαφορετικές συνθήκες στην ωσμωτική επεξεργασία ώστε να βελτιστοποιηθεί η διεργασία. Θα μπορούσαν να μελετηθούν διαφορετικές θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις διαλύματος αλλά και διαφορετικά ωσμωτικά υλικά που ίσως δίνουν καλύτερα αποτελέσματα.

Επιπλέον, θα μπορούσε να διερευνηθεί αν διαφορετικές συνθήκες ξήρανσης επηρεάζουν το τελικό αποξηραμένο προϊόν, για παράδειγμα διαφορετική θερμοκρασία ή τρόπος ξήρανσης, όπως η απευθείας έκθεση στον ήλιο ή ξήρανση με ηλιακά πάνελ.

Στην εν λόγω ερευνητική εργασία, λόγω εποχικότητας, δεν ήταν δυνατό να μελετηθεί η ξήρανση των σύκων Κύμης, παρά το γεγονός ότι πραγματοποιήθηκε πλήρες κινητικό πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας, θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθεί και ξήρανση αυτού του είδους με εφαρμογή της ωσμωτικής προεπεξεργασίας, ή ακόμη να μελετηθεί κάποιο άλλο είδους σύκου που πιθανόν θα παρουσιάζει διαφορετικά αποτελέσματα.

Ακόμη, είναι επιτακτική η ανάγκη να πραγματοποιηθεί πλήρης και συστηματικός οργανοληπτικός έλεγχος στα τελικά αποξηραμένα σύκα (προεπεξεργασμένα και μη επεξεργασμένα) ώστε να διαπιστωθεί αν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, και αν επηρεάζεται η αποδοχή τους από τους καταναλωτές λόγω της προκατεργασίας.

Αναφορές

- Aguilera, J. M., Cadoche, L., Lopez, C., Gutierrez G. (2001). Microstructural changes of potato cells and starch granules heated in oil, *Food Res. Int.*, 34, 939-947.
- Ahmed, A., Dodo, A., Bouba, A., Clement, S., Dzudie, T. (2011). Influence of traditional drying and smoke-drying on the quality of three fish species (*Tilapia nilotica*, *Silurus glanis* and *Arius parkii*) from Lagdo Lake, Cameroon, *J. Anim. Vet. Advan*, 10(3), 301-306.
- Akbarian, M., Ghasemkhani, N., Moayedi, F. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review, *International Journal of Biosciences*, 4(1), 42-57.
- Aksoy, U. (2017). The dried fig management and the potential for new products, *Acta Horticulturae*, (1173), 377–382.
- Aminzadeh, R., Sargolzaei, J., Abarzani, M. (2012). Preserving Melons by Osmotic Dehydration in a Ternary System Followed by Air-Drying, *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1305–1316.
- Aljane, F., Toumi, I., Ferchichi, A. (2007a). HPLC determination of sugars and atomic absorption analysis of mineral elements in fresh figs of Tunisian cultivars, *African J. Biotech*, 6(5), 599-602.
- Azuara, E., Cortés, R., Garcia, H. S., Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law, *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 409-418.
- Badgujar, S. B., Patel, V. V., Bandivdekar, A. H., Mahajan, R. T. (2014). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Ficus carica*: A review, *Pharmaceutical Biology*, 52(11), 1487–1503.
- Barolo, M. I., Ruiz Mostacero, N., López, S. N. (2014). *Ficus carica* L. (Moraceae): An ancient source of food and health, *Food Chemistry*, 164, 119–127.
- Beaudry, C., Raghavan, G. S. V., Rennie, T. J. (2003). Microwave finished drying of osmotically dehydrated cranberries, *Drying Technology*, 21, 1797-1810.

- Bekatorou, A., Soupioni, M. J., Koutinas, A. A., Kanellaki, M. E. (2002). Low-Temperature Brewing by Freeze-Dried Immobilized Cells, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 97(2), 105–122.
- Bekele, Y., Ramaswamy, H. (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings, *EJAST*, 1(1), 1-15.
- Bennamoun, L., & Li, J. (2018). Drying Process of Food: Fundamental Aspects and Mathematical Modeling, *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*, 29–82.
- Berk, Z. (2009). Dehydration, *Food Process Engineering and Technology*, 459–510.
- Bolin, H. R., Huxsoll, C. C., Jackson, R., NG, K. C. (1983). Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality, *Journal of Food Science*, 48(1), 202–205.
- Bongirwar, D. R., Sreenivasan, A. (1977). Osmotic dehydration of banana, *J. Food Sci. Technol*, 14(3), 104-112.
- Brochier, B., Marczak, L. D. F., Noreña, C. P. Z. (2014). Osmotic Dehydration of Yacon Using Glycerol and Sorbitol as Solutes: Water Effective Diffusivity Evaluation, *Food and Bioprocess Technology*, 8(3), 623–636.
- Butu, M., Rodino, S. (2019). Fruit and Vegetable-Based Beverages—Nutritional Properties and Health Benefits, *Natural Beverages*, 13, 303–338.
- Çalışkan, O., Aytakin Polat, A. (2011). Phytochemical and antioxidant properties of selected fig (*Ficus carica* L.) accessions from the eastern Mediterranean region of Turkey, *Scientia Horticulturae*, 128(4), 473–478.
- Cantín, C. M., Palou, L., Bremer, V., Michailides, T. J., Crisosto, C. H. (2011). Evaluation of the use of sulfur dioxide to reduce postharvest losses on dark and green figs, *Postharvest Biology and Technology*, 59(2), 150–158.
- Castelló, M. L., Fito, P. J., Chiralt, A. (2010). Changes in respiration rate and physical properties of strawberries due to osmotic dehydration and storage, *Journal of Food Engineering*, 97, 64-71.
- Cath, T. Y., Childress, A. E., Elimelech, M. (2006). Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments, *Journal of Membrane Science*, 281, 70-87.

- Chandra, S., Kumari, D. (2014). Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4), 552-561.
- Chavan, U. D., Amarowicz, R. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables, *Journal of Food Research*, 1(2).
- Chen, X. D., Mujumdar, A. S. (ed). (2008). *Drying Technologies in Food Processing*, Wiley-Blackwell.
- Chessa, I., 1997. Fig. In: Mitra, S. (Ed.), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*, CAB International, Wallingford, UK.
- Chimi, H., Ouaouich, A., Semmar, M., Tayebi, S. (2008). Industrial processing of figs by solar drying in Morocco, *Acta Horticulturae* 798, 331–334.
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: Cryoprotectant effect, *Journal of Food Engineering*, 49, 129-135.
- Chiralt, A., Talens, P. (2005). Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues, *Journal of Food Engineering*, 67, 167-177.
- Chiu, M.-T., Tham, H. J., Lee, J.-S. (2017). Optimization of osmotic dehydration of Terung Asam (*Solanum lasiocarpum* Dunal), *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3327–3337.
- Chua, K., Chou, S. (2003). Low-cost drying methods for developing countries, *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 519–528.
- Colaric, M., Veberic, R., Stampar, F., Hudina, M. (2005). Evaluation of peach and nectarine fruit quality and correlations between sensory and chemical attributes, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(15), 2611–2616.
- Colelli, G., & Amodio, M. L. (2020). Subtropical fruits: Figs, *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*, 427–434.
- Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F., Poligné, I. (2000). Osmotic treatment of fish and meat products, *Journal of Food Engineering*, 49, 153-162.

- Collignan, A., Raoult-Wack, A.L. (1994) Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar-salt solutions, *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 27, 259–264.
- Condit, I. J. (1969). *Ficus: the exotic species*, University of California, Division of Agricultural Sciences.
- Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N. (2008). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry, *Journal of Food Engineering*, 88(1), 55–64.
- Contreras, J. M., Smyrl, T. G. (1981). An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions, *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 14, 301-314.
- Cordella, C., Antinelli, J. F., Cabrol-Bass, D. (2003). Computer-aided determination of glycerol in food products with GlycerolSoft, a tool for assessing the quality of food, *Trends in Analytical Chemistry*, 22(2), 115-122.
- Crank, J., (1975), *The Mathematics of Diffusion*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Crisosto, H., Ferguson, L., Bremer, V., Stover, E., Colelli, G. (2011). Fig (*Ficus carica* L.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, 134–160e.
- Crisosto, C., Kader, A. A. (2007). Figs. Postharvest quality maintenance guidelines. Postharvest information for fruits and nuts. <http://www.uckac.edu/postharv>.
- De Laurentiis, V., Corrado, S., Sala, S. (2018). Quantifying household waste of fresh fruit and vegetables in the EU, *Waste Management*, 77, 238–251.
- De Mello Jr, R. E., Corrêa, J. L. G., Lopes, F. J., de Souza, A. U., da Silva, K. C. R. (2019). Kinetics of the pulsed vacuum osmotic dehydration of green fig (*Ficus carica* L.), *Heat and Mass Transfer*, 55(1).
- Dermesonlouoglou, E. K., Andreou, V., Alexandrakis, Z., Katsaros, G. J., Giannakourou, M. C., Taoukis, P. S. (2017). The hurdle effect of osmotic pretreatment and high-pressure cold pasteurisation on the shelf-life extension of fresh-cut tomatoes, *International Journal of Food Science & Technology*, 52(4), 916–926.

- Dermesonlouoglou, E., Chalkia, A., Taoukis, P. (2018). Application of osmotic dehydration to improve the quality of dried goji berry, *Journal of Food Engineering*, 232, 36–43.
- Dermesonlouoglou, E., Giannakourou, M., Taoukis, P. (2007). Kinetic modeling 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, 790-798.
- Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M., Taoukis, P. S. (2016). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment with alternative osmotic solutes to the shelf life of frozen strawberry, *Food and Bioproducts Processing*, 99, 212–221.
- Dermesonlouoglou, E. K., Pantelaiaki, K., Andreou, V., Katsaros, G. J., Taoukis, P. S. (2019). Osmotic pretreatment for the production of novel dehydrated tomatoes and cucumbers, *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(7), e13968.
- Dermesonlouoglou, E. K., Pourgouri, S., Taoukis, P. S. (2008). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 542-549.
- Devic, E., Guyot, S., Daudin, J. D., Bonazzi, C. (2010). Effect of temperature and cultivars on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 606–614.
- Dollahite, S., Bremer, V., Crisosto, G. M., Crisosto, C. H., Stover, E., Ferguson, L. (2007). Effects of delayed cooling on two fresh fig cultivars. <http://groups.ucanr.org/freshfig/index.cfm>.
- Ekechukwu, O., Norton, B. (1999). Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology, *Energy Conversion and Management*, 40(6), 615–655.
- El-Gendy, M. A. (2014). Evaluation of Quality Attributes of Dehydrated Figs Prepared by Osmotic-Drying Process, *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 92(1).
- Fadl, A., Badry, N. E. L. (2015). *Effect of some different drying methods on quality criteria of dried fig fruits 1*, Vol. 2001.

- Falade, K. O., Igbeka, J. C., Ayanwuyi, F. A. (2007). Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon, *Journal of Food Engineering*, 80(3), 979–985.
- Favetto, G., Chirife, J., Bartholomai, G. B. (1981). A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride-glycerol solutions. I. Equilibrium considerations and diffusional analysis of solute uptake, *Journal of Food Science and Technology*, 16, 609-619.
- Favetto, G., Chirife, J., Bartholomai, G. B. (1981). A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride-glycerol solutions. II. Kinetics of aw lowering and effect of some process variables, *Journal of Food Science and Technology*, 16, 621-628.
- Ferguson, L., Michailides, T. J., Shorey, H. H. (1990). The California fig industry, *Hort. Rev. (Arner. Soc. Hort. Sci.)*, 12, 409-490.
- Fermin, W. J., Corzo, O. (2005). Optimization of vacuum pulse osmotic dehydration of cantaloupe using response surface methodology, *Journal of Food Processing and Preservation*, 29(1), 20–32.
- Ferreira, D., Guyot, S., Marnet, N., Delgadillo, I., Renard, C., Coimbra, M. A. (2002). Composition of phenolic compounds in a Portuguese pear (*Pyrus communis* L. var. S. Bartolomeu) and changes after sun-drying, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4537–4544.
- Fito, P., Chiralt, A., Bara, J. M., Spiess, W. E. L., Beshnilian, D. (ed) (2001). *Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation*, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
- Flink, J. M. (1979). *Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behaviour and product quality*, in: Food Process Engineering. Linko, P., Malki, Y., Olkku, J., Larinkari, J., Fito, P., Ortega, E., Barbosa, G., (eds.). Applied Science Publishers, London.
- Forni, E., Sormani, A., Scalise, S., Torreggiani, D. (1997). The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots, *Food Research International*, 30(2), 87–94.

- Fox, B., Bellini, G., & Pellegrini, L. (2014). Drying, *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook*, 283–305.
- Ganjloo, A., Rahman, R. A., Bakar, J., Osman, A., Bimakr, M. (2011). Kinetics Modeling of Mass Transfer Using Peleg's Equation During Osmotic Dehydration of Seedless Guava (*Psidium guajava* L.): Effect of Process Parameters, *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2151-2159.
- García-Martínez, E., Martínez-Monzó, J., Camacho, M. M., Martínez-Navarrete, N. (2002). Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation, *Food Research International*, 35, 307-313.
- Garg, V., Kiran, Dhiman, A., Dutt, R. (2019). Anticancer Potential of Functional and Medicinal Beverages, *Functional and Medicinal Beverages*, 11, 199–234.
- Gaspartero, O. C. P., Silva, P. D. L., Gertrudes, E. (2003). Study of conservation of banana by osmotic dehydration and drying in a conventional dryer, *J. Chemi. Eng*, 3, 25-29.
- Giannakourou, M. C., Taoukis, P. S. (2003). Stability of Dehydrofrozen Green Peas Pretreated with Nonconventional Osmotic Agents, *Journal of Food Science*, 68(6), 2002-2010.
- Giannoglou, M., Koumandraki, H., Andreou, V., Dermesonlouoglou, E., Katsaros, G., Taoukis, P. (2020). Combined Osmotic and Air Dehydration for the Production of Shelf-Stable White Cheese, *Food Bioprocess Technology*, 13, 1435–1446.
- Gilani, A. H., Mehmood, M. H., Janbaz, K. H., Khan, A., Saeed, S. A. (2008). Ethnopharmacological studies on antispasmodic and antiplatelet activities of *Ficus carica*, *Journal of Ethnopharmacology*, 119(1), 1–5.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango, *Journal of Food Engineering*, 58, 33-43.
- Giroux, F. (1992). *Conception et realisation d'un procede automatise de deshydratation impregnation par immersion*, PhD thesis ENSIA, Massy, France.

- Giroux, F., Castillo, M., Valdez-Fragoso, A. (2000). Recycling of concentrated solutions in osmotic dehydration processes and application to their automatic control, in *Proceedings of eighth international congress on engineering and food, ICEF8*, 9-13.
- Gond N. Y., Khadabadi, S. S. (2008). Hepatoprotective Activity of *Ficus carica* Leaf Extract on Rifampicin-Induced Hepatic Damage in Rats, *Indian J Pharm. Sci.*, 70(3), 364-366.
- Grabowski, S., Mujumdar, A. S. (1992). *Solar-Assisted Osmotic Dehydration*. In *Drying of Solids*, ed. Mujumdar, A.S., International Science Publisher, NY, 367–404.
- Gupta, R., Singh, B., Shivhare, U. S. (2012). Optimization of Osmo-convective Dehydration Process for the Development of Honey-ginger Candy Using Response Surface Methodology, *Drying Technology*, 30(7), 750–759.
- Haj Najafi, A., Yusof, Y. A., Rahman, R. A., Ganjloo, A., Ling, C. N. (2014). Effect of osmotic dehydration process using sucrose solution at mild temperature on mass transfer and quality attributes of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*), *International Food Research Journal*, 21(2), 625-630.
- Haug, M. T., King, E. S., Heymann, H., Crisosto, C. H. (2013). Sensory profiles for dried fig (*Ficus Carica* L.) cultivars commercially grown and processed in California, *Journal of Food Science*, 78(8), 1273–1281.
- Hawkes, J., Flink, J. M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration, *Journal of Food Processing and Preservation*, 2(4), 265-284.
- Heredia, A., Andrés, A. (2008). Mathematical Equations to Predict Mass Fluxes and Compositional Changes During Osmotic Dehydration of Cherry Tomato Halves, *Drying Technology*, 26, 873-883.
- Heredia, A., Peinado, I., Barrera, C., Grau, A. A. (2009). Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration, *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(4), 285–294.
- Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Pacheco-Angulo, H., Carmona-García, R., Ruiz-Espinosa, H., Ruiz-López, I. I. (2013). Mass transfer modeling of equilibrium and

dynamic periods during osmotic dehydration of radish in NaCl solutions, *Food and Bioproducts Processing*, 91, 216-224.

Horner, W. F. A. (2003). DRYING/ Physical and Structural Changes, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 1942–1947.

Innocenti, G., Bettero, A., Caporale, G. (1982). Determination of the coumarinic compounds of the fig leaves (*Ficus carica*) by HPLC, *Farmaco-Edizione Scientifica*, 37, 475–485.

Ispir, A., Togrul, I. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters, *Chemical Engineering Research and Design*, 87, 166-180.

Ito, A. P., Tonon, R. V., Park, K. J., Hubinger, M. D. (2007). Influence of process conditions on the mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotically dehydrated mango slices, *Drying Technology*, 25(11), 1769–1777.

Jackson, T. H., Mohamed, B. B. (1971). The shambat process – New development arising from the osmotic dehydration of fruits and vegetables, *Sudan J. Food Sci. Technol.*, 3, 18-23.

Jain, S. K., Verma, R. C., Murdia, L. K., Jain, H. K., Sharma, G. P. (2011). Optimization of process parameters for Osmotic dehydration of Papaya cubes, *Food Science and Technology*, 48, 211-217.

Jayaraman, K. S., Das Gupta, D. K. (2006). *Drying of fruits and vegetables*, in: Mujumdar, A.S. (ed.), *Handbook of Industrial Drying*, third ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida, USA. 605–634.

Jayaraman, K. S., Ramanuja, M. N., Venugopal, M. K., Leela, R. K., Bhatia, B. S. (1975). Studies on the preparation of intermediate moisture pineapple, *J. Food Sci Technol.*, 12, 309-312.

Jeong, M. R., Kim, H. Y., Cha, J. D. (2009). Antimicrobial Activity of Methanol Extract from *Ficus carica* Leaves Against Oral Bacteria, *Journal of Bacteriology and Virology*, 39(2), 97-102.

Kamiloglu, S., Capanoglu, E. (2015). Polyphenol content in figs (*Ficus carica* L.): Effect of sun-drying, *International Journal of Food Properties*, 18(3), 521–535.

- Karabulut, O. A., Ilhan, K., Arslan, U., Vardar, C. (2009). Evaluation of the use of chlorine dioxide by fogging for decreasing postharvest decay of fig, *Postharvest Biology and Technology*, 52(3), 313–315.
- Katsiferis, T., Zogzas, N., Karathanos, V. T. (2008). Mechanical properties and structure of unripe oranges during processing of “spoon sweets”, *Journal of Food Engineering*, 89, 149-155.
- Kaymak-Ertekin, F., Sultanoğlu, M. (2000). Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples, *Journal of Food Engineering*, 46, 243-250.
- Khatib, S., Vaya, J. (2010). Fig, Carob, Pistachio, and Health, *Bioactive Foods in Promoting Health*, 245–263.
- Kumar Shahdev, R., Kumar, M., Kumar Dhingra, A. (2016). A review on applications of greenhouse drying and its performance, *Agricultural Engineering International: The CIBR e-journal*, 18(2), 395-412.
- Lansky, E. P., Paavilainen, H. M. (2011). *Figs: The Genus Ficus*, CRC Press Inc., London.
- Lazarides, H. N., Katsanidis, E., Nicolaidis, A. (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake, *J. Food Engng*, 25(2), 151-166.
- Lenart, A., Lewicki, P. P. (1988). *Osmotic preconcentration of carrot tissue followed by convection drying*, in *Preconcentration and Drying of Food Materials*, ed. S. Bruin, Elsevier Science Publishing Company, New York.
- Lerici, C. R., Pepe, M., Pinnavaia, G. (1977). La disidratazione della frutta mediante osmosi, *Industria Conserve*, 52, 125-129.
- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., Mastrocola, D. (1983). Applicazione dell'osmosi diretta nella disidratazione della frutta, *Industrie Alimentari*, 3, 184-190.
- Levi, A., Gagel, S., Juven, B. J. (1983). Intermediate-moisture tropical fruit products for developing countries. I-Technological data on papaya, *J Food Technol.*, 18, 667-685.
- Lewicki, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods, *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153–163.

- Lewicki, P. P., Lukaszuk, A. (2000). Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying, *Journal of Food Engineering*, 45, 119-126.
- Maestrelli, A., Lo Scalzo, R., Lupi, D., Bertolo, G., Torreggiani, D. (2001). Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv reticulatus Naud.), *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 255–260.
- Magee, T. R. A., Hassaballah, A. A., Kc Murphy, W. R. (1983). Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions, *Zr. J Food Sci.*, 7, 145.
- Mah, S. K., Chang, C. C. H., Wu, T. Y., Chai, S. P. (2014). The study of reverse osmosis on glycerin solution filtration: Dead-end and crossflow filtrations, transport mechanism, rejection and permeability investigations, *Desalination*, 352, 66-81.
- Mastrantonio, S. D. S., Pereira, L. M., Hubinger, M. D. (2005). Osmotic dehydration kinetics of guavas in maltose solutions with calcium salt, *Alimentos e Nutrição*, 16, 309–314.
- Mat Desa, W. N., Mohammad, M., & Fudholi, A. (2019). Review of Drying Technology of Fig, *Trends in Food Science & Technology*, 88, 93-103.
- Mavlonov, G. T., Ubaidullaeva, K. A., Rakhmanov, M. I., Abdurakhmonov, I. Y., Abdukarimov, A. (2008). Chitin-binding antifungal protein from *Ficus carica* latex, *Chemistry of Natural Compounds*, 44(2), 216–219.
- Mawa, S., Husain, K., Jantan, I. (2013). *Ficus carica* L. (Moraceae): Phytochemistry, Traditional Uses and Biological Activities, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 1–8.
- McHugh, T. H., Krochta, J. M., (1994). Sorbitol- vs Glycerol- Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4), 841-845.
- Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J. A., Gonzalez-Laredo, R. F., Rocha-Guzman, N. E. (2008). Drying kinetics of nopal (*Opuntia ficus-indica*) using three different methods and

their effect on their mechanical properties, *LWT - Food Science and Technology*, 41(7), 1183–1188.

Melgarejo, P., Hernández, F., Martínez, J. J., Sánchez, J., Salazar, D. M. (2003). Organic acids and sugars from first and second crop fig juices, *Acta Horticulturae*, (605), 237–239.

Mercali, G. D., Tessaro, I. C., Noreña, C. P. Z., Marczak, L. D. F. (2010). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, shum.), *International Journal of Food Science & Technology*, 45(11), 2281–2289.

Mebatsion, H. K., Verboven, P., Ho, Q.T., Verlinden, B.E., Nicolai, B.M. (2008). Modelling fruit (micro) structures, why and how?, *Trends Food Sci Technol*, 19(2), 59–66.

Michailides, T. J., Morgan, D. P., Felts, D., Doster, M.A. (2008). Control of decay in Caprifigs and Calimyrna figs with fungicides, *Acta Horti*, 798, 269–275.

Mokhtarian, M., Heydari, Majd, M., Koushki, F., Bakhshabadi, H., Daraei Garmakhany, A., Rashidzadeh, S. (2014). Optimisation of pumpkin mass transfer kinetic during osmotic dehydration using artificial neural network and response surface methodology modeling, *Qual. Assur. Saf. Crops Foods*, 6, 201–214.

Moreira, R., Chenlo, F., Chaguri, L., Vázquez, G. (2011). Air drying and colour characteristics of chestnuts pre-submitted to osmotic dehydration with sodium chloride, *Food and Bioproducts Processing*, 89, 109-115.

Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., Vázquez, G. (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions, *LWT - Food Science and Technology*, 40(9), 1507–1514.

Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., Serra, J. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries, *Food Research International*, 33(7), 609–616.

Moreno-Castillo, E. J., Gonzalez-Garcia, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A., Abud-Archila, M. (2005). Water Diffusivity and Color of Cactus Pear Fruits (*Opuntia Ficus Indica*) Subjected to Osmotic Dehydration, *International Journal of Food Properties*, 8(2), 323–336.

- Muji, I., Kralj, M. B., Joki, S. (2014). Characterisation of volatiles in dried white varieties figs, *Ficus carica L*, 51, 1837–1846.
- Naikwadi, P. M., Chavan, U.D., Pawar, V.D., Amarowicz, R. (2010). Studies on dehydration of figs using different sugar syrup treatments, *Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 442-445.
- Nambiar, S. S., Basu, A., Shetty, N. P., Rastogi, N. K., Prapulla, S. G. (2016). 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*, 190, 139–146.
- Niness, K. R. (1999). Inulin and Oligofructose: What Are They?, *The Journal of Nutrition*, 129, 1402S-1406S.
- Ochoa-Martínez, C. I., Ayala-Aponte, A. A., (2006). Prediction of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks, *LWT*, 40, 638-645.
- Oladejo, D., Ade-Omowaye, B. I. O. Abioye-Adekanmi, O. (2013). Experimental Study on Kinetics, Modeling and Optimisation of Osmotic Dehydration of Mango (*Mangifera Indica L*), *The International Journal of Engineering and Science*, 2(4), 1-8.
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599–618.
- Osorio, C., Franco, M. S., Castaño, M. P., González-Miret, M. L., Heredia, F. J., Morales, A. L. (2007). Colour and flavor changes during osmotic dehydration of fruits, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 353-359.
- Ouchemoukh, S., Hachoud, S., Boudraham, H., Mokrani, A., Louaileche, H. (2012). Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria, *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 329–332.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B. (1998). Mass transfer modeling of the osmotic dehydration of some fruits, *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 267-284.

- Pande, G., Akoh, C. C. (2010). Organic acids, antioxidant capacity, phenolic content and lipid characterisation of Georgia-grown underutilized fruit crops, *Food Chemistry*, 120(4), 1067–1075.
- Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065–3081.
- Patil, V. V., Bhangale, S. C., Patil, V. R. (2010). Studies on immunomodulatory activity of *Ficus carica*, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(4), 97-99.
- Pavasovic. C., Stefanovic. M., Stevanovic. R. (1986). *Osmotic dehydration of fruit*, in *Drying '89*, ed. A. S. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Piga, A., Del Caro, A., Pinna, I. (2008). Osmo-Dehydration of Fruits with Five Sugars, *Acta Horti*, 798, 313-318.
- Piga, A., Pinna, I., Özer, K. B., Agabbio, M., Aksoy, U. (2004). Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): Drying kinetics and quality loss, *International Journal of Food Science and Technology*, 39(7), 793–799.
- Pigott, G., Tucker, B. (1990). *Seafood: effects of technology on nutrition*, Marcel Dekker Inc, New York.
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits, *International Food Research Journal*, 19(1), 7-18.
- Polat, A. A., Caliskan, O. (2008). Fruit characteristics of table fig (*Ficus Carica*) cultivars in subtropical climate conditions of the mediterranean region, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 36(2), 107–115.
- Ponting, J. D. (1973). Osmotic dehydration of fruits - recent modifications and application, *Proc. Biochem*, 8, 18-20.
- Ponting, J. D., Walters, G. G., Forrey, R. R., Jackson, R., Stanley, W. I. (1966). Osmotic dehydration of fruits, *Food. Technol.*, 20, 125–128.

- Prabhakar, K., & Mallika, E. N. (2014). Dried Foods, *Encyclopedia of Food Microbiology*, 574–576.
- Rahman, M. S. (ed). (2007). *Handbook of Food Preservation*, CRC Press.
- Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods, *Trends in Food Science & Technology*, 5(8), 255-260.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S. (1997). Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 34, 429–440.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer, *Trends in Food Science & Technology*, 13, 48-59.
- Rodrigues, A. C. C., Cunha, R. L., Hubinger, M. D. (2003). Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing, *Journal of Food Engineering*, 59(2-3), 129–135.
- Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N. (2007). Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying, *Journal of Food Engineering*, 80, 678–687.
- Romero Barranco, C., Brenes Balbuena, M., García, P., Garrido Fernández, A. (2001). Management of spent brines or osmotic solutions, *Journal of Food Engineering*, 49, 237-246.
- Ruiz-López, I. I., Huerta-Mora, I. R., Vivar-Vera, M. A., Martínez-Sánchez, C. E., Herman-Lara, E. (2010). Effect of Osmotic Dehydration on Air-Drying Characteristics of Chayote, *Drying Technology*, 28(10), 1201–1212.
- Sablani, S. S., Andrews, P. K., Davies, N. M., Walters, T., Saez, H., Bastarrachea, L. (2011). Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries, *Drying Technol.*, 29, 205-216.
- Sagar, V. R., Suresh Kumar, P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review, *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 15–26.

- Şahin, U., Öztürk, H. K. (2016). Effects of pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) on drying kinetics of figs (*Ficus carica* L), *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36, 104-111.
- Şahin, U., Öztürk, H. K. (2018). Comparison between Artificial Neural Network model and mathematical models for drying kinetics of osmotically dehydrated and fresh figs under open sun drying, *Journal of Food Process Engineering*, 41(5).
- Saif, S., Hanif, M. A., Rehman, R., Hanif, M., Khan, O., Khan, S. (2020). Figs, *Medicinal Plants of South Asia*, 273–286.
- Şen, F., Aksoy, U., Özer, K. B., Can, H. Z., Köseoğlu, İ., Konak, R. (2017). Impact of yearly conditions on major physical and chemical properties of fresh, semi-dried and sun-dried fig (*Ficus carica* L. ‘Sarılop’) fruit, *Acta Horticulturae*, (1173), 309–314.
- Sereno, A., Moreira, R., Martinez, E. (2001). 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.
- Sharma, A., Chen, C. R., Vu Lan, N. (2009). Solar-energy drying systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1185–1210.
- Shi, J., Le Maguer, M. (2002). Osmotic dehydration of foods: mass transfer and modeling aspects, *Food Reviews International*, 18(4), 305–335.
- Shukitt-Hale, B., Carey, A. N., Jenkins, D., Rabin, B. M., Joseph, J. A. (2007). Beneficial effects of fruit extracts on neuronal function and behavior in a rodent model of accelerated aging, *Neurobiology of Aging*, 28(8), 1187–1194.
- Silva, J. M., Cantu, M. G., Rodrigues, V., Mazutti, M. A. (2013). Influence of Osmotic Pre-treatment on Convective Drying Kinetics of Figs, *International Journal of Food Engineering*, 9(2), 187-196.
- Singh, P., Shrivastava, V., Kumar, A. (2018). Recent developments in greenhouse solar drying: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3250–3262.
- Sinha, K. K. (2003). FIGS, in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, Elsevier Science Ltd, 2394–2399.

- Slatnar, A., Klancar, U., Stampar, F., Veberic, R. (2011). Effect of Drying of Figs (*Ficus carica* L.) on the Contents of Sugars, Organic Acids, and Phenolic Compounds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11696–11702.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., Altman, A., Kerem, Z., Flaishman, M. A. (2006). Antioxidant Activities and Anthocyanin Content of Fresh Fruits of Common Fig (*Ficus carica* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7717–7723.
- Spiazzi, E., Mascheroni, R. (1997). Mass Transfer Model for Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables -I. Development of the Simulation Model, *Journal of Food Engineering*, 34, 387-410.
- Sritongtae, B., Mahawanich, T., Duangmal, K. (2011). Drying of Osmosed Cantaloupe: Effect of Polyols on Drying and Water Mobility, *Drying Technology*, 29, 527-535.
- Stover, E., Aradhya, M., Ferguson, L., Crisosto, C. H. (1975). The Fig : Overview of an ancient fruit 1083–1087.
- Su, Q., Rowley, K., Itsiopoulos, C., O’Dea, K. (2002). Identification and quantitation of major carotenoids in selected components of the Mediterranean diet: green leafy vegetables, figs and olive oil, *European Journal of Clinical Nutrition*, 56(11), 1149–1154.
- Sutton, D. C. (2014). *Figs: A Global History*, Reaktion Books, London.
- Tomás-Barberán, F. A., Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853–876.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, *Food Research International*, 26, 59-68.
- Torreggiani, D., Bertolo, G. (2004). Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration. From unit operation to innovative combined process: an overview, *Advances in Food and Nutrition Research*, 48, 173-238.
- Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry, *African Journal of Food Science*, 4(6), 303-324.

- Tsironi, T. N., Taoukis, P. S. (2014). Effect of processing parameters on water activity and shelf life of osmotically dehydrated fish filets, *Journal of Food Engineering*, 123, 188-192.
- Uddin, M. B., Ainsworth, P., İbanoğlu, Ş. (2004). Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology, *Journal of Food Engineering*, 65, 473–477.
- Uzuegbu J. O., Ukeka C. (1987). Osmotic dehydration as a method of preserving fruits to minimize ascorbic acid loss, *J Food Agric*, 1, 187-188.
- Valdez-Fragoso, A., Welte-Chancs, J., Giroux, F. (1998). Properties of a Sucrose Solution Reused in Osmotic Dehydration of Apples, *Drying Technology*, 16(7), 1429-1445.
- Vallejo, F., Marín, J. G., Tomás-Barberán, F. A. (2012). Phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.), *Food Chemistry*, 130(3), 485–492.
- Vanham, D., Bouraoui, F., Leip, A., Grizzetti, B., Bidoglio, G. (2015). Lost water and nitrogen resources due to EU consumer food waste, *Enviromental Research Letters*, 10.
- Van Loo, J., Coussement, P., De Leenheer, L., Hoebregs, H. & Smits, G. (1995). On the presence of Inulin and Oligofructose as natural ingredients in the western diet, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35(6), 525-552.
- Vasconcelos, J. I. L. A., Andrade, S. A. C., Maciel, M. I. S., Guerra, N. B., Vasconcelos, M. A. S. (2012). Osmotic dehydration of the Indian fig (*Opuntia ficus indica*) with binary and ternary solutions, *International Journal of Food Science & Technology*, 47(11), 2359–2365.
- Veberic, R., Colaric, M., Stampar, F. (2008). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region, *Food Chemistry*, 106(1), 153–157..
- Veberic, R., Jakopič, J., Stampar, F. (2008). Internal fruit quality of figs (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region, *Italian Journal of Food Science*, 20(2), 255–262..
- Veberic, R., Mikulic-Petkovsek, M. (2016). Phytochemical Composition of Common Fig (*Ficus carica* L.) Cultivars, *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, 235–255.

- Vemmos, S. N., Petri, E., Stournaras, V. (2013). Seasonal changes in photosynthetic activity and carbohydrate content in leaves and fruit of three fig cultivars (*Ficus carica* L.), *Scientia Horticulturae*, 160, 198–207.
- Venditti, T., Molinu, M. G., Dore, A., Hallewin, G. D., Fiori, P., Tedde, M., Agabbio, M. (2005). Treatments with gras compounds to keep fig fruit (*Ficus carica* L.) quality during cold storage, *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, 70, 339–343.
- Villalobos, M. C., Serradilla, M. J., Martín, A., Pereira, C., López-Corrales, M., Córdoba, M. G. (2016). Evaluation of different drying systems as an alternative to sun drying for figs (*Ficus carica* L), *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 156–165.
- Vinson, J. A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., Proch, J. (2005). Dried Fruits: Excellent in Vitro and in Vivo Antioxidants, *Journal of the American College of Nutrition*, 24(1), 44–50.
- Waliszewski, K., Cortés, H. D., Pardo, V. T., Garcia, M. A. (1999). Color parameter changes in banana slices during osmotic dehydration, *Drying Technology*, 17(4-5), 955–960.
- Weidmann, M., Jager, M. (1997). Synergistic sweeteners, *Food Ingredients Int.*, 51–56.
- Wojdyło, A., Figiel, A., Oszmiański, J. (2009). Effect of Drying Methods with the Application of Vacuum Microwaves on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Activity of Strawberry Fruits, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1337–1343.
- Xanthopoulos, G., Yanniotis, S., Lambrinos, G. (2009). Water diffusivity and drying kinetics of air drying of figs, *Drying Technology*, 27(3), 502–512.
- Yadav, A. K., Singh, S. V. (2012). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review, *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1654–1673.
- Yemiş, O., Bakkalbaşı, E., Artık, N. (2012). Changes in pigment profile and surface colour of fig (*Ficus carica* L.) during drying, *International Journal of Food Science & Technology*, 47(8), 1710–1719.
- Αναγνωστοπούλου, Α., Ταλέλλη, Α. (2008). *Τεχνολογία & Ποιότητα Φρούτων & Λαχανικών*, Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

Λάζος, Ε. Σ., Λάζου, Α. Ε. (2016). *Επεξεργασία Τροφίμων 2, Διεργασίες συντηρήσεως με φυσικοχημικές, βιολογικές, νέες & αναδυόμενες τεχνολογίες*, Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.

<https://www.atticafigs.gr/>

<https://biologydictionary.net/glycerol/>

<https://www.chemicalsafetyfacts.org/glycerol/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Common_fig

<https://en.wiktionary.org/wiki/caprifig>

<https://www.fourwindsgrowers.com/>

<https://karpos.gr/>

<http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/crop-production/oporokipeytika/854-syka>

<https://moisturecontrol.weebly.com/>

<https://www.morningagclips.com/>

https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-open-air-sun-drying-and-greenhouse-solar-drying-in-Thailand-A_fig1_341370850

<https://scancotec.com/>

<http://www.spsystem.com/>

<https://www.sykakymis.gr/>

<https://www.thecultureconcept.com/>

<https://www.youtube.com/watch?v=ldgT3q7xa58>