



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ  
ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων



Αξιοποίηση ζωικών  
παραπροϊόντων για  
παραγωγή καινοτόμων  
προϊόντων διατροφής  
ζώων συντροφιάς

Ραβάνη Ελένη

**Διπλωματική Εργασία**

**Επιβλέπων: Πέτρος Ταούκης,**  
**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, 2023



## Πρόλογος

Το παρόν πόνημα αποτελεί την διπλωματική εργασία της προπτυχιακής φοιτήτριας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Ραβάνη Ελένης. Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Πέτρου Ταούκη.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Πέτρο Ταούκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντας μου την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την συνεργασία μας, για την καθοδήγηση του, καθώς και για τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μου προσέφερε καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Διδάκτορα Μαρία Τσεβδού και τον Διδάκτορα Γεώργιο Δημόπουλο, για τη συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας μελέτης. Χωρίς την πολύτιμη βοήθεια τους δεν θα ήταν ίδια αυτή η διαδρομή. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα Αλέξανδρο Βασίλειο Κατσιμίχα και τον Υποψήφιο Διδάκτορα Αθανάσιο Λημναίο, για την σπουδαία βοήθεια και το φιλικό κλίμα που δημιούργησαν από την πρώτη στιγμή που βρέθηκα στο εργαστήριο.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω ένα θερμό ευχαριστώ σε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, για το ευχάριστο κλίμα συνεργασίας, αλληλεγγύης και ομαδικότητας που δημιούργησαν.

Ακόμα, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους καλούς μου φίλους που με στήριξαν, και έκαναν την φοίτηση μου ξεχωριστή, γεμίζοντας την όμορφες στιγμές, που δεν θα ξεχαστούν ποτέ. Τέλος, μέσα από την καρδιά μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, η οποία με στήριξε και συνεχίζει να με στηρίζει σε κάθε μου βήμα.

*Ραβάνη Ελένη*

*Σεπτέμβριος, 2023*

## Περίληψη

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση των τελευταίων χρόνων για προϊόντα κρέατος έχει οδηγήσει σε ταχεία αύξηση της ζωικής παραγωγής παγκοσμίως. Η αύξηση της ζωικής παραγωγής με τη σειρά της, αυξάνει την ποσότητα των παραπροϊόντων που προκύπτουν. Τα ζωικά παραπροϊόντα (Animal By-Products ABPs) ορίζονται ως υλικά ζωικής προέλευσης που οι άνθρωποι δεν καταναλώνουν και ο κύριος κλάδος παραγωγής τους είναι τα σφαγεία ζώων. Με στόχο την αποφυγή απόρριψής τους, έχουν βρεθεί διάφορες εναλλακτικές χρήσεις τους, όπως αυτή της παραγωγής διατροφικών προϊόντων για κατοικίδια ζώα. Μία κατηγορία αυτών των προϊόντων, η οποία απευθύνεται σε σκύλους και μπορεί να χρησιμοποιήσει ABPs ως πρώτη ύλη, είναι οι μασώμενες λιχουδιές. Οι μασώμενες λιχουδιές είναι οι πιο διαδεδομένες λιχουδιές για σκύλους, αφού εκτός από την απασχόληση του κατοικίδιου, προάγουν την οδοντική υγεία του και θεωρούνται η πιο φυσική και υγιεινή επιλογή λιχουδιάς, καθώς συνήθως αποτελούνται αποκλειστικά από φυσικά συστατικά και έχουν λάβει τη λιγότερη δυνατή επεξεργασία.

Η διεργασία αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται βιομηχανικά για την παραγωγή των μασώμενων λιχουδιών, που έχουν ως πρώτη ύλη ABPs, είναι η ξήρανση με θερμό αέρα. Ωστόσο, αυτή η διεργασία εκτός των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων, υποβαθμίζει ταυτόχρονα το τρόφιμο, ως προς τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά. Για την άμβλυνση αυτών των επιπτώσεων, μπορεί να εφαρμοστεί ως προκατεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, η ωσμωτική αφυδάτωση. Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μέθοδο μερικής απομάκρυνσης νερού από τα τρόφιμα, μέσω εμβάπτισης του προϊόντος σε υπερτονικό διάλυμα, και έχει φανεί ικανή να διατηρεί περισσότερο τη γεύση και τα αρώματα του προϊόντος, συγκριτικά με τη συμβατική ξήρανση, ενώ ταυτόχρονα αποφεύγεται η επιβάρυνση των υψηλών θερμοκρασιών για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε φρούτα και λαχανικά, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες πάνω και σε ζωικούς ιστούς, με ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου ή της θερμοκρασίας ξήρανσης.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, σε δύο προϊόντα μασώμενων λιχουδιών, ένα με πρώτη ύλη καθαρισμένο, χωρίς τρίχωμα αυτί κουνελιού, και ένα με καθαρισμένο, ξυρισμένο δέρμα κεφαλής μόσχου, με στόχο την παραγωγή τελικού προϊόντος σε μειωμένο χρόνο ξήρανσης και με χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε χαρακτηρισμός της πρώτης ύλης σε πρωτεΐνες, λιπαρά και τέφρα. Ο προσδιορισμός πρωτεϊνών έγινε μέσω ολικής υδρόλυσης των πρωτεϊνών και προέκυψαν για το αυτί κουνελιού  $18.4 \pm 0.1$  % και για το δέρμα κεφαλής μόσχου  $15.8 \pm 0.1$  % σε νωπή βάση. Ο προσδιορισμός λιπαρών πραγματοποιήθηκε μέσω εκχύλισης και απόσταξη του εκχυλίσματος υπό κενό, και προέκυψαν για το αυτί κουνελιού 5.8 % και για το δέρμα κεφαλής μόσχου 6.4 % σε νωπή βάση. Για τον προσδιορισμό της τέφρας πραγματοποιήθηκε καύση του δείγματος και προέκυψαν για το αυτί κουνελιού  $1.3 \pm 0.07$  % και για το δέρμα κεφαλής μόσχου  $0.42 \pm 0.002$  % σε νωπή βάση.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην πρώτη ύλη, με ωσμωτικό μέσο με βάση τη γλυκερόλη. Οι περιεκτικότητες διαλύματος σε γλυκερόλη που μελετήθηκαν είναι 40% και 60% w/w, η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα επιλέχθηκε 1:5 και το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου. Η πρώτη ύλη

εξετάστηκε ως προς την απώλεια νερού WL και την πρόσληψη στερεών SG, σε χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης από 0 έως 180 min, και η μεταβολή και των δύο μεγεθών περιγράφηκε μαθηματικά με χρήση εξίσωσης πρώτης τάξης. Κατάλληλη διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης για το κάθε δείγμα ορίστηκε το σημείο που η μεταβολή των μεγεθών αρχίζει να είναι στατιστική μη σημαντική. Για το αυτί κουνελιού, τόσο για διάλυμα περιεκτικότητας γλυκερόλης 40%, όσο και για 60% w/w κρίθηκε η 1 h, με WL 1.38 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος και SG 0.74 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος, και WL 1.75 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος, και SG 0.71 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος, αντίστοιχα. Για το δέρμα κεφαλής μόσχου, με διάλυμα περιεκτικότητας γλυκερόλης 40% w/w, κατάλληλος χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης κρίθηκαν οι 2 h με WL 0.83 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος και SG 0.40 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος. Ενώ με διάλυμα περιεκτικότητας γλυκερόλης 60%, κατάλληλη χρονική διάρκεια κρίθηκε η 1 h και προέκυψε προϊόν με WL 0.84 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος και SG 0.48 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος.

Επίσης, στην περίπτωση του αυτιού κουνελιού δοκιμάστηκε η προσθήκη κοινού φυτικού ενζύμου παπαΐνης, με στόχο την ενίσχυση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η ποσότητα ενζύμου που προστέθηκε υπολογίστηκε να αντιστοιχεί σε 10% πρωτεόλυση. Τα δείγματα που εξετάστηκαν διακρίθηκαν σε τέσσερις περιπτώσεις προκατεργασίας, με εμβάπτιση σε νερό, σε ενζυμικό διάλυμα, σε ωσμωτικό διάλυμα (40-60% w/w γλυκερόλη) και σε ωσμωτικό διάλυμα με ένζυμο (40-60% w/w γλυκερόλη) και ακολούθησε η ξήρανση τους στους 60 °C για 24 h. Η προκατεργασία διήρκησε για όλα τα δείγματα 1 h στους 40 °C και η αναλογία δείγματος προς διάλυμα ήταν 1:5. Τα δείγματα εξετάστηκαν ως προς την ενεργότητα νερού και την περιεχόμενη υγρασία μετά την ξήρανση και προέκυψε ότι ο συνδυασμός ωσμωτικού μέσου με το ένζυμο, φαίνεται να καθυστερεί την απομάκρυνση του νερού και για αυτόν το λόγο κρίθηκε μη αποτελεσματική.

Στην περίπτωση του δέρματος κεφαλής μόσχου μελετήθηκε η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας κατά την ξήρανση, σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης (40-60% w/w γλυκερόλη) για την κατάλληλη χρονική διάρκεια που προέκυψε από την μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης, και χωρίς προκατεργασία. Η ξήρανση διήρκησε 24 h και μελετήθηκαν θερμοκρασίες ξήρανσης από 40 °C έως 90 °C. Η μεταβολή της υγρασίας με το χρόνο ξήρανσης περιγράφηκε μαθηματικά με χρήση εκθετικού μοντέλου πρώτης τάξης. Η εξάρτηση της σταθεράς του μοντέλου από τη θερμοκρασία ξήρανσης περιγράφηκε μέσω της εξίσωσης Arrhenius. Μέσω των εξισώσεων που προέκυψαν κατασκευάστηκε συνδυαστική εξίσωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόρρηση της μεταβολής της υγρασίας του προϊόντος για οποιοδήποτε χρόνο και θερμοκρασία ξήρανσης.

Έπειτα, με στόχο την μελέτη επίδρασης της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην ξήρανση με θερμό αέρα, μελετήθηκε η ξήρανση τόσο των αυτιών κουνελιού, όσο και του δέρματος κεφαλής μόσχου, ως προς την ενεργότητα νερού και την περιεχόμενη υγρασία τους, σε φούρνο με σταθερή ταχύτητα αέρα 0.1 m/s και αυξανόμενο θερμοκρασιακά προφίλ από τους 40 °C μέχρι τους 90 °C. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν χωρίς καμία προκατεργασία, και με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για την κατάλληλη χρονική διάρκεια που προέκυψε για κάθε συνθήκη (περιεκτικότητα σε γλυκερόλη 40-60% w/w) και

πρώτη ύλη (αυτί και δέρμα). Η μεταβολή ενεργότητας νερού με το χρόνο ξήρανσης προσεγγίστηκε με το πολυωνυμικό μοντέλο  $a_{w_0} - a_w = c * t^2$ , ενώ η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας για αυτιά κουνελιού με το εκθετικό μοντέλο  $W = a * e^{-k*t}$ . Για το δέρμα κεφαλής μόσχου η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας περιγράφηκε μαθηματικά με τη συνδυαστική εξίσωση που προέκυψε από την προηγούμενη μελέτη. Για το αυτί κουνελιού οι χρόνοι ξήρανσης που εξετάστηκαν είναι 24, 16 και 10 h, και προέκυψαν τελικά προϊόντα με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h, με ωσμωτικό μέσο 40% w/w γλυκερόλη και 10 h ξήρανση με θερμό αέρα, με ωσμωτικό μέσο 60% w/w γλυκερόλη και 9 h ξήρανση με θερμό αέρα, έναντι control προϊόντος με 21 h ξήρανση, χωρίς προκατεργασία. Για το δέρμα κεφαλής μόσχου εξετάστηκε ξήρανση 24 h και προέκυψαν τελικά προϊόντα με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για 2 h με ωσμωτικό μέσο 40% w/w γλυκερόλη, είτε για 1 h με ωσμωτικό μέσο 60% w/w γλυκερόλη και 15 h ξήρανση με θερμό αέρα, έναντι control προϊόντος με 21 h ξήρανση, χωρίς προκατεργασία.

Στο τελευταίο στάδιο του πειράματος, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της απαιτούμενης ενέργειας για την ξήρανση κάθε τελικού προϊόντος που είχε προκύψει. Το μέγεθος που μελετήθηκε σε σχέση με την ενέργεια ήταν η ενεργότητα νερού του προϊόντος, αφού αυτό φάνηκε να είναι το περιοριστικό μέγεθος στη ξήρανση, τόσο στην περίπτωση των αυτιών κουνελιού, όσο και στο δέρμα κεφαλής μόσχου. Για το αυτί κουνελιού, στην περίπτωση ωσμωτικού διαλύματος 40% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη προέκυψε απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης 7.79 MJ/kg τελικού προϊόντος, ενώ στην περίπτωση περιεκτικότητας γλυκερόλης 60% w/w, 5.69 MJ/kg τελικού προϊόντος, συγκριτικά με την απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης των δειγμάτων χωρίς προκατεργασία, που ήταν 19.1 MJ/kg τελικού προϊόντος. Για το δέρμα κεφαλής μόσχου, και στις δύο περιπτώσεις ωσμωτικής αφυδάτωσης προέκυψε απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης 3.27 MJ/kg τελικού προϊόντος, από αρχική ενέργεια ξήρανσης των δειγμάτων χωρίς προκατεργασία 6.4 MJ/kg τελικού προϊόντος.

Συμπερασματικά, η παραγωγή προϊόντων διατροφής για κατοικίδια, μέσω της αξιοποίησης ζωικών παραπροϊόντων μπορεί να πραγματοποιηθεί εναλλακτικά με τη χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα. Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο, που ελαττώνει την ενεργότητα νερού και την περιεχόμενη υγρασία (%) τόσο των προϊόντων αυτιού κουνελιού, όσο και του δέρματος κεφαλής μόσχου, μειώνοντας τον χρόνο ξήρανσης και εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας ανά μάζα τελικού προϊόντος που παράγεται. Ταυτόχρονα, μέσω της εφαρμογής της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιτυγχάνεται αύξηση της διατηρησιμότητας του τελικού προϊόντος. Η δυνατότητα πρόσληψης επιθυμητών στερεών, πέραν της συμβολής στην προστασία του προϊόντος από ανεπιθύμητες αντιδράσεις, μπορεί να συντελέσει στην επίτευξη πρόσθετων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (αρώματος, γεύσης, υφής).

## Valorization of animal by-products for the production of innovative pet foods

The increasing demand for meat products in recent years has led to a rapid increase in animal production worldwide. The increase in animal production in turn increases the amount of by-products generated. Animal By-Products (ABPs) are defined as materials of animal origin that are not consumed by humans and their main source is slaughterhouses. In order to avoid their disposal, various alternative uses have been proposed, such as the production of pet food products. One category of such products, which is aimed at dogs and can use ABPs as raw material, is chewable treats. Chewable treats are the most widely used treats for dogs, because they not only keep the pet occupied, but also promote its dental health and are considered the most natural and healthy choice of treats, as they are usually composed exclusively of natural ingredients and have received the least amount of processing.

The dehydration process used industrially to produce chewy treats include hot air drying. However, this process apart from the high energy requirements, also degrades the product in terms of its quality characteristics. In order to mitigate these effects, osmotic dehydration can be applied as a pre-treatment for hot air drying. Osmotic dehydration is a method of partially removal of water from foodstuffs by immersion of the product in a hypertonic solution and has been shown to be able to preserve the flavor and aroma of the product longer than conventional drying, while avoiding exposure to high temperatures for long periods of time. Osmotic dehydration has been used mainly on fruits and vegetables, while in recent years research has been carried out on animal tissues, with encouraging results in terms of reducing the required drying time and temperature.

The aim of this thesis is to study osmotic dehydration as a pre-treatment of hot air drying in two chewy treat products, one with raw material of cleaned, hairless rabbit ear and one with cleaned, shaved calf head skin, in order to produce a final product with reduced drying time and low energy requirements.

Initially, the raw material was characterized in terms of protein, fat and ash. Protein determination was performed by total protein hydrolysis and resulted in  $18.4 \pm 0.1$  % w/w for rabbit ear and  $15.8 \pm 0.1$  % w/w for calf head skin on a wet basis. Fat determination was carried out by extraction and vacuum distillation of the extract, yielding 5.8 % w/w for rabbit ear and 6.4 % w/w for calf head skin on a wet basis. For the determination of ash, the sample was burnt to give  $1.3 \pm 0.07$  % w/w for rabbit ear and  $0.42 \pm 0.002$  % w/w for calf head hide on a wet basis.

Then, the study of osmotic dehydration in the raw material was carried out using glycerol-based osmotic agent. The glycerol content studied were 40% and 60% w/w, the sample to osmotic solution ratio was chosen 1:5 and the experiment was run at room temperature. The raw material was examined in terms of water loss (WL) and solid gain (SG), at osmotic dehydration times from 0 to 180 min, and the variation of both quantities was described mathematically using a first order equation. The suitable duration of osmotic dehydration for each sample was defined as the point at which the variation of the quantities starts to be statistically non-significant. For rabbit ear, for both 40% and 60% w/w glycerol content solutions, the suitable duration was 1 h, with WL 1.38 g water removed to dry weight of original raw sample and SG 0.74 g solids taken up to dry weight of original raw sample, and

WL 1.75 g water removed to dry weight of original raw sample, and SG 0.71 g solids taken up to dry weight of original raw sample, respectively. For calf head skin, with a 40% w/w glycerol solution, a suitable osmotic dehydration time was 2 h with WL 0.83 g water removed per dry weight of original raw sample and SG 0.40 g solids taken up per dry weight of original raw sample. While with 60% glycerol solution, a suitable time duration was 1 h with WL 0.84 g water removed per dry weight of original raw sample and SG 0.48 g solids taken up per dry weight of original raw sample.

Also, in the case of rabbit ear, the addition of a common plant enzyme papain was tested to enhance osmotic dehydration. The amount of enzyme added was calculated to correspond to 10% proteolysis. The samples tested were divided into four pretreatment cases, by immersion in water, in enzyme solution, in osmotic solution (40-60% w/w glycerol) and in osmotic solution with enzyme (40-60% w/w glycerol), followed by drying at 60 °C for 24 h. The pretreatment in all samples was performed for 1 h at 40 °C and the sample to solution ratio was 1:5. The samples were tested for water activity and moisture content after drying and it was found that the combination of osmotic medium with the enzyme treatment seems to delay the removal of water and was therefore considered ineffective.

In the case of calf head leather, the change in moisture content during drying was studied at different drying temperatures. The samples tested were with osmotic dehydration pretreatment (40-60% w/w glycerol) for the appropriate time duration obtained from the osmotic dehydration study, and without pretreatment. Drying performed for 24 h and drying temperatures from 40 °C to 90 °C were studied. The change in moisture content with drying time was described mathematically using a first-order exponential model. The dependence of the model constant on drying temperature was described by means of the Arrhenius equation. Through the resulting equations, a combinatorial equation was constructed that can be used to predict the change in moisture content of the product for any drying time and temperature.

Then, in order to study the effect of osmotic dehydration on hot air drying, the drying of both rabbit ears and calf head skin was studied in terms of water activity and moisture content in an oven with a constant air velocity of 0.1 m/s and an increasing temperature profile from 40 to 90 °C. The samples tested were without any pretreatment and pretreated by osmotic dehydration for the appropriate time duration obtained for each condition (glycerol content 40-60% w/w) and raw material (ear and skin). The variation of water activity with drying time was described by the polynomial model  $a_{w_0} - a_w = c * t^2$ , while the variation of moisture content for rabbit ears was described by the exponential model  $W = a * e^{-k*t}$ . For calf head skin, the variation of moisture content was described mathematically by the combinatorial equation derived from the previous study. For rabbit ear, the drying times considered were 24, 16 and 10 h, and the final products were obtained with 1 h osmotic dehydration pretreatment, with 40% w/w glycerol as an osmotic agent and 10 h hot air drying, with 60% w/w glycerol as an osmotic agent and 9 h hot air drying, versus control product with 20 h drying, without pretreatment. For calf head skin, 24 h drying was tested and final products were obtained by pre-treatment of osmotic dehydration for 2 h with 40% w/w glycerol as an osmotic agent, or 1 h with 60% w/w glycerol as an osmotic agent and 15 h hot air drying, compared to a control product with 24 h drying without pre-treatment.



In the final stage, the energy required to dry each of the resulting final products was calculated. The quantity studied in relation to energy was the water activity of the product, since this appeared to be the limiting variable in drying, both in the case of rabbit ears and in the case of calf head skin. For rabbit ear, in the case of an osmotic solution of 40% w/w glycerol content, a required drying energy of 7.79 MJ/kg of final product was obtained, while in the case of 60% w/w glycerol content, 5.69 MJ/kg of final product, compared to the required drying energy of the samples without pretreatment, which was 19.1 MJ/kg of final product. For calf head hide, both cases of osmotic dehydration resulted in a required drying energy of 3.27 MJ/kg of final product, compared to an initial drying energy of 6.4 MJ/kg of finished product for the samples without pretreatment.

In conclusion, the production of pet food products through the utilization of animal by-products can be realized alternatively by using osmotic dehydration as a pre-treatment for hot air drying. Osmotic dehydration is an efficient method, which reduces the water activity and moisture content (%) of both rabbit ear and calf head skin products, reducing drying time and saving large amounts of energy per mass of final product produced. At the same time, through the application of osmotic dehydration, the shelf life of the final product is increased. In addition to contributing to the protection of the product from undesirable reactions, the possibility of adding desirable solids can contribute to the achievement of additional organoleptic characteristics (aroma, flavour, texture).

## Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Παραπροϊόντα Σφαγείων.....	1
1.1 Ζωικά Παραπροϊόντα .....	1
1.2 Παραγωγή Παραπροϊόντων Σφαγείων.....	2
1.3 Απόρριψη Παραπροϊόντων Σφαγείων .....	3
1.3.1 Υγειονομική Ταφή.....	3
1.3.2 Αποτέφρωση .....	3
1.4 Εναλλακτικές Χρήσεις Παραπροϊόντων Σφαγείων .....	3
1.4.1 Παραγωγή οργανικών λιπασμάτων και βελτιωτικών εδάφους.....	4
1.4.2 Ζωοτροφές .....	4
1.4.3 Παραγωγή ζωικής κόλλας .....	4
1.4.4 Ιατρικές, Φαρμακευτικές και Καλλυντικές Εφαρμογές .....	5
1.4.5 Παραγωγή βιοενέργειας.....	6
1.4.6 Παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων .....	7
1.4.7 Τροφές για κατοικίδια (Pet Food) .....	7
Κεφάλαιο 2: Διατροφικά Προϊόντα Κατοικίδιων (Pet Food).....	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Νόμοι και Κανονισμοί.....	9
2.3 Ξηρές Τροφές .....	11
2.3.1 Ξηρές Τροφές μέσω Εξώθησης (Extruder).....	11
2.3.2 Ξηρές Τροφές μέσω Ψυχρής Συμπίεσης (Cold Pressed).....	12
2.3.3 Ξηρές Τροφές μέσω Ξήρανσης με Αέρα (Air Dried) .....	12
2.3.4 Ξηρές Τροφές μέσω Λυοφιλίωσης (Freeze Dried) .....	12
2.4 Υγρές Τροφές .....	12
2.4.1 Πατέ .....	13
2.4.2 Κομμάτια σε ζελέ (Chunks in Jelly) .....	13
2.5 Ημι- υγρές Τροφές.....	13
2.6 Ωμές Τροφές .....	15
2.7 Φρέσκες Τροφές.....	15
2.8 Treats και Snacks (λιχουδιές).....	15
2.8.1 Οδοντικά Μασήματα .....	16
2.8.2 Μασώμενες λιχουδιές .....	16
2.8.3 Μπισκότα .....	16
2.8.4 Ημι-υγρές λιχουδιές.....	16
2.8.5 Μασήματα ακατέργαστου δέρματος .....	17

Κεφάλαιο 3: Διεργασίες Αφυδάτωσης.....	18
3.1 Εισαγωγή.....	18
3.2 Ηλιακή ή Υπαίθρια Ξήρανση.....	18
3.3 Αφυδάτωση με Θερμό Αέρα.....	18
3.4 Αφυδάτωση με Τύμπανο.....	19
3.5 Αφυδάτωση με Ψεκάσμο.....	19
3.6 Αφυδάτωση με Κατάψυξη ή Λυοφιλοποίηση.....	20
3.7 Αφυδάτωση με Μικροκύματα.....	21
3.8 Ωσμωτική Αφυδάτωση.....	21
3.8.1 Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	21
3.8.2 Παράγοντες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	24
3.8.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	26
3.8.4 Προηγούμενες Μελέτες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης σε Ζωικούς Ιστούς.....	28
Κεφάλαιο 4: Υλικά και Μέθοδοι.....	32
4.1 Εισαγωγή.....	32
4.2 Προσδιορισμός Πρωτεϊνών.....	32
4.3 Προσδιορισμός Λιπαρών.....	33
4.4 Προσδιορισμός Τέφρας.....	34
4.5 Μελέτη Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	35
4.5.1 Συνθήκες και Διεργασία Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	35
4.5.2 Προσδιορισμός Χαρακτηριστικών Μεγεθών της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	37
4.6 Μελέτη Ξήρανσης με Θερμό Αέρα.....	38
4.7 Μελέτη Ξήρανσης Αυτιών με την Προσθήκη Ενζύμου στο Ωσμωτικό Μέσο.....	40
4.8 Κινητικές Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου για Διάφορες Θερμοκρασίες.....	41
4.9 Υπολογισμός της Κατανάλωσης Ενέργειας κατά την Ξήρανση.....	41
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων.....	43
5.1 Χαρακτηρισμός Πρώτης Ύλης.....	43
5.2 Διάκριση Αυτιού Κουνελιού.....	43
5.3 Κινητική Ωσμωτικής Αφυδάτωσης Αυτιών Κουνελιού.....	45
5.4 Μελέτη Επίδρασης Ενζύμου στην Ξήρανση Αυτιών Κουνελιού.....	49
5.4.1 Ενεργότητα Νερού.....	49
5.4.2 Περιεχόμενη Υγρασία.....	51
5.5 Κινητική Ξήρανσης Αυτιών Κουνελιού.....	53
5.5.1 Προσομοίωση Προγράμματος Ξήρανσης για 16 ώρες.....	53
5.5.2 Προσομοίωση Προγράμματος Ξήρανσης για 10 ώρες.....	57
5.6 Κινητική Ωσμωτικής Αφυδάτωσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου.....	60

5.7 Κινητική Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου σε Διάφορες Θερμοκρασίες.....	65
5.8 Κινητική Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου .....	70
5.8.1 Μεταβολή Ενεργότητας Νερού κατά το Ψήσιμο .....	70
5.8.2 Μεταβολή Περιεχόμενης Υγρασίας κατά το Ψήσιμο .....	72
5.9 Υπολογισμός Ενέργειας Ξήρανσης .....	74
5.9.1 Υπολογισμός Ενέργειας Ξήρανσης Αυτιών Κουνελιού .....	74
5.9.2 Υπολογισμός Ενέργειας Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου .....	75
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα .....	78
Βιβλιογραφία.....	82

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά ξηρών, ημι-υγρών και υγρών τροφών για σκύλους .....	14
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά μεγέθη νωπού αυτιού κουνελιού και νωπού δέρματος κεφαλής μόσχου.....	43
Πίνακας 3: Συντελεστές εκθετικού μοντέλου για μεταβολή WL και SG αυτιών με χρόνο ώσμωσης σε 40% και 60% περιεκτικότητα γλυκερόλης ωσμωτικού διαλύματος .....	47
Πίνακας 4: Τιμές WL και SG αυτιών κουνελιού για 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% και 60% w/w γλυκερόλη.....	49
Πίνακας 5: Συντελεστές γραμμικού μοντέλου για την μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών με το χρόνο ξήρανσης στους 60 °C για διαφορετικές προκατεργασίες.....	50
Πίνακας 6: Συντελεστές εκθετικού μοντέλου για την μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας αυτιών με το χρόνο ξήρανσης στους 60 °C για διαφορετικές προκατεργασίες .....	52
Πίνακας 7: Πρόγραμμα ξήρανσης αυτιών κουνελιού παραγωγού για 24 h ξήρανση.....	53
Πίνακας 8: Πρόγραμμα ξήρανσης αυτιών κουνελιού για 16 h ξήρανση με βάση το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού.....	54
Πίνακας 9: Συντελεστές c και συντελεστές προσαρμογής του πολυωνυμικού μοντέλου για την μεταβολή $a_w$ στην 16 h ξήρανση για δείγματα (CNT) και (60%).....	54
Πίνακας 10: Συντελεστές k του εκθετικού μοντέλου για την μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) στην 16 h ξήρανση με μεταβαλλόμενη θερμοκρασία για δείγματα χωρίς προκατεργασία (CNT) και με προκατεργασία 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με 60% w/w περιεκτικότητας γλυκερόλης (60%) .....	56
Πίνακας 11: Πρόγραμμα ξήρανσης αυτιών κουνελιού για 10 h ξήρανση με βάση το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού.....	57
Πίνακας 12: Συντελεστές c και συντελεστές προσαρμογής του πολυωνυμικού μοντέλου για την μεταβολή $a_w$ στην 10 h ξήρανση για δείγματα (CNT), (40%) και (60%).....	58
Πίνακας 13: Συντελεστές k του εκθετικού μοντέλου για την μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) στην 10 h ξήρανση με μεταβαλλόμενη θερμοκρασία για δείγματα χωρίς προκατεργασία (CNT) και με προκατεργασία 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με 40% και 60% w/w περιεκτικότητας γλυκερόλης (40%) και (60%).....	59
Πίνακας 14: Συντελεστές k εκθετικού μοντέλου για μεταβολή WL και SG δέρματος με χρόνο ώσμωσης σε 40% και 60% περιεκτικότητα γλυκερόλης ωσμωτικού διαλύματος .....	63
Πίνακας 15: Τιμές WL και SG δέρματος κεφαλής μόσχου για 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% και για 2 h με ωσμωτικό διάλυμα 40% w/w γλυκερόλη .....	65
Πίνακας 16: Συντελεστές εκθετικού μοντέλου θερμοκρασιών 40 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C και 90 °C για δείγματα (CNT), (40%) και (60%) .....	67
Πίνακας 17: Σταθερές ρυθμού ξήρανσης, Ενέργειες ενεργοποίησης, σταθερές $k_0$ και συντελεστές προσδιορισμού της εξίσωσης Arrhenius για δείγματα δέρματος (CNT), (40%) και (60%) .....	69
Πίνακας 18: Πρόγραμμα ξήρανσης δέρματος κεφαλής μόσχου για 24 h με βάση το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού.....	70
Πίνακας 19: Συντελεστές c και συντελεστές προσαρμογής του πολυωνυμικού μοντέλου για την μεταβολή $a_w$ δέρματος κεφαλής μόσχου στην 24 h ξήρανση για δείγματα (CNT), (40%) και (60%).....	71
Πίνακας 20: Απαιτούμενες ενέργειες ξήρανσης για αυτιά κουνελιού (CNT), (40%) και (60%)....	75
Πίνακας 21: Απαιτούμενες ενέργειες ξήρανσης για δέρμα κεφαλής μόσχου (CNT), και ωσμωμένων .....	76

## Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Καμπύλη αναφοράς πρωτοκόλλου μέτρησης πρωτεϊνών.....	33
Διάγραμμα 2: Κατανάλωση ενέργειας Ξηραντήρα ανάλογα τη θερμοκρασία.....	42
Διάγραμμα 3: Περιεχόμενη υγρασία (%) σε υγρή βάση κατά τη διάρκεια της ξήρανσης αυτιών κουνελιού σύμφωνα με το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού σε τρία σημεία του αυτιού .....	44
Διάγραμμα 4: Ενεργότητα νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης αυτιών κουνελιού σύμφωνα με το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού σε τρία σημεία του αυτιού .....	44
Διάγραμμα 5: Μεταβολή WL αυτιού κουνελιού με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης .....	45
Διάγραμμα 6: Μεταβολή SG αυτιού κουνελιού με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	45
Διάγραμμα 7: Μεταβολή κλάσματος WL αυτιών με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη .....	46
Διάγραμμα 8: Μεταβολή κλάσματος SG αυτιών με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη .....	47
Διάγραμμα 9: Θεωρητικά και πειραματικά WL αυτιών για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης.....	48
Διάγραμμα 10: Θεωρητικά και πειραματικά SG αυτιών για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης.....	48
Διάγραμμα 11: Μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψησίματος στους 60 °C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 40% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη ....	49
Διάγραμμα 12: Μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψησίματος στους 60 °C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 60% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη ....	50
Διάγραμμα 13: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψησίματος στους 60°C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 40% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη.....	51
Διάγραμμα 14: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψησίματος στους 60°C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 60% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη.....	51
Διάγραμμα 15: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλης για 1 h .....	55
Διάγραμμα 16: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) με χρόνο ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλης για 1 h.....	56
Διάγραμμα 17: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% και 60% w/w γλυκερόλης για 1 h. ....	58
Διάγραμμα 18: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) με χρόνο ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% και 60% w/w γλυκερόλης για 1 h .....	59
Διάγραμμα 19: Μεταβολή WL δέρματος κεφαλής μόσχου με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	61
Διάγραμμα 20: Μεταβολή SG δέρματος κεφαλής μόσχου με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	61
Διάγραμμα 21: Μεταβολή κλάσματος WL του δέρματος με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη .....	62

Διάγραμμα 22: Μεταβολή κλάσματος SG δέρματος με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη.....	62
Διάγραμμα 23: Θεωρητικά και πειραματικά WL δέρματος για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης.....	63
Διάγραμμα 24: Θεωρητικά και πειραματικά SG δέρματος για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης.....	64
Διάγραμμα 25: Μεταβολή κλάσματος περιεχόμενης υγρασίας δέρματος (CNT) με το χρόνο ξήρανσης για θερμοκρασίες 40 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C και 90 °C.....	65
Διάγραμμα 26: Μεταβολή κλάσματος περιεχόμενης υγρασίας δέρματος (40%) με το χρόνο ξήρανσης για θερμοκρασίες 40 °C, 60 °C και 90 °C .....	66
Διάγραμμα 27: Μεταβολή κλάσματος περιεχόμενης υγρασίας δέρματος (60%) με το χρόνο ξήρανσης για θερμοκρασίες 40 °C, 60 °C και 90 °C .....	66
Διάγραμμα 28: Εξίσωση Arrhenius για δείγματα δέρματος (CNT) (40%) και (60%) .....	69
Διάγραμμα 29: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές ενεργότητας νερού δέρματος κεφαλής μόσχου σε 24 h ξήρανσης για δείγματα (CNT), (40%) και (60%) .....	71
Διάγραμμα 30: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές περιεχόμενης υγρασίας σε υ.β. (%) για δείγματα δέρματος κεφαλής μόσχου (CNT), (40%) και (60%) .....	73
Διάγραμμα 31: Μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού σε σχέση με την ανοιγμένη κατανάλωση ενέργειας ανά kg ξηρού προϊόντος στο τέλος της ξήρανσης .....	75
Διάγραμμα 32: Μεταβολή ενεργότητας νερού δέρματος κεφαλής μόσχου σε σχέση με την ανοιγμένη κατανάλωση ενέργειας ανά kg ξηρού προϊόντος στο τέλος της ξήρανσης .....	76

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Φαινόμενα μεταφοράς μάζας στην ωσμωτική αφυδάτωση .....	22
Εικόνα 2: Συσκευή περιστρεφόμενου αποστακτήρα Hei-VAP.....	34
Εικόνα 3: Ωσμομένα αυτιά κουνελιού .....	36
Εικόνα 4: Ωσμομένα κομμάτια δέρματος κεφαλής μόσχου .....	36
Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής Ωσμωτικής Αφυδάτωσης .....	37
Εικόνα 6: Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού Lab Touch-Water Activity Meter .....	38
Εικόνα 7: Ξηραντήρας HotmixPRO Dry .....	38
Εικόνα 8: Νωπά αυτιά κουνελιού κρεμασμένα από συνδετήρες πριν την ξήρανση με θερμό αέρα .....	39
Εικόνα 9: Τελικό ωσμομένο προϊόν αυτιού κουνελιού μετά από 10 h ξήρανση .....	39
Εικόνα 10: Δέρμα κεφαλής μόσχου πριν και μετά από ξήρανση 24 h .....	40
Εικόνα 11: Μέρη αυτιού κουνελιού .....	43



# Κεφάλαιο 1: Παραπροϊόντα Σφαγείων

## 1.1 Ζωικά Παραπροϊόντα

Το κρέας και τα προϊόντα κρέατος αποτελούν σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής, καθώς παρέχουν απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που δεν είναι εύκολο να ληφθούν από τα λαχανικά και τα παράγωγα τους. Η ύπαρξη τους συμβάλει στην καταπολέμηση του υποσιτισμού και στη διασφάλιση της επισιτιστικής κατάστασης των νοικοκυριών. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, η ζήτηση για κρέας και προϊόντα κρέατος έχει αυξηθεί παγκοσμίως και αυτό το φαινόμενο έχει οδηγήσει σε ταχεία αύξηση της ζωικής παραγωγής, με στόχο τη βιώσιμη επισιτιστική ασφάλεια. Η αύξηση της ζωικής παραγωγής με τη σειρά της, αυξάνει και την ποσότητα των παραπροϊόντων που προκύπτουν (Alao et al., 2017).

Τα ζωικά παραπροϊόντα (Animal By-Products ABPs) είναι υλικά ζωικής προέλευσης που οι άνθρωποι δεν καταναλώνουν. Τα ABP περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων:

- Όλα τα μέρη ενός ζώου που σφάζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο, τα οποία δεν είναι βρώσιμα ή δεν διατίθενται στην αγορά ως τρόφιμα, για παράδειγμα το δέρμα, τα οστά, το κέρατο και οι οπλές, το αίμα, το λίπος και τα εντόσθια
- Πτώματα ζώων, τα οποία πέθαναν στο αγρόκτημα
- Πτώματα νεκρών οικόσιτων ζώων
- Υλικά που παράγονται από ζώα όπως κοπριά, γκουανό, κελύφη αυγών, φτερά, μαλλί, κερύ μέλισσας
- Πρώην τρόφιμα ζωικής προέλευσης όπως γάλα, αυγά, κρέας που για κάποιο λόγο δεν είναι κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση (εμπορικοί λόγοι, ποιότητα, ελλείψεις παραγωγής κ.λπ.)

Τα ζωικά παραπροϊόντα μπορεί να προκύψουν από διάφορους κλάδους. Κύριες πηγές παραπροϊόντων αποτελούν:

- ❖ Σφαγεία ζώων: Τα ABPs μπορεί να προκύψουν κατά την σφαγή ή την επεξεργασία ζώων που προορίζονται για κατανάλωση. Τα παραπροϊόντα που προκύπτουν περιλαμβάνουν τα μέρη του ζώου που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, όπως διάφορα όργανα, οστά, αίμα και λίπος.
- ❖ Βιομηχανίες τροφίμων: Ζωικά παραπροϊόντα μπορούν επίσης να προκύψουν από την παραγωγή τροφίμων και άλλων προϊόντων που χρησιμοποιούν ζωικά συστατικά, όπως γαλακτοκομικά, αυγά και δέρμα. Τα παραπροϊόντα που προκύπτουν περιλαμβάνουν ορό γάλακτος, τσόφλια αυγών και δέρματα.
- ❖ Υδατοκαλλιέργειες και αλιευτικές βιομηχανίες: Οι βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας και αλιείας παράγουν ζωικά παραπροϊόντα όπως ιχθυάλευρα και ιχθυέλαιο.
- ❖ Βιοϊατρική έρευνα: Για τους σκοπούς μίας επιστημονικής έρευνας μπορεί να γίνει χρήση ζωικών ιστών και οργάνων.
- ❖ Ζωικά απόβλητα και κοπριά.

Αυτά τα υλικά ενέχουν τον κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών στον άνθρωπο ή στα ζώα, εάν δεν υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία. Από την άλλη, έχουν κυρίως υψηλή θρεπτική και ενεργειακή αξία και πρέπει να χρησιμοποιούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο για τη διατήρηση των πόρων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ευρωπαϊκή νομοθεσία ταξινομεί τα ζωικά παραπροϊόντα σε τρεις κατηγορίες: Κατηγορία I αποτελούν τα υλικά υψηλότερου κινδύνου, λόγω της πιθανότητας μετάδοσης μολυσματικών ασθενειών, Κατηγορία II τα υλικά ενδιάμεσου κινδύνου και Κατηγορία III τα υλικά με χαμηλό κίνδυνο που αν και προέρχονται από ζώα παραγωγής τροφίμων, δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση (Directorate-General for Health and Food Safety, n.d.).

## 1.2 Παραγωγή Παραπροϊόντων Σφαγείων

Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία, αυτή των σφαγείων, παράγουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, που δημιουργούν μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο και απαιτεί πολυδάπανες επενδύσεις για τη διάθεση των απορριμμάτων, ώστε να συμμορφώνονται με τους εθνικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Όταν ένα ζώο σφάζεται, μόνο το 40% έως 60% του ζώου μετατρέπεται σε χρησιμοποιήσιμο προϊόν (εμπορεύσιμο προϊόν). Το υπόλοιπο 40% έως 60% λαμβάνεται ως παραπροϊόν. Η βιομηχανία κρέατος παγκοσμίως, παράγει περίπου 100 εκατομμύρια τόνους παραπροϊόντων ανά έτος, ενώ στην ΕΕ σχεδόν 17,5 εκατομμύρια τόνοι ζωικών παραπροϊόντων παράγονται ετησίως από Ευρωπαϊκά σφαγεία. Από αυτούς, 12 εκατομμύρια τόνοι προέρχονται από την Κατηγορία III και σχεδόν 5,5 εκατομμύρια τόνοι από τις Κατηγορίες I και II. Από κρίσεις που προέκυψαν πρόσφατα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως η εξάπλωση της σπογγώδους εγκεφαλοπάθειας των βοοειδών (ΣΕΒ) μέσω των ζωοτροφών, ορισμένες επιδημίες αφθώδους πυρετού και η μόλυνση των ζώων με διοξίνες, έχει καταστεί απαραίτητος ο εξαντλητικός και αυστηρός έλεγχος των ζωικών παραπροϊόντων (Mora et al., 2019). Ο κύριος στόχος είναι τα ζωικά παραπροϊόντα από τα σφαγεία να μην θέτουν σε κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων και των ζώων, και μόνο κάτω από τέτοιες συνθήκες να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία (Alao et al., 2017).

Οι τεράστιες αυτές ποσότητες αποβλήτων που προκύπτουν από τα σφαγεία είναι από τα μη κύρια μέρη του ζώου. Συγκεκριμένα, τα παραπροϊόντα χοιρινού κρέατος φτάνουν έως και το 30% του ζώου σε βάρος, ενώ τα παραπροϊόντα βοοειδών προσεγγίζουν έως και το 40% του ζωντανού ζώου σε βάρος. Μία υποκατηγορία των παραπροϊόντων είναι αυτά τα οποία μπορούν να θεωρηθούν βρώσιμα, αλλά οφείλουν πρώτα να υποστούν σε επεξεργασία. Αυτά, αποτελούν περίπου το 55% της παραγωγής και περιλαμβάνουν όργανα όπως το συκώτι, τους πνεύμονες, την καρδιά, τη γλώσσα, τα νεφρά, τον εγκέφαλο, τον σπλήνα, το αίμα, την ουρά και τα αυτιά. Τα προαναφερόμενα προϊόντα αποτελούν σημαντική πηγή θρεπτικών συστατικών, όπως αμινοξέα, μέταλλα και βιταμίνες. Ωστόσο, η κατανάλωση τους διαφέρει σημαντικά ανά τον κόσμο και συχνά υπαγορεύεται από παραδόσεις και διατροφικές συνήθειες. Σε ορισμένες περιοχές, όπως η Νότια Αφρική, η Αίγυπτος, η Ιταλία, η Ισπανία και η Ασία, τα βρώσιμα υπό επεξεργασία παραπροϊόντα χοιρινού κρέατος εκτιμώνται ιδιαίτερα και χρησιμοποιούνται σε γαστρονομικές συνταγές. Επίσης, χρησιμοποιούνται ως συστατικά σε διάφορων τύπων αλλαντικά, σουπες, μαγειρευτά, πιάτα λαχανικών ή σάλτσες, ενισχύοντας τη θρεπτική αξία και τη γεύση τους (Mora et al., 2019).

Οι βιομηχανίες επεξεργασίας κρέατος παράγουν μεγάλο όγκο παραπροϊόντων αφού όπως αναφέρθηκε, μεγάλο ποσοστό της πρώτης ύλης δεν καταναλώνεται από τον άνθρωπο λόγω πολιτιστικών ή θρησκευτικών ζητημάτων και θεμάτων υγιεινής και ασφάλειας, και η

διαχείριση τους είναι είτε αποτέφρωση είτε υγειονομική ταφή, γεγονός που αμβλύνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη μόλυνση λόγω λυμάτων. Αυτά τα παραπροϊόντα όμως, αποτελούν εξαιρετικές πηγές πρωτεϊνών, λιπών, κερατίνης, κολλαγόνου, ζελατίνης και ανόργανης ύλης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες βιομηχανίες (Mora et al., 2019).

### 1.3 Απόρριψη Παραπροϊόντων Σφαγείων

Η απόρριψη ζωικών παραπροϊόντων δημιουργεί σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, όχι μόνο για τις αναπτυσσόμενες χώρες αλλά παγκοσμίως, καθώς σχεδόν περισσότερα από τα μισά παραπροϊόντα απορρίπτονται και είτε μεταφέρονται σε χώρους υγειονομικής ταφής είτε αποτεφρώνονται.

#### 1.3.1 Υγειονομική Ταφή

Η τεχνική της υγειονομικής ταφής είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος μεθόδου διάθεσης απορριμμάτων και απαιτεί διεξοδικό έλεγχο ως προς τη διαχείριση της οσμής και την ελαχιστοποίηση της μόλυνσης των υπόγειων υδάτων, για την πρόληψη ζητημάτων δημόσιας υγείας. Η απόρριψη των παραπροϊόντων σε χώρους υγειονομικής ταφής είναι κοινή πρακτική στις αναπτυσσόμενες χώρες (Mora et al., 2019). Ωστόσο, σήμερα η χρήση των χώρων υγειονομικής ταφής τείνει να μειωθεί, λόγω της αύξησης του πληθυσμού, που συνεπάγεται έλλειψη διαθέσιμου χώρου, και την εμφάνιση αερίων υγειονομικής ταφής και μεθανίου, που προκαλεί προβλήματα μόλυνσης, ρύπανση των υπόγειων υδάτων, ρύπανση του εδάφους και ατμοσφαιρική ρύπανση. Η σύγχρονη τάση είναι ότι η τεχνική της υγειονομικής ταφής οφείλει να εξελιφθεί και να αλλάξει προς την κατεύθυνση της παραγωγής προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας (Limeneh et al., 2022).

#### 1.3.2 Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση είναι μία από τις κύριες μεθόδους θερμικής καταστροφής των παραπροϊόντων. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, πραγματοποιείται αποσύνθεση των υλικών παραπροϊόντων μέσω οξείδωσης, και η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ειδικές μονάδες αποτέφρωσης (Limeneh et al., 2022). Η αποτέφρωση φαίνεται να έχει κάποια πλεονεκτήματα σαν μέθοδος, σε σχέση με την υγειονομική ταφή, αφού ελαχιστοποιεί τη χρήση του χώρου της γης, μειώνοντας τον όγκο των στερεών αποβλήτων κατά 90-93%. Η καύση των στερεών αποβλήτων πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες άνω των 850 °C, για περίπου 20 λεπτά, και τα προϊόντα που παράγονται είναι CO, CO<sub>2</sub>, τέφρα και ατμός. Σε ένα σφαγείο, τα παραπροϊόντα στερεών αποβλήτων οφείλουν να αποτεφρώνονται με ελεγχόμενο τρόπο (Mora et al., 2019).

### 1.4 Εναλλακτικές Χρήσεις Παραπροϊόντων Σφαγείων

Η ανάγκη της σύγχρονης εποχής για την χρήση κυκλικού μοντέλου οικονομίας, δηλαδή τη μείωση των αποβλήτων στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο, έχει ωθήσει τον άνθρωπο να βρει και άλλες εναλλακτικές χρήσεις των παραπροϊόντων σφαγείων. Κάποια παραδείγματα παραπροϊόντων σφαγείων αποτελούν, τα κόκαλα, τα λιπαρά, το αίμα τα κεφάλια, οι καρδιές, οι πνεύμονες, τα συκώτια, τα νεφρά, το δέρμα, τα αυτιά και άλλα μέρη του ζώου που δεν καταναλώνονται από ανθρώπους. Ωστόσο, αυτά τα παραπροϊόντα βρίσκουν πολλές χρήσεις σε άλλους τομείς της βιομηχανίας και της κοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των επομένων.

#### 1.4.1 Παραγωγή οργανικών λιπασμάτων και βελτιωτικών εδάφους

Η παραγωγή λιπασμάτων είναι μια επιλογή αξιοποίησης των ζωικών παραπροϊόντων, με στόχο την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί μία οικονομική μέθοδο (Limeneh et al., 2022). Οργανικά λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους μπορούν να διατεθούν στην αγορά εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης εάν προέρχονται από παραπροϊόντα σφαγείων κατηγορίας II ή III, εφόσον έχουν παραχθεί σύμφωνα με τις κατάλληλες συνθήκες για την πρόληψη κινδύνων προς τη δημόσια υγεία και την υγεία των ζώων, και εάν και εφόσον προέρχονται από εγγεγραμμένες εγκαταστάσεις. Τέτοια παραπροϊόντα κρέατος μπορούν να βελτιώσουν την υγεία του εδάφους είτε μέσω της προσθήκης άνθρακα και θρεπτικών συστατικών για τη ανάπτυξη των μικροοργανισμών ή έμμεσα μέσω προσθήκης οργανικής ύλης που βελτιώνει την υγεία του φυτού. Βελτιώνουν επίσης τη δομή του εδάφους, μέσω αύξησης της διαπερατότητας του, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων και της σταθερότητας αδρανών, αλλά ταυτόχρονα μέσω μείωσης της φαινόμενης πυκνότητας. Τα σχετικά οφέλη είναι επομένως η αυξημένη διείσδυση και η διατήρηση υγρασίας και θρεπτικών συστατικών και η καλύτερη ανάπτυξη των φυτών (Mora et al., 2019).

#### 1.4.2 Ζωοτροφές

Τα παραπροϊόντα σφαγείων χρησιμοποιούνται επίσης και ως πρώτη ύλη για ζωοτροφές. Αυτά που συναντώνται κυρίως ως πρώτη ύλη είναι αιματάλευρα, ιχθυάλευρα και οστεάλευρα, που αποτελούν πηγή πρωτεΐνης και άλλων θρεπτικών συστατικών. Τα παραπροϊόντα πρέπει να διασπώνται σε μικρά σωματίδια για εύκολη πέψη από τα ζώα. Οι ζωοτροφές που παράγονται από τη βιομηχανία επεξεργασίας κρέατος παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση άφθονων βιολογικών πηγών και οικονομικά προσιτών ζωικών πρωτεϊνικών τροφών (Limeneh et al., 2022).

#### 1.4.3 Παραγωγή ζωικής κόλλας

Τα ζωικά παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον ως πρώτη ύλη για την παραγωγή διαφόρων τύπων κόλλας, συμπεριλαμβανομένης της ζωικής κόλλας. Η ζωική κόλλα είναι ένας τύπος κόλλας που παρασκευάζεται από κολλαγόνο που λαμβάνεται από το δέρμα, τα οστά και τους συνδετικούς ιστούς ζώων όπως αγελάδες, άλογα και χοίροι. Το κολλαγόνο εξάγεται μέσω υδρόλυσης, η οποία περιλαμβάνει τη διάσπαση της πρωτεΐνης χρησιμοποιώντας θερμότητα και οξύ. Το υγρό που προκύπτει στη συνέχεια υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία για να παραχθεί μια στερεή μορφή ζωικής κόλλας. Η ζωική κόλλα χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες στην ξυλουργική, τη βιβλιοδεσία και άλλες εφαρμογές όπου απαιτείται μια ισχυρή, ανθεκτική κόλλα. Έχει ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των συνθετικών συγκολλητικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητάς της να συγκολλά ανόμοια υλικά, της χαμηλής τοξικότητάς της και της βιοδιασπασιμότητάς της. Άλλα ζωικά παραπροϊόντα, όπως η ζελατίνη, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή συγκολλητικών ουσιών, ιδιαίτερα στη βιομηχανία χαρτιού και συσκευασίας. Η ζελατίνη είναι μια πρωτεΐνη που λαμβάνεται από το δέρμα, τα οστά και τους συνδετικούς ιστούς των ζώων και μπορεί να μετατραπεί σε διάφορες μορφές κόλλας που παρέχουν έναν ισχυρό, εύκαμπτο δεσμό ανάμεσα στα υλικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση ζωικών παραπροϊόντων στην παραγωγή συγκολλητικών έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια λόγω της διαθεσιμότητας συνθετικών εναλλακτικών λύσεων, καθώς και λόγω ανησυχιών για την καλή διαβίωση και τη βιωσιμότητα των ζώων (Mora et al., 2019).

#### 1.4.4 Ιατρικές, Φαρμακευτικές και Καλλυντικές Εφαρμογές

Οι ιατρικές και παραϊατρικές εφαρμογές που βρίσκουν τα παραπροϊόντα σφαγείων είναι πάρα πολλές. Αρχικά, ένα παράδειγμα αποτελούν τα χειρουργικά ράμματα, όπου είναι ιατρικά αντικείμενα και χρησιμοποιούνται για να κρατήσουν τον ιστό του σώματος που οργανώνεται μετά από τραυματισμό. Η χειρουργική ραφή των ανθρώπων απαιτεί βελόνα και νήμα που είναι συμβατό με το σώμα των ανθρώπων ή των ζώων. Τα έντερα είναι το κύριο συμβατό υλικό για χειρουργικά ράμματα, λόγω της ευελιξίας, της αντοχής, της ταχύτητας εισαγωγής και της απορροφησιμότητάς του. Πολυάριθμες ερευνητικές μελέτες μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία σχετικά με τη χρήση εντέρων ζώων για χειρουργικά ράμματα που επιταχύνουν την επούλωση τραυμάτων (Limeneh et al., 2022).

Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί το δέρμα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επίδεσμος για προστασία σε περίπτωση εγκαύματος ή δερματικών ελκών, αφότου έχει κοπεί σε μικρά κομμάτια, έχει καθαριστεί, απολυμανθεί και συσκευαστεί. Επιπλέον, το κολλαγόνο, που προέρχεται από το δέρμα ή τα οστά, έχει πολλές εφαρμογές. Μία από αυτές είναι η χρήση του για χειρουργικές απολινώσεις. Επιπρόσθετα, το κολλαγόνο και η ελαστίνη μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως βιοϋλικά για μια ποικιλία ιατρικών εφαρμογών όπως υποκατάστατα δέρματος, καρδιακές βαλβίδες, ελαστικοί χόνδροι και αγγειακά μοσχεύματα (Limeneh et al., 2022) Από το κολλαγόνο, με ελεγχόμενη υδρόλυση, παράγεται και η ζελατίνη. Περίπου το 6.5% της συνολικής παραγωγής ζελατίνης χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική βιομηχανία. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού, χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εξωτερικού καλύμματος των καψουλών. Η ζελατίνη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως συνδετικός παράγοντας στην παρασκευή φαρμακευτικών ταμπλετών και παστίλιων (Mora et al., 2019). Επιπρόσθετα, αποτελεί σημαντικό συστατικό σε αλοιφές, όπως η ζελατίνη ψευδαργύρου, που χρησιμοποιείται στη θεραπεία κισσωδών φλεβών. Ακόμη, επειδή η ζελατίνη είναι πρωτεΐνη, χρησιμοποιείται και στην ωσμωτική διόρθωση του πλάσματος σε περιπτώσεις πολύ σοβαρών αιμορραγικών σοκ. Τέλος, η ζελατίνη είναι ένας εξαιρετικός γαλακτωματοποιητής και σταθεροποιητής για πολλά γαλακτώματα και αφρούς, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σε πολλά καλλυντικά προϊόντα (Jayathilakan et al., 2012).

Επίσης, σε διάφορες χώρες όπως η Κίνα, Ινδία και Ιαπωνία, χρησιμοποιούν διάφορους αδένες ζώων για φαρμακευτικές χρήσεις. Κάποια παραδείγματα αποτελούν ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός, που είναι πλούσιες πηγές χοληστερόλης και χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση βιταμίνης D<sub>3</sub>. Η χοληστερόλη χρησιμοποιείται επίσης ως γαλακτωματοποιητής σε καλλυντικά (Jayathilakan et al., 2012). Επιπλέον, η επίφυση είναι πηγή της ορμόνης μελατονίνης και χρησιμοποιείται για τη θεραπεία της αϋπνίας, της νοητικής υστέρησης και της σχιζοφρένειας (Rahman et al., 2014).

Ακόμη, το ήπαρ, που είναι ο μεγαλύτερος αδένας στο σώμα, έχει αρκετές ιατρικές και παραϊατρικές εφαρμογές. Μία συνήθης διαχείριση του είναι η δημιουργία πάστας, μέσω εκχύλισης και ξήρανσης υπό κενό, η οποία χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική βιομηχανία ως πρώτη ύλη. Επίσης, το εκχύλισμα ήπατος είναι πλούσια πηγή βιταμίνης B<sub>12</sub> και χρησιμοποιείται για τη θεραπεία διαφόρων τύπων αναιμίας και ως συμπλήρωμα διατροφής. Επιπλέον, η ηπαρίνη, η οποία απομονώνεται από τους πνεύμονες, το ήπαρ και το λεπτό έντερο, είναι ένας αντιπηκτικός παράγοντας, ο οποίος χρησιμοποιείται για να καθυστερήσει την πήξη του αίματος. Χρησιμοποιείται επίσης για την αραίωση του αίματος κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων και μεταμοσχεύσεων οργάνων (Jayathilakan et al., 2012, Rahman et al., 2014).



Ένα ακόμα ζωικό παραπροϊόν είναι η χολή, η οποία λαμβάνεται από τη χοληδόχο κύστη και περιέχει οξέα, χοληστερόλη, πρωτεΐνες και χρωστικές ουσίες. Η χολή χρησιμοποιείται για τη θεραπεία της δυσκοιλιότητας, της δυσπεψίας και των προβλημάτων της χοληφόρου οδού. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της λειτουργίας του ήπατος. Η χολή που λαμβάνεται από τη χοληδόχο κύστη του χοίρου και του αρνιού διατίθεται σε ξηρή και υγρή μορφή. Επίσης, η κορτιζόνη και η πρεδνιζόνη είναι συστατικά της χολής, που μπορούν να απομονωθούν, και χρησιμοποιούνται ως φάρμακα (Rahman et al., 2014).

Μία ακόμα εφαρμογή είναι αυτή της ινσουλίνης, που λαμβάνεται από το πάγκρεας και ρυθμίζει το μεταβολισμό του σακχάρου στα κύτταρα του σώματος. Αυτή η ορμόνη χρησιμοποιείται για τη θεραπεία του διαβήτη. Η γλυκαγόνη είναι μια άλλη ορμόνη που εξάγεται από το πάγκρεας. Αυξάνει το επίπεδο σακχάρου στο αίμα και χρησιμοποιείται για τη θεραπεία των χαμηλών επιπέδων σακχάρου στο αίμα και της υπερδοσολογίας ινσουλίνης. Επίσης, η θρυψίνη και η χυμοθρυψίνη χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της επούλωσης τραυμάτων (Rahman et al., 2014).

Τέλος, οι κύριες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καλλυντικών είναι λίπη, έλαια, κεριά και εστερικά έλαια, που προκύπτουν από ζωικά παραπροϊόντα. Ορισμένοι επιφανειοδραστικοί παράγοντες και επιφανειοδραστικές ουσίες χρησιμοποιούνται ως γαλακτωματοποιητές. Τα καλλυντικά που παράγονται από ζωικά παραπροϊόντα προτιμώνται κυρίως λόγω της συμβατότητάς τους με το ανθρώπινο σώμα. Συγκεκριμένα, τα προϊόντα περιποίησης της επιδερμίδας που παράγονται από ψάρια φαίνεται να είναι τα δημοφιλέστερα, λόγω των λειτουργιών συγκράτησης της υγρασίας που διαθέτουν. Τα επιφανειοδραστικά αμινοξέα είναι βιοεπιφανειοδραστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σε πολλές συνθέσεις προϊόντων προσωπικής φροντίδας και προτιμώνται από αυτές που παράγονται από συνθετικά υλικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα σαμπουάν, που προσφέρουν πιο απαλή υφή στα μαλλιά και μειώνουν ταυτόχρονα το σπάσιμο των τριχών (Limeneh et al., 2022). Επίσης εφαρμογές βρίσκονται και στις λοσιόν χεριών και σώματος, στις κρέμες και στα προϊόντα μπάνιου, που λαμβάνονται από τετηγμένο λίπος. Τελευταία, τα προϊόντα περιποίησης μαλλιών περιέχουν κερατίνη που μπορεί να ληφθεί από τα κέρατα και τις οπλές ζώων (Mora et al., 2019).

#### 1.4.5 Παραγωγή βιοενέργειας

Η βιοενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από τη μετατροπή στερεών, υγρών και αέριων προϊόντων που προέρχονται από βιομάζα, η οποία σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), είναι σήμερα η μεγαλύτερη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Η βιομάζα μπορεί να προκύψει από οργανική ύλη που προέρχεται από ζώα ή φυτά και μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών, δηλαδή για την παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας, είτε με απευθείας καύση της, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά και στερεά βιοκαύσιμα, μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών. Θερμοχημικές διεργασίες μπορεί να είναι η καύση, η πυρόλυση ή η αεριοποίηση της βιομάζας, και βιοχημικές διεργασίες μπορεί να αποτελούν η αλκοολική ζύμωση, η αναερόβια ή και η αερόβια χώνευση. Η κατάλληλη διεργασία επιλέγεται βάση της βέλτιστης ενεργειακής απόδοσης, η οποία εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης (Limeneh et al., 2022, Mora et al., 2019).

#### 1.4.6 Παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Τα ζωικά παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κλωστοϋφαντουργία με διάφορους τρόπους. Μία από τις πιο κοινές χρήσεις είναι στην παραγωγή δέρματος. Τα δέρματα, που αντιπροσωπεύουν έως και το 7% των σφαγείων, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή παπουτσιών, τσαντών, πορτοφολιών, γαντιών, δερμάτινων ρούχων και ζωνών καθώς και σε αποσκευές και πορτοφόλια. Το δέρμα δεν χρησιμοποιείται μόνο στη μόδα, αλλά και στη βιομηχανία αυτοκινήτων και επίπλων. Άλλα παραπροϊόντα, όπως φτερά και μαλλί, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στην κλωστοϋφαντουργία. Τα φτερά συγκεκριμένα, μπορούν να υποστούν επεξεργασία για να παράγουν πούπουλα και άλλους τύπους μόνωσης που χρησιμοποιούνται σε ρούχα, κλινοσκεπάσματα και εξοπλισμό εξωτερικού χώρου. Το μαλλί, το οποίο προέρχεται κυρίως από πρόβατα, χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεγάλης ποικιλίας υφασμάτων, συμπεριλαμβανομένων ρούχων, κουβερτών, στρωμάτων, πλεκτών ενδυμάτων και χαλιών. Επιπλέον, ορισμένα ζωικά παραπροϊόντα όπως το μετάξι και το κασμίρι εκτιμώνται ιδιαίτερα στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας πολυτελείας. Τέλος, τα κέρατα και οι σπλές ζώων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τρόπαια, μουσικά όργανα και διακοσμητικά στοιχεία (Mora et al., 2019).

#### 1.4.7 Τροφές για κατοικίδια (Pet Food)

Οι περισσότερες εμπορικές τροφές για κατοικίδια σε όλο τον κόσμο παράγονται από παραπροϊόντα σφαγείων και συγκεκριμένα από παραπροϊόντα Κατηγορίας III. Μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού δυσανασχετεί με αυτήν την πληροφορία και αποτελεί ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα για τους ιδιοκτήτες κατοικίδιων ζώων, όμως τα συγκεκριμένα ζωικά παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη σε τροφές και μάλιστα αποτελούν πλούσιες πηγές πρωτεΐνης, απαραίτητων αμινοξέων, λιπαρών οξέων, μετάλλων και ιχνοστοιχείων, βιταμινών Β και μερικών λιποδιαλυτών βιταμινών.

Τα μέρη που χρησιμοποιούνται κυρίως σε επεξεργασμένες τροφές, όπως οι κροκέτες, είναι το συκώτι, η σπλήνα, το κεφάλι, τα νεφρά, το στομάχι και τα έντερα. Ενώ κυκλοφορούν στο εμπόριο και ως λιχουδιές κυρίως κόκαλα, πνεύμονες, αυτιά, δέρματα και τραχείες. Άλλα παραδείγματα αποτελούν τα κρεατάλευρα και τα οστεάλευρα, τα αιματάλευρα και τα παραπροϊόντα πουλερικών, τα οποία είναι κοινά συστατικά σε πολλούς τύπους τροφών για κατοικίδια. Αυτά τα συστατικά παρέχουν μια πηγή πρωτεΐνης, λίπους, μετάλλων και άλλων θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητα για την υγεία και την ευημερία των κατοικίδιων ζώων. Επιπλέον, ορισμένα ζωικά παραπροϊόντα, όπως τα ζωικά λίπη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας στις τροφές για κατοικίδια. Περίπου 2,9 εκατομμύρια τόνοι παραπροϊόντων σφαγείων κατηγορίας III χρησιμοποιήθηκαν σε τροφές για κατοικίδια το 2016 στην ΕΕ. (Limeneh et al., 2022; Mora et al., 2019).

Ζητήματα που προκύπτουν στη χρήση παραπροϊόντων, ως πρώτη ύλη για τροφές κατοικίδιων ζώων, αποτελούν συνήθως η έλλειψη του απαραίτητου ελέγχου για τη διαλογή και τη διαχείριση των υλικών. Όλη η ευθύνη σχετικά με την ποιότητα του προϊόντος έγκειται στον κατασκευαστή, ο οποίος επιλέγει τους προμηθευτές του, δηλαδή τα σφαγεία. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την έλλειψη της απαραίτητης νομοθεσίας για τις τροφές κατοικίδιων, δημιουργεί ανασφάλεια στους ιδιοκτήτες για το αν πραγματοποιούνται οι απαραίτητοι και κατάλληλοι έλεγχοι στις πρώτες ύλες.

Η χρήση ζωικών παραπροϊόντων σε τροφές για ζώα συντροφιάς λοιπόν, μπορεί να είναι ένας βιώσιμος και οικονομικά αποδοτικός τρόπος για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των κατοικίδιων ζώων, ενώ παράλληλα μειώνει τα απόβλητα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται στις τροφές για κατοικίδια είναι τα κατάλληλα και η διαχείριση τους ρυθμίζεται αυστηρά για να διασφαλιστεί ότι το τελικό προϊόν είναι σταθερό και δεν θέτει σε κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων ή των ζώων (Mora et al., 2019).



## Κεφάλαιο 2: Διατροφικά Προϊόντα Κατοικίδιων (Pet Food)

### 2.1 Εισαγωγή

Σε παγκόσμιο επίπεδο, σχεδόν ο μισός πληθυσμός διατηρεί ζώα συντροφιάς. Μόνο στις ΗΠΑ, 47 εκατομμύρια νοικοκυριά έχουν τουλάχιστον μία γάτα, ενώ 60 εκατομμύρια έναν σκύλο. Συνολικά, έχει εκτιμηθεί ότι οι οικόσιτες γάτες ξεπερνούν τα 94 εκατομμύρια και οι σκύλοι τα 89 (Dodd et al., 2020). Οι τροφές αυτών των κατοικίδιων ζώων παράγονται από τη δεκαετία του 1940 στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη και σήμερα υπάρχουν εργοστάσια παραγωγής του σε στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες. Στο παρελθόν προέρχονταν από ζωοτροφές, οπότε παρασκευάζονταν βάση της διατροφής των ζώων φάρμας. Η συνεχώς όλο και πιο στενή συναισθηματικά σχέση μεταξύ κατοικίδιων ζώων και ιδιοκτητών όμως, οδήγησε στην ανάπτυξη απαιτήσεων, τόσο αισθητικών όσο και διατροφικών, για την προσέλκυση των καταναλωτών. Τα προϊόντα έγιναν με πιο ελκυστικά σχήματα και χρώματα για να ικανοποιήσουν τους ιδιοκτήτες και με ειδικά επιπρόσθετα αρώματα, για να είναι εξίσου εξασφαλισμένη η ικανοποίηση των ζώων. Επίσης, διαμορφώθηκαν έτσι, ώστε να είναι καλά ισορροπημένα διατροφικά, και να μπορούν από μόνα τους να αντιπροσωπεύουν μία πλήρη, υγιεινή διατροφή ενός οικόσιτου ζώου. Υπάρχουν επίσης ορισμένα ειδικά προϊόντα γνωστά ως λιχουδιές, που μπορεί να είναι περισσότερο αρωματισμένα ή να έχουν μια ειδική μαστιχωτή υφή. Αυτά τα προϊόντα απασκοπούν στην παροχή μιας ευχάριστης εμπειρίας για το ζώο και τον ιδιοκτήτη του και δεν είναι απαραίτητα ισορροπημένα διατροφικά (Guy, 2004).

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες κατοικίδιων ζώων στη σύγχρονη κοινωνία, αλλά οι γάτες και οι σκύλοι κυριαρχούν στην αγορά τροφών για κατοικίδια. Οι επόμενες πιο δημοφιλείς τροφές είναι για ψάρια, μικρά θηλαστικά όπως κουνέλια, ινδικά χοιρίδια και πουλιά (Guy, 2004). Η παγκόσμια βιομηχανία τροφών για κατοικίδια είναι μια συνεχώς αναπτυσσόμενη αγορά. Η αξία της είναι περίπου το 70% της συνολικής βιομηχανίας φροντίδας κατοικίδιων, η οποία αγγίζει τα 115 δισεκατομμύρια δολάρια. Στην αγορά υπάρχει μια τεράστια γκάμα επιλογών διατροφής που είναι διαθέσιμες στους καταναλωτές. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα έχει παρατηρηθεί, ότι οι καταναλωτές έχουν αυξήσει το ενδιαφέρον τους για πιο εναλλακτικές διατροφές, όπως οι ωμές, και στην συμπλήρωση της κύριας διατροφής των κατοικίδιων με κατάλληλα μασήματα και λιχουδιές (Dodd et al., 2020).

### 2.2 Νόμοι και Κανονισμοί

Σύμφωνα με τους ειδικούς, τα περιεχόμενα συστατικά στις τροφές των κατοικίδιων παίζουν σημαντικό ρόλο για την επιλογή της κατάλληλης. Η τροφή για κατοικίδια μπορεί να είναι τόσο απλή όσο ένα συστατικό ή τόσο περίπλοκη ώστε να περιέχει περισσότερα από εξήντα (Thompson, 2008). Οι κανονισμοί για τις τροφές οικόσιτων ζώων ρυθμίζονται από τους αντίστοιχους κυβερνητικούς οργανισμούς.

Στις Η.Π.Α ο U.S. Food and Drug Administration (FDA) ρυθμίζει τους κανονισμούς ώστε τα προϊόντα διατροφής να είναι ασφαλή για τα κατοικίδια και η ετικέτα του προϊόντος να είναι αληθής. Από την άλλη πλευρά, σχετικά με τα συστατικά της τροφής, δεν υπάρχουν νόμοι παρά μόνο κατευθυντήριες γραμμές. Ο οργανισμός που είναι υπεύθυνος για αυτές τις οδηγίες είναι ο Association of American Feed Control Official (AAFCO). Σχετικά με τον (AAFCO), πρόκειται για έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό, που ενώ δεν είναι υποχρεωτική βάση νόμου η συμμόρφωση των προϊόντων σε αυτόν, οι περισσότερες βιομηχανίες ακολουθούν τις οδηγίες του (Dodd et al., 2020, Thompson, 2008).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν υπάρχουν νόμοι αποκλειστικά για τα προϊόντα διατροφής κατοικίδιων ζώων. Η νομοθεσία που σχετίζεται με τις τροφές για κατοικίδια ζώα έχει δημιουργηθεί για άλλους σκοπούς, κυρίως ζωοτροφές, και περιλαμβάνει κάποιες διατάξεις για τα ζώα συντροφιάς. Η Ε.Ε. εξετάζει τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τροφών για ζώα συντροφιάς σε τρεις διαφορετικούς τομείς, στα υλικά ζωικής προέλευσης, στα υλικά μη ζωικής προέλευσης και στα πρόσθετα συστατικά. (European Union, 2019). Όσον αφορά τα υλικά μη ζωικής προέλευσης, πρόκειται για την ομάδα υλικών όπως δημητριακά, λαχανικά και φρούτα, που βρίσκονται πολλές φορές σε τέτοιου είδους προϊόντα. Σχετικά με αυτήν την ομάδα, δεν υπάρχει κάποιος ορισμένος κατάλογος με επιτρεπτά υλικά, παρά μόνο λίστες με μέγιστα επιτρεπόμενα όρια ανεπιθύμητων ουσιών (European Union, 2019). Τέλος, η μόνη κατηγορία που υπάρχει αυστηρός κανονισμός από την Ε.Ε. είναι αυτή των πρόσθετων, όπου έχει ορίσει εγκεκριμένο κατάλογο προσθέτων, τα οποία επιτρέπονται για χρήση (European Union, 2019).

Ταυτόχρονα, το ρόλο του (AAFCO) στην Ευρώπη, εξυπηρετεί ο European Pet Food Industry Federation (FEDIAF). Ο (FEDIAF) είναι ο φορέας που εκπροσωπεί την ευρωπαϊκή βιομηχανία τροφών για κατοικίδια ζώα και ο οποίος έχει δημιουργήσει έναν οδηγό για τους κατασκευαστές, με στόχο τη διασφάλιση της ευημερίας των κατοικίδιων ζώων παρέχοντας τους μία ισορροπημένη διατροφή (Dodd et al., 2020, Thompson, 2008).

Οδηγίες για το περιεχόμενο των προϊόντων διατροφής κατοικίδιων, έχουν δημοσιευτεί επίσης από το National Research Council (NRC), έναν ιδιωτικό, μη κερδοσκοπικό οργανισμό, όπου συλλέγει και αξιολογεί έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί ήδη. Οι οδηγίες του συγκεκριμένου οργανισμού βέβαια τα τελευταία χρόνια δεν ακολουθούνται πιστά από τη βιομηχανία, διότι έχουν θεωρηθεί ξεπερασμένες. Η πραγματικότητα είναι όμως ότι όλοι οι παραπάνω οργανισμοί ξεκινούν την έρευνα τους βάση των δεδομένων που έχει δημοσιεύσει το (NRC) (Thompson, 2008).

Μέρος των κανονισμών είναι ο προσδιορισμός και η συνεχή επανεξέταση των συστατικών, διότι τα υπάρχοντα συστατικά αλλάζουν και νέα συστατικά γίνονται διαθέσιμα συνεχώς (Thompson, 2008). Τα συστατικά των προϊόντων διατροφής επιλέγονται με βάση την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά, την πεπτικότητα, τη γευστικότητα, τη λειτουργικότητα, τη διαθεσιμότητα και το κόστος τους. Οι ασφαλείς και υγιεινές τροφές για κατοικίδια ξεκινούν με ασφαλή συστατικά που προέρχονται από ελεγχόμενους προμηθευτές. Ο απώτερος στόχος, τόσο των κτηνιάτρων όσο και των κατασκευαστών, είναι ο ίδιος, και αυτός είναι η μακρά υγιής ζωή για σκύλους και γάτες (Guy, 2004). Βέβαια, κάθε κατοικίδιο ζώο είναι μοναδικό και το καθένα έχει έναν μοναδικό ιδιοκτήτη με το δικό του σύνολο τροφικών πεποιθήσεων. Πολλοί ιδιοκτήτες ζητούν συμβουλές σχετικά με το τι να ταΐσουν το κατοικίδιο ζώο τους από τον κτηνίατρό τους. Στη συνέχεια, κάθε ιδιοκτήτης εφαρμόζει το σύνολο ή μέρος αυτών των συμβουλών με βάση τις δικές του πεποιθήσεις για τα τρόφιμα. Έτσι, όχι μόνο οι ανάγκες του κατοικίδιου ζώου επηρεάζουν τη σύσταση των διατροφικών προϊόντων, αλλά και οι προτιμήσεις του ιδιοκτήτη. Το μόνο σίγουρο είναι ότι, η γνώση σχετικά με την τροφή και τα συστατικά της, είναι απαραίτητη για έναν ιδιοκτήτη, ώστε να έχει επίγνωση τι ταΐζει το κατοικίδιο του και γιατί (Thompson, 2008).

Μία από τις ευρύτερες ταξινομήσεις των εμπορικών τροφών κατοικίδιων ζώων διαιρεί τα προϊόντα ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας, τις μεθόδους συντήρησης και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Αυτές οι κατηγορίες είναι τα ξηρά, υγρά και ημι-υγρά τρόφιμα.

## 2.3 Ξηρές Τροφές

Η πλειοψηφία των σκύλων τρέφονται με ξηρές τροφές. Η δημοτικότητά τους σίγουρα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ευκολία τους καθώς είναι διαθέσιμα παντού, δεν χρειάζονται καθόλου προετοιμασία και δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αποθήκευσης. Η περιεχόμενη υγρασία τους κυμαίνεται από 8-12% w/w.

Τα συστατικά που χρησιμοποιούνται συνήθως στις ξηρές τροφές κατοικίδιων ζώων είναι δημητριακά, κρέας, πουλερικά ή προϊόντα ψαριών, ορισμένα γαλακτοκομικά προϊόντα, φυτικά λίπη και έλαια, αλλά και συμπληρώματα βιταμινών και ανόργανων συστατικών. Η θερμιδική ενέργεια των ξηρών τροφών κατοικίδιων ζώων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3000 και 4500 kilocalories (kcal) μεταβολίσιμης ενέργειας (ME) /κιλό (kg) ή μεταξύ 1300 και 2000 kcal / λίμπρα (lb) σε ξηρή βάση (DMB) (Zicker, 2008). Οι ξηρές τροφές για γάτες είναι συχνά ελαφρώς υψηλότερες σε θερμιδική ενέργεια από τις τροφές για σκύλους. Οι περισσότερες ξηρές τροφές κατοικίδιων ζώων μπορούν εύκολα να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της πλειοψηφίας των ζώων συντροφιάς. Σε περιπτώσεις που τα κατοικίδια έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες, όπως είναι τα κουτάβια, έχουν δημιουργηθεί αντίστοιχες ειδικές τροφές για κάθε κατηγορία. Στις συνήθεις εμπορικές ξηρές τροφές για σκύλους η περιεκτικότητα των λιπαρών κυμαίνεται από 8% έως 22% και η πρωτεΐνη από 18% έως 32% σε ξηρή βάση. Οι τροφές για γάτες όλων των τύπων περιέχουν ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα πρωτεΐνης από τις τροφές για σκύλους (Guy, 2004).

Ένα πιθανό μειονέκτημα των ξηρών τροφών κατοικίδιων ζώων, σε σύγκριση με τις ημι-υγρές ή υγρές τροφές, είναι ότι οι ξηρές τροφές μπορεί να είναι λιγότερο εύγευστες σε ορισμένους σκύλους και γάτες. Αυτό το μειονέκτημα συναντάται ιδιαίτερα στα τρόφιμα με χαμηλά λιπαρά ή που περιέχουν κακώς εύπεπτα ή χαμηλής ποιότητας συστατικά. Ωστόσο, οι ξηρές τροφές κατοικίδιων ζώων που περιέχουν συστατικά υψηλής ποιότητας και μέτρια έως υψηλά επίπεδα λιπαρών, δεν αποδοκιμάζονται από σκύλους και γάτες και είναι ιδιαίτερα εύγευστες στα περισσότερα ζώα συντροφιάς. Ως αποτέλεσμα, τα ξηρά τρόφιμα χαμηλής ποιότητας μπορεί να έχουν πολύ χαμηλή πεπτικότητα και διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών. Οι εταιρείες που παράγουν υψηλής ποιότητας, premium και super-premium τρόφιμα χρησιμοποιούν μόνο κατάλληλα επεξεργασμένα συστατικά και κατάλληλες μεθόδους παρασκευής για να διασφαλίσουν ότι η πεπτικότητα των προϊόντων τους παραμένει υψηλή μετά την επεξεργασία. Οι ξηρές τροφές μπορούν να παραχθούν με διάφορους τρόπους, όπως οι παρακάτω.

### 2.3.1 Ξηρές Τροφές μέσω Εξώθησης (Extruder)

Η εξώθηση είναι μακράν η πιο κοινή μέθοδος παρασκευής ξηρών τροφών που απευθύνονται σε σκύλους. Στη διαδικασία της εξώθησης, οι πρώτες ύλες αποτελούν συνήθως προξηραμένα και αλεσμένα συστατικά σε μορφή σκόνης με υγρασία 25% w/w, τα οποία αναμειγνύονται και περνούν μέσα από την μηχανή εξώθησης, που λειτουργεί υπό συνθήκες υψηλής πίεσης (34 atm έως 37 atm) και θερμοκρασίας (110 °C έως 200 °C). Η υψηλή θερμοκρασία και η αυξανόμενη πίεση προκαλούν το ψήσιμο πολύ γρήγορα (μέσα σε 10 s έως 270 s) (Zicker, 2008). Στη συνέχεια, το μείγμα περνά μέσα από μία μήτρα όπου κόβεται σε μεμονωμένα μπισκότα, τα οποία στη συνέχεια στεγνώνουν γρήγορα με ζεστό αέρα, ψύχονται και λαμβάνουν μία επικάλυψη ελαίων, ώστε να ενισχυθεί η γεύση τους (Tran et al., 2008).

Όλο και περισσότεροι ειδικοί ισχυρίζονται ότι τα πολλαπλά στάδια επεξεργασίας που απαιτούνται για την παραγωγή εξωθημένων τροφίμων και ιδιαίτερα οι υψηλές θερμοκρασίες που χρειάζονται σε κάποια στάδια, μπορεί να καταστρέψουν πολλά από τα φυσικά θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στην τροφή, ιδιαίτερα τις βιταμίνες, ορισμένα αμινοξέα και ένζυμα (Harper & Clark, 1979, Gibson & Alavi, 2013). Κάποιοι υποστηρικτές ωστόσο, ισχυρίζονται ότι η διαδικασία παραγωγής που πραγματοποιείται σκοτώνει τα παράσιτα και μπορεί να αυξήσει την πεπτικότητα (Tran et al., 2008).

### 2.3.2 Ξηρές Τροφές μέσω Ψυχρής Συμπίεσης (Cold Pressed)

Οι τροφές ψυχρής συμπίεσης για σκύλους είναι σχετικά νέα μέθοδος παρασκευής, αλλά η δημοτικότητα της αυξάνεται ταχέως καθώς διαθέτει όλα τα πλεονεκτήματα της πιο συμβατικής επεξεργασίας ξηρών τροφών, της εξώθησης, χωρίς τα μειονεκτήματα που φέρουν οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Στη μέθοδο της ψυχρής συμπίεσης τα συστατικά αναμιγνύονται με κρύο νερό και στη συνέχεια συμπιέζονται υπό χαμηλή θερμική επεξεργασία για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Η μέγιστη θερμοκρασία της διεργασίας είναι οι 75 °C, όπου εξασφαλίζει τη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών, ιδιαίτερα των ελαίων, αλλά και την εξουδετέρωση των μικροβίων. Ωστόσο, τα συστατικά πρέπει να στεγνώσουν και να αλεστούν πριν από την συμπίεση και μερικά πρέπει επίσης να προμαγειρευτούν. Έτσι, ενώ υπάρχει ένα ορισμένο επίπεδο προεπεξεργασίας, το τελικό στάδιο, αυτό της συμπίεσης, είναι λιγότερο εντατικό από την εξώθηση (Gyles, 2017).

### 2.3.3 Ξηρές Τροφές μέσω Ξήρανσης με Αέρα (Air Dried)

Στη ξήρανση μέσω αέρα τα συστατικά αρχικά είναι φρέσκα και όχι αλεσμένα ή προμαγειρεμένα. Η τροφή εκτίθεται σε ένα ρεύμα θερμού αέρα και το νερό απομακρύνεται μέσω της εξάτμισης που θεωρείται ότι μειώνει τη ζημία στις πρωτεΐνες, τις βιταμίνες και τα ένζυμα σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ξηρών τροφών. Ορισμένες τροφές που έχουν αποξηραθεί μέσω αέρα πρέπει να ενυδατωθούν πριν τη διάθεση τους. Έτσι, ενώ οι συσκευασίες μπορεί να φαίνονται μικρές, ο όγκος της τροφής που λαμβάνεται τελικώς είναι μεγαλύτερος (Gyles, 2017).

### 2.3.4 Ξηρές Τροφές μέσω Λυοφιλίωσης (Freeze Dried)

Τα λυοφιλοποιημένα τρόφιμα δημιουργούνται πρώτα με κατάψυξη και στη συνέχεια με ήπια θέρμανση των συστατικών σε κενό για να αφαιρεθεί τυχόν υγρασία. Με αυτόν τον τρόπο, τα θρεπτικά συστατικά υφίστανται πολύ μικρή ζημία, καθιστώντας την αναμφισβήτητη, την πιο φυσική μορφή ξηρής τροφής που είναι διαθέσιμη στην αγορά. Οι λυοφιλοποιημένες τροφές για σκύλους τείνουν επίσης να είναι αρκετά κοστοβόρες, αλλά έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, χωρίς την ανάγκη για τεχνητά συντηρητικά. Όπως συμβαίνει με ορισμένες τροφές που έχουν αποξηραθεί στον αέρα, πολλές λυοφιλοποιημένες τροφές απαιτούν επανυδάτωση με νερό πριν από τη διάθεση τους στο κατοικίδιο (Gyles, 2017).

## 2.4 Υγρές Τροφές

Οι υγρές τροφές για κατοικίδια έχουν χάσει κάποιο μερίδιο αγοράς με τα χρόνια, αλλά παραμένουν μία δημοφιλή επιλογή. Τις περισσότερες φορές κυκλοφορούν σε κονσερβοποιημένες συσκευασίες. Τα συστατικά αναμιγνύονται και μαγειρεύονται πριν σφραγιστούν υπό κενό στα δοχεία τους. Στη συνέχεια αποστειρώνονται με θερμότητα. Οι θερμοκρασίες και η διάρκεια, τόσο του μαγειρέματος όσο και της αποστείρωσης, μπορεί να

ποικίλλουν σημαντικά, αλλά συνήθως η αποστείρωση περιλαμβάνει θερμοκρασίες άνω των 100 °C, με συνηθέστερη αυτή των 121 °C, για περίοδο περίπου 3 λεπτών (Zicker, 2008). Οι υποστηρικτές της ωμής διατροφής πιστεύουν ότι τέτοια υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας είναι πιθανό να βλάψουν ορισμένα από τα φυσικά θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στο φαγητό. Ωστόσο, η σφράγιση υπό κενό και η αποστείρωση εξασφαλίζουν μεγάλη διάρκεια ζωής, χωρίς την ανάγκη τεχνητών πρόσθετων. Οι υγρές τροφές προτιμώνται και αυτές, ως μία εύκολη και γρήγορη λύση, αφού χρησιμοποιούνται κατευθείαν και είναι εύπεπτες από τα κατοικίδια (Guy, 2004; Sgorlon et al., 2022).

Οι υγρές τροφές περιέχουν πολύ περισσότερο νερό από τις αντίστοιχες ξηρές τροφές. Η περιεκτικότητα σε υγρασία κυμαίνεται σε ποσοστά 60% έως 87% w/w (Zicker, 2008). Για κάποιους αγοραστές το γεγονός αυτό, κάνει τα υγρά τρόφιμα να μοιάζουν μία πιο φυσική επιλογή, τουλάχιστον σε σύγκριση με ορισμένους τύπους ξηρών τροφών, όπως αυτές μέσω εξώθησης. Η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί επίσης να είναι ευεργετική για τους σκύλους που δεν πίνουν πολύ νερό ή για εκείνους με ιατρικό ιστορικό που περιέχει, για παράδειγμα, ουροποιητικά προβλήματα. Η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό σημαίνει ωστόσο, ότι η ποσότητα που δίνεται στο κατοικίδιο είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με μία ξηρή τροφή, γεγονός που καθιστά τις υγρές τροφές μία πιο κοστοβόρα επιλογή (Guy, 2004). Οι υγρές τροφές διατίθενται σε διάφορες μορφές.

#### 2.4.1 Πατέ

Τα πατέ γεύματα μπορούν να αναγνωριστούν από τη σταθερή και ομοιόμορφη σύστασή τους. Πολλοί ιδιοκτήτες κόβουν σε φέτες ή πολτοποιούν αυτά τα τρόφιμα πριν τα δώσουν στο κατοικίδιο τους. Τα τρόφιμα πατέ αποτελούν επί του παρόντος, την πλειονότητα της αγοράς υγρών τροφίμων. Προκειμένου να παραχθεί η συγκεκριμένη τροφή και να επιτευχθεί η χαρακτηριστική υφή, τα τρόφιμα πατέ χρειάζονται πηκτικούς παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι αρκετά αμφιλεγόμενοι (Dainton et al., 2021).

#### 2.4.2 Κομμάτια σε ζελέ (Chunks in Jelly)

Τα γεύματα που είναι σε μορφή κομματιών σε ζελέ υπάρχουν εδώ και χρόνια και εξακολουθούν να αποτελούν τη μερίδα του λέοντος στην αγορά οικονομικών υγρών τροφίμων. Σε αυτές τις τροφές περιέχονται κομμάτια, είτε κρέατος, είτε λαχανικών και σιτηρών (Zicker, 2008).

### 2.5 Ημι- υγρές Τροφές

Οι ημι-υγρές ή μαλακές ξηρές τροφές εμφανίστηκαν λόγω ανάγκης, αφού στην αγορά οι υγρές τροφές πωλούνται κυρίως σε μικρές συσκευασίες, οι οποίες καλύπτουν τις ανάγκες γατών και μικρών σκύλων, αλλά όχι μεγάλων σκυλιών. Με αφορμή τις μεγάλες συσκευασίες των υγρών τροφών λοιπόν, που δεν θα ήταν καθόλου πρακτικές, αναπτύχθηκαν τα προϊόντα ενδιάμεσης υγρασίας με πολύ λιγότερο περιεχόμενο νερό, το οποίο κυμαίνεται από 15% έως 30% w/w. Τα συγκεκριμένα προϊόντα πωλούνται σε μεγάλους πλαστικούς σωλήνες ή σακούλες και αποθηκεύονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Guy, 2004). Περιλαμβάνουν φρέσκους ή κατεψυγμένους ζωικούς ιστούς, δημητριακά, λίπη και απλά σάκχαρα ως κύρια συστατικά τους και έχουν πιο απαλή υφή από τις ξηρές τροφές για κατοικίδια, γεγονός που συμβάλλει στην γευστικότητα τους και τη αποδοχή τους από τα ίδια τα κατοικίδια. Διάφορες μέθοδοι συντήρησης χρησιμοποιούνται για την πρόληψη μόλυνσης και αλλοίωσης των ημι-υγρών τροφών, που επιτρέπουν την παρατεταμένη διάρκεια ζωής τους. Συγκεκριμένα, η προσθήκη διαφόρων υγροσκοπικών



ουσιών όπως αλάτι, απλά σάκχαρα, γλυκερίνη ή σιρόπι καλαμποκιού, μειώνει την ενεργότητα νερού του τροφίμου, γεγονός που εμποδίζει την ανάπτυξη μολυσματικών οργανισμών. Περαιτέρω προστασία παρέχεται από συντηρητικά όπως το σορβικό κάλιο, το οποίο εμποδίζει την ανάπτυξη ζυμομυκήτων και μούχλας. Μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν μικρές ποσότητες οργανικών οξέων για τη μείωση του pH των προϊόντων και την αναστολή της βακτηριακής ανάπτυξης (Zicker, 2008).

Τα ημι-υγρά τρόφιμα δεν χρειάζονται ψύξη πριν το άνοιγμα τους και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Το κόστος αυτών των τροφίμων είναι συνήθως μεταξύ του κόστους των ξηρών και των υγρών προϊόντων. Ωστόσο, τα προϊόντα που πωλούνται ως συσκευασίες μιας μερίδας είναι συχνά συγκρίσιμα σε τιμή με τις υγρές τροφές για κατοικίδια. Ωστόσο, αυτά τα προϊόντα στεγνώνουν και χάνουν την ελκυστικότητα όταν αφήνονται στο μπολ ενός κατοικίδιου για μεγάλο χρονικό διάστημα.

*Πίνακας 1: Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά ξηρών, ημι-υγρών και υγρών τροφών για σκύλους*

	<b>AF (as fed) basis</b>	<b>DM (dry matter) basis</b>
<b>Ξηρές Τροφές</b>		
Υγρασία (%)	6-10	0
Λιπαρά (%)	7-20	8-22
Πρωτεΐνη (%)	16-30	18-32
Υδατάνθρακες (%)	41-70	46-74
ME (kcal/kg)	2800-4050	3000-4500
<b>Ημι-υγρές Τροφές</b>		
Υγρασία (%)	15-30	0
Λιπαρά (%)	7-10	8-14
Πρωτεΐνη (%)	17-20	20-28
Υδατάνθρακες (%)	40-60	58-72
ME (kcal/kg)	2550-2800	3000-4000
<b>Υγρές Τροφές</b>		
Υγρασία (%)	75	0
Λιπαρά (%)	5-8	20-32
Πρωτεΐνη (%)	7-13	28-50
Υδατάνθρακες (%)	4-13	18-57
ME (kcal/kg)	875-1250	3500-5000
<i>AF: όπως δίνεται στον σκύλο, DM: σε ξηρή βάση, ME: μεταβολίσιμη ενέργεια</i>		

## 2.6 Ωμές Τροφές

Η ωμή σίτιση θεωρείται από πολλούς ιδιοκτήτες ως η πιο φυσική επιλογή διατροφής για το κατοικίδιο και την τελευταία δεκαετία έχει γίνει η ταχύτερα αναπτυσσόμενη τάση σίτισης. Πολλοί ιδιοκτήτες επιλέγουν να ετοιμάζουν οι ίδιοι το γεύμα του κατοικίδιου φίλου τους, αλλά και ένας αυξανόμενος αριθμός εταιρειών αναπτύσσει προπαρασκευασμένες πλήρεις ωμές τροφές, συνήθως με τη μορφή κατεψυγμένων τεμαχίων, που παρέχουν όλα τα οφέλη της ωμής σίτισης με όλη την άνεση μιας συμβατικής τροφής για σκύλους. Ωστόσο, πολλοί κτηνίατροι και ειδικοί του κλάδου έχουν εκφράσει ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και τη διατροφική ισορροπία των ωμών τροφών (Finley et al., 2006).

## 2.7 Φρέσκες Τροφές

Μια άλλη κατηγορία τροφών για κατοικίδια, που φαίνεται να αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια στη βιομηχανία τροφίμων για κατοικίδια, είναι οι φρέσκες πλήρεις τροφές. Η ιδέα είναι ότι παρέχουν μία εκδοχή οικιακής μαγειρικής για κατοικίδια, και το τελικό προϊόν αποτελεί μία ισορροπημένη επιλογή διατροφής από φρέσκα υλικά υψηλής ποιότητας, μαγειρεμένα και συσκευασμένα υπό κενό. Με φρέσκα συστατικά και χαμηλό επίπεδο επεξεργασίας, τα φρέσκα πλήρη τρόφιμα διατηρούν υψηλό το ποσοστό των φυσικών θρεπτικών συστατικών τους, σε σύγκριση με τα συμβατικά ξηρά και υγρά τρόφιμα. Ωστόσο, δεδομένου ότι δεν προστίθενται συντηρητικά και τα τρόφιμα δεν έχουν αποστειρωθεί όπως τα τυπικά υγρά τρόφιμα, τα φρέσκα προϊόντα διατροφής έχουν πολύ μικρότερη διάρκεια ζωής. Για το λόγο αυτό, οι φρέσκες τροφές για κατοικίδια πρέπει να διατηρούνται στο ψυγείο ακόμα και όταν είναι σφραγισμένες. Στο ψυγείο συνήθως διαρκούν έως και 14 ημέρες από την ημερομηνία παρασκευής, αλλά μπορούν επίσης να καταψυχθούν και να αποψυχθούν αργότερα πριν από τη διάθεσή τους (Novotny et al., 2010).

## 2.8 Treats και Snacks (λιχουδιές)

Τα σνακς και οι λιχουδιές γίνονται όλο και πιο δημοφιλή στους ιδιοκτήτες κατοικίδιων τα τελευταία χρόνια. Αυτή η τάση θεωρείται ότι αντανακλά τον μεταβαλλόμενο ρόλο που είχαν οι σκύλοι και οι γάτες στην κοινωνία τις τελευταίες δεκαετίες. Οι ιδιοκτήτες κατοικίδιων αγοράζουν λιχουδιές όχι λόγω της θρεπτικής τους αξίας, αλλά ως τρόπο να δείξουν αγάπη και στοργή στα κατοικίδια τους. Οι ιδιοκτήτες κατοικίδιων χρησιμοποιούν επίσης λιχουδιές ως βοηθήματα εκπαίδευσης, για να ενισχύσουν τις επιθυμητές συμπεριφορές, ως προϊόντα που προάγουν την οδοντική υγεία των ζώων συντροφιάς, κατά την άφιξη ή την αναχώρηση τους από τον χώρο που κατοικούν, με σκοπό να δώσουν το αίσθημα της ασφάλειας στο κατοικίδιο, αλλά και ως μέσο για να δοθεί η αίσθηση ποικιλίας στη διατροφή του.

Επειδή τα συναισθηματικά οφέλη για το κατοικίδιο είναι πρωταρχικό κίνητρο για την αγορά λιχουδιών, η γευστικότητα έχει μεγάλη σημασία. Οι ιδιοκτήτες ενδιαφέρονται λιγότερο για τη θρεπτική αξία ενός σνακ, αλλά περισσότερο για την εμφάνιση και την οσμή του. Τα πρώτα χρόνια της παραγωγής τους, όλες οι λιχουδιές για σκύλους είχαν τη μορφή ψημένων μπισκότων. Με την πάροδο του χρόνου, αναπτύχθηκαν και κυκλοφόρησαν στην αγορά διαφορετικά σχήματα, μεγέθη και γεύσεις μπισκότων. Επειδή οι λιχουδιές αγοράζονται συχνά με παρόρμηση ή λόγω καινοτομίας, οι ιδιοκτήτες είναι πιο πιθανό να δοκιμάσουν μια νέα γεύση ή είδος λιχουδιάς παρά να αλλάξουν εντελώς τη κύρια τροφή του κατοικίδιου. Για να επωφεληθούν από αυτό, οι κατασκευαστές συνέχισαν να αναπτύσσουν νέους τύπους σνακ για σκύλους και γάτες (Hooda et al., 2012).

Παρόλο που οι λιχουδιές και τα σνακ δεν χρειάζεται να είναι πλήρη διατροφικά, ένα σημαντικό ποσοστό αυτών των προϊόντων έχει σχεδιαστεί για να είναι πλήρεις και ισορροπημένα, και ορισμένα μπισκότα και ημι-υγρές λιχουδιές φέρουν τις ίδιες διατροφικές ετικέτες με τις βασικές τροφές για σκύλους και γάτες. Γενικά, οι λιχουδιές και τα σνακ είναι ιδιαίτερα ελκυστικά για τα κατοικίδια και κοστίζουν σημαντικά περισσότερο από τη βασική τροφή τους, σύμφωνα με το βάρος τους. Λόγω αυτού του κόστους δικαιολογούνται και τα μεγαλύτερα χρηματικά ποσά που διατίθενται στην αγοραλογία (marketing) και στη βελτιστοποίηση των προϊόντων αυτών (Guy, 2004).

Σήμερα, οι λιχουδιές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πέντε βασικούς τύπους, ημι-υγρές, μπισκότα, οδοντικά μασήματα, μασώμενες λιχουδιές και δέρματα ζώων. Οι λιχουδιές για γάτες είναι συνήθως σε ημι-υγρή μορφή ή μορφή μπισκότου, ενώ τα δέρματα και οι μασώμενες λιχουδιές είναι πολύ δημοφιλή στους σκύλους. Πολλές λιχουδιές φτιάχνονται για να μοιάζουν με τροφές που τρώνε συνήθως οι άνθρωποι, όπως χάμπουργκερ, λουκάνικα, μπέικον, τυρί, ακόμα και παγωτό. Έχει παρατηρηθεί ότι όλο και περισσότερο προτιμώνται λιχουδιές που παρασκευάζονται με αποκλειστικά φυσικά συστατικά, μπισκότα που προάγουν την οδοντική υγεία και μασήματα που παρασκευάζονται από μέρη του σώματος των ζώων, όπως αυτιά, οπλές, ακόμη και μύτη.

### 2.8.1 Οδοντικά Μασήματα

Τα συγκεκριμένα σνακ είναι σχεδιασμένα για να προάγουν την οδοντική υγεία μειώνοντας τη συσσώρευση πέτρας και πλάκας στα δόντια ενός κατοικίδιου ζώου. Συνηθίζουν να μοιάζουν με κόκαλα αλλά δεν παρασκευάζονται από οστά ζώων. Μερικά είναι φτιαγμένα από άμυλο καλαμποκιού ή άλλα εύπεπτα συστατικά (Clarke et al., 2011; Gorrel & Bierer, 1999).

### 2.8.2 Μασώμενες λιχουδιές

Οι μασώμενες λιχουδιές παρασκευάζονται συνήθως από αφυδατωμένα ή λυοφιλοποιημένα (freeze-dried) κρέατα και έχουν διάφορες γεύσεις όπως βοδινό, κοτόπουλο και ψάρι. Διατίθενται και με γεύσεις φρούτων, και ξεχωρίζουν για την τραγανή τους υφή. Πολλοί ιδιοκτήτες σκύλων θεωρούν ότι οι συγκεκριμένες λιχουδιές έχουν πολύ αποτελεσματική χρήση κατά την εκπαίδευση, λόγω της γευστικότητας τους (Marx et al., 2016).

### 2.8.3 Μπισκότα

Πρόκειται για τραγανές λιχουδιές που παρασκευάζονται με συνδυασμό συστατικών, όπως κρέας, δημητριακά, λαχανικά και φρούτα. Είναι κατάλληλες για καθημερινή χρήση και διατίθενται σε διάφορες γεύσεις σχήματα και μεγέθη ανάλογα τις ανάγκες και προτιμήσεις του κάθε κατοικίδιου (Kerjíska-Pacelik et al., 2023).

### 2.8.4 Ημι-υγρές λιχουδιές

Πρόκειται για μαλακές λιχουδιές με μαστιχωτή υφή, που μπορούν να έχουν διάφορες γεύσεις, σχήματα και υφές. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, καθώς δίνουν γρήγορα ευχαρίστηση με την έντονη γεύση και μαλακή υφή που έχουν (Guy, 2004; Sanderson, 2021).



### 2.8.5 Μασήματα ακατέργαστου δέρματος

Τα μασήματα ακατέργαστου δέρματος είναι φτιαγμένα από δέρμα ζώων που έχει υποστεί επεξεργασία για να αφαιρεθούν οι τρίχες και το λίπος. Αποτελούν ένα δημοφιλές είδος λιχουδιάς για σκύλους που παρασκευάζεται από το εσωτερικό στρώμα του δέρματος, καθαρίζεται και στη συνέχεια κόβεται ή αλέθεται σε διάφορα σχήματα, όπως κόκκαλα, ραβδιά ή κόμπους (Guy, 2004). Αυτές οι λιχουδιές συχνά κυκλοφορούν στο εμπόριο ως οδοντικά μασήματα, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στον καθαρισμό των δοντιών ενός σκύλου. Τα μασήματα από ακατέργαστο δέρμα προτιμώνται και θεωρούνται από πολλούς ιδιοκτήτες η πιο φυσική και υγιεινή επιλογή λιχουδιάς, καθώς αποτελείται αποκλειστικά από φυσικά συστατικά και έχουν λάβει την λιγότερο δυνατή επεξεργασία. Ταυτόχρονα, μπορούν να προσφέρουν ψυχαγωγία και πνευματική διέγερση για τους σκύλους, καθώς και να βοηθήσουν στην ικανοποίηση της φυσικής τους τάσης για μάσημα (Harvey et al., 1996; Hooda et al., 2012; Stookey, 2009). Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα μασήματα από ακατέργαστο δέρμα δεν είναι κατάλληλα για όλους τους σκύλους. Μερικοί σκύλοι μπορεί να έχουν πρόβλημα στην πέψη τους ή μπορεί να είναι επιρρεπείς σε πνιγμό ή άλλα πεπτικά προβλήματα εάν καταπιούν μεγάλα κομμάτια.

Υπάρχουν επίσης ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια των μασημάτων από ακατέργαστο δέρμα, καθώς ορισμένα μπορεί να υποβληθούν σε επεξεργασία με χημικά ή συντηρητικά που θα μπορούσαν να είναι επιβλαβή για τους σκύλους. Είναι σημαντικό να επιλέγονται υψηλής ποιότητας μασήματα ακατέργαστου δέρματος από αξιόπιστους κατασκευαστές και να υπάρχει συνεχής επίβλεψη του κατοικίδιου ενώ μασάει, για να διασφαλιστεί ότι δεν θα καταπιεί μεγάλα κομμάτια (Guy, 2004).

## Κεφάλαιο 3: Διεργασίες Αφυδάτωσης

### 3.1 Εισαγωγή

Η αφυδάτωση είναι ίσως η παλαιότερη γνωστή μέθοδος συντήρησης τροφίμων. Η αποξήρανση των καρπών στον ήλιο και το κάπνισμα ψαριών και κρεάτων είναι και οι δύο γνωστές διεργασίες που ξεκίνησαν από την αρχαιότητα. Ένα αποξηραμένο προϊόν προσφέρει το πλεονέκτημα του μειωμένου βάρους, το οποίο δίνει τη δυνατότητα εξοικονόμησης χώρου και κόστους μεταφοράς. Ωστόσο, συχνά υπάρχουν επιπτώσεις στην ποιότητα του αφυδατωμένου προϊόντος, επειδή οι περισσότερες από τις συμβατικές τεχνικές, χρησιμοποιούν υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της αφυδάτωσης. Η όλο και μεγαλύτερη ανάγκη των καταναλωτών για ένα ποιοτικό τελικό προϊόν, δηλαδή ένα προϊόν που έχει την λιγότερη δυνατή απώλεια οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, έχει φέρει στο προσκήνιο πολλές νέες τεχνικές, οι οποίες εφαρμόζονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ή και μειωμένους χρόνους αφυδάτωσης. Επιπλέον, η δυνατότητα για ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων, μέσω αυτών των αντισυμβατικών τεχνικών, έχει κάνει τη βιομηχανία τροφίμων να τις λάβουν ακόμα πιο σοβαρά υπόψιν τους.

Οι περισσότερες διεργασίες αφυδάτωσης πραγματοποιούνται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι το στάδιο απομάκρυνσης της υγρασίας με σταθερό ρυθμό. Η απομάκρυνση της υγρασίας γίνεται με σταθερό ρυθμό επειδή η εσωτερική υγρασία μεταφέρεται προς την επιφάνεια του προϊόντος, με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο συμβαίνει η εξάτμιση. Το δεύτερο στάδιο είναι το αργό. Σε αυτό το στάδιο εμφανίζονται διαφορετικοί ρυθμοί απομάκρυνσης υγρασίας καθώς αλλάζει το προϊόν φάσεις. Όταν επιτευχθεί ένα κρίσιμο επίπεδο υγρασίας, η αφυδάτωση αρχίζει να πραγματοποιείται με φθίνουσα ταχύτητα. Αυτό το κρίσιμο σημείο είναι ξεχωριστό για κάθε προϊόν. Πριν την επιλογή οποιασδήποτε μεθόδου θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλοί παράγοντες, όπως ο τύπος του προϊόντος που πρόκειται να αφυδατωθεί, το επιθυμητό τελικό προϊόν, η ευαισθησία που έχει στη θερμότητα και το κόστος επεξεργασίας. Δεν υπάρχει κάποια ιδανική τεχνική που εφαρμόζεται σε όλα τα προϊόντα (Cohen & Yang, 1995).

### 3.2 Ηλιακή ή Υπαίθρια Ξήρανση

Η υπαίθρια ξήρανση είναι ίσως η παλαιότερη διεργασία αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται. Σίγουρα χρονολογείται από την αρχαιότητα, και έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά διαφορετικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων φρούτων, κρεάτων, ψαριών και φυτών. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία έχει αρκετά μειονεκτήματα, τα οποία περιορίζουν τη χρήση της για παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα. Μερικά από αυτά είναι η απαίτηση χώρου και η έκθεση στις εναλλαγές των καιρικών φαινομένων. Επιπλέον, υπάρχει δυσκολία στον έλεγχο του ρυθμού ξήρανσης, αλλά και η πιθανότητα κάποιας μικροβιακής μόλυνσης. Τέλος, κίνδυνο αποτελεί και η τυχόν προσβολή των προϊόντων από έντομα (Cohen & Yang, 1995).

### 3.3 Αφυδάτωση με Θερμό Αέρα

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την έκθεση του προϊόντος σε συνεχή ροή αέρα για την απομάκρυνση της υγρασίας. Διάφοροι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την αφυδάτωση των τροφίμων με ζεστό αέρα, όπως για παράδειγμα η ταχύτητα και η θερμοκρασία αέρα, ο συντελεστής διάχυσης νερού μέσω του υλικού, αλλά και το πάχος και το σχήμα του προϊόντος που πρόκειται να αφυδατωθεί (Mujumdar, 2020). Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι φυσικά ακίνδυνη και μη τοξική και παρέχει ομοιόμορφο και ασφαλές

προϊόν, που μπορεί να έχει παρατεταμένη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, η ποιότητα αυτών των προϊόντων, σχετικά με την θρεπτική αξία αλλά και την αισθητική τους εμφάνιση, συχνά μειώνεται δραστικά (Vega et al., 2007). Επιπλέον, αυτή η τεχνική οδηγεί σε υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις και παρατεταμένο χρόνο ξήρανσης, κάτι το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει μεγάλη συρρίκνωση, μειωμένη φαινόμενη πυκνότητα και απώλεια ικανότητας επανυδάτωσης, ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες (Sturm et al., 2012).

Η διεργασία συνήθως επιταχύνεται εάν το προϊόν βρίσκεται σε κίνηση. Ανεξάρτητα όμως αν το υλικό είναι ακίνητο ή σε κίνηση, τη μεγαλύτερη αντίσταση στη μεταφορά μάζας φέρνει το υλικό. Πιο συγκεκριμένα, το στάδιο της αγωγής, δηλαδή της μεταφοράς του περιεχόμενου νερού από το εσωτερικό, στο εξωτερικό του τροφίμου, είναι πολύ πιο αργό από το στάδιο της συναγωγής, δηλαδή της απομάκρυνσης του νερού από το τρόφιμο μέσω του αέρα. Κάτω από αυτήν τη συνθήκη, μελέτες έχουν δείξει ότι η διακοπτόμενη ξήρανση ή η σταδιακή αλλαγή της θερμοκρασίας φέρνουν επιθυμητά αποτελέσματα και είναι συμφέρουσες επιλογές. Όταν διακόπτεται η ροή του αέρα, το υλικό ηρεμεί και οι κλίσεις συγκέντρωσης του νερού μειώνονται. Το νερό διαχέεται στην επιφάνεια και εξατμίζεται ευκολότερα όταν η ροή αέρα ξεκινά και πάλι, ενώ ταυτόχρονα η συνολική κατανάλωση αέρα μειώνεται σημαντικά. Από την άλλη πλευρά, οι αλλαγές στην θερμοκρασία ξήρανσης ενός προϊόντος φαίνεται να μειώνουν τις δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα, συγκριτικά με αυτές που παρατηρήθηκαν στη διακοπτόμενη ξήρανση (Lewicki, 2006).

### 3.4 Αφυδάτωση με Τύμπανο

Η ξήρανση με τύμπανο αποτελεί μία διεργασία που εφαρμόζεται στα τρόφιμα που είναι σε μορφή πολτού, πάστας ή υγρού. Είναι συνήθως συνεχής λειτουργία, και πραγματοποιεί την απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο μέσω της τοποθέτησης του στην επιφάνεια ενός μονού ή διπλού περιστρεφόμενου, θερμαινόμενου τύμπανου. Το τύμπανο θερμαίνεται με ατμό και με την περιστροφή του τυμπάνου, το τρόφιμο αφυδατώνεται και απομακρύνεται. Σημαντικό ρόλο στη διεργασία έχει η αρχική τοποθέτηση του τροφίμου στο τύμπανο, και για αυτόν το λόγο πρέπει να διασφαλιστεί ότι το προϊόν που πρόκειται να αφυδατωθεί, προσκολλάται καλά στην επιφάνεια. Έτσι, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί να τροποποιηθεί το υγρό προϊόν, με την προσθήκη άλλων ουσιών για να αλλάξει η επιφανειακή τάση ή το ιξώδες του (Almena et al., 2019). Επίσης, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση πρέπει να ελέγχονται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Αυτή η τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στο παρελθόν, αλλά η χρήση της για την επεξεργασία τροφίμων μειώνεται καθώς άλλες μέθοδοι ξήρανσης, οι οποίες προκαλούν λιγότερη θερμική ζημία, είναι διαθέσιμες. Ένα παράδειγμα ενός προϊόντος που αφυδατώνεται με ξήρανση τυμπάνου είναι η ζελατίνη (Cohen & Yang, 1995).

### 3.5 Αφυδάτωση με Ψεκασμό

Η αφυδάτωση με ψεκασμό αποτελεί επίσης μία γνωστή μέθοδο αφυδάτωσης. Εφαρμόζεται, εξίσου με την αφυδάτωση με τύμπανο, σε υγρά τρόφιμα και η διεργασία περιλαμβάνει την μετατροπή του αρχικά υγρού τροφίμου που ρέει ελεύθερα, σε σωματίδια, με την βοήθεια ενός θερμού αέριου ξηρού μέσου (Santos et al., 2018). Μερικά παραδείγματα προϊόντων που αφυδατώνονται με ψεκασμό είναι ο στιγμιαίος καφές, το τσάι και το γάλα σκόνη (Cohen & Yang, 1995). Η εξέλιξη της συγκεκριμένης μεθόδου επηρεάστηκε άμεσα από τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου υπήρχε επιτακτική ανάγκη να μειωθεί το βάρος των τροφίμων και άλλων υλικών που χρειαζόταν να μεταφέρονται. Έτσι, η ξήρανση με ψεκασμό έγινε σημείο αναφοράς στη βιομηχανία κυρίως των

γαλακτοκομικών προϊόντων. Στην μεταπολεμική περίοδο η μέθοδος εξελίχθηκε και βρήκε εφαρμογή σε βιομηχανίες φαρμάκων, χημικών, κεραμικών και πολυμερών (Santos et al., 2018).

Ένα μεγάλο μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι το μέγεθος του εξοπλισμού που απαιτείται για να επιτευχθεί η αφυδάτωση. Επιπλέον, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προϊόντα. Για παράδειγμα, πολύ λιπαρά υλικά μπορεί να απαιτούν ειδική προετοιμασία για να αφαιρεθούν τα υπερβολικά επίπεδα λίπους πριν τον ψεκασμό. Ωστόσο, γίνονται συνεχείς βελτιώσεις της διαδικασίας (Cohen & Yang, 1995).

### 3.6 Αφυδάτωση με Κατάψυξη ή Λυοφιλοποίηση

Η αφυδάτωση με κατάψυξη ή λυοφιλοποίηση θεωρείται η μέθοδος με το καλύτερο ποιοτικά τελικό αφυδατωμένο προϊόν, συγκριτικά με όλες τις μεθόδους αφυδάτωσης (Lewicki, 2006). Η μέθοδος βασίζεται στην αρχή της ιδιότητας του παγωμένου νερού, το οποίο υπό κενό μπορεί να αφαιρεθεί από ένα τρόφιμο και να συλλεχθεί χωρίς να περάσει από την υγρή φάση. Επειδή το υλικό παραμένει παγωμένο, δεν παρουσιάζεται θερμική ζημία. Επιπλέον, υπάρχει μικρή ή καθόλου απώλεια στα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, όπως γεύση και άρωμα, και επειδή η αφαίρεση των κρυστάλλων πάγου αφήνει έναν πορώδες με δομή κηρήθρας, το προϊόν τείνει να επανυδατώνεται γρήγορα (Cohen & Yang, 1995).

Η διαδικασία λυοφιλοποίησης περιλαμβάνει διάφορα στάδια. Το στάδιο της κατάψυξης αποτελεί το πρώτο στάδιο διαχωρισμού στη διαδικασία της λυοφιλοποίησης, και η απόδοση της συνολικής διεργασίας εξαρτάται σημαντικά από αυτό το στάδιο. Σε βιομηχανική κλίμακα, η κατάψυξη του προϊόντος γίνεται συνήθως στην ίδια μονάδα όπου γίνεται και η ξήρανση (Mujumdar, 2020). Μόλις το υλικό παγώσει, τοποθετείται σε θάλαμο κενού και χρησιμοποιείται αντλία κενού για την απομάκρυνση του αέρα από τον θάλαμο. Αυτό δημιουργεί ένα περιβάλλον χαμηλής πίεσης που επιτρέπει στο παγωμένο νερό να εξαχνώνεται απευθείας από στερεό σε αέριο. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία στον θάλαμο αυξάνεται αργά, γεγονός που προκαλεί την εξάχνωση και των υπόλοιπων μορίων νερού στο υλικό. Αυτό μπορεί να διαρκέσει από αρκετές ώρες έως αρκετές ημέρες, ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του υλικού που λυοφιλοποιείται. Μόλις αφαιρεθεί όλο το νερό, το υλικό σφραγίζεται σε αεροστεγές δοχείο για να αποτραπεί η επαναρρόφηση της υγρασίας (Soham Shukla, 2011).

Η λυοφιλοποίηση χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης τροφίμων, των φαρμακευτικών προϊόντων και της βιολογικής έρευνας. Η διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη διατήρηση ευαίσθητων υλικών στη θερμότητα ή άλλες μορφές αφυδάτωσης. Ταυτόχρονα, επιτρέπει την αποθήκευση υλικών για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς την ανάγκη ψύξης (Soham Shukla, 2011)

Ωστόσο, η λυοφιλοποίηση είναι μια αργή και δαπανηρή διαδικασία. Η μακρά διάρκεια της επεξεργασίας απαιτεί πρόσθετη ενέργεια, ώστε να τροφοδοτηθούν οι μονάδες ψύξης και ο συμπιεστής, γεγονός που κάνει τη διαδικασία πολύ ακριβή για εμπορική χρήση. Επομένως, η λυοφιλοποίηση χρησιμοποιείται συχνότερα για προϊόντα που μπορούν είτε να πωληθούν ως ιδιαίτερης αξίας (premium) προϊόντα ή που μπορούν να αντέξουν μόνο μια μικρή οργανοληπτική αλλοίωση (Cohen & Yang, 1995).

### 3.7 Αφυδάτωση με Μικροκύματα

Η ξήρανση με μικροκύματα περιλαμβάνει την έκθεση του υλικού σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα που είναι μέλη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στην περιοχή συχνοτήτων 300-300000 MHz, με τη τιμή των 2450 MHz να είναι η πιο συνηθισμένη στα τρόφιμα. Αυτά τα κύματα προκαλούν τα μόρια του νερού στο υλικό να δονούνται γρήγορα, δημιουργώντας θερμότητα που οδηγεί στην εξάτμιση του νερού (Cohen & Yang, 1995). Η ενέργεια μικροκυμάτων σπάνια χρησιμοποιείται μόνη της στις διαδικασίες ξήρανσης και συνήθως συνδυάζεται με ροή ζεστού αέρα. Σε αντίθεση με έναν θάλαμο στατικού αέρα, ο αέρας που ρέει επιτρέπει τη συνεχή αφαίρεση της υγρασίας, αυξάνοντας έτσι τον ρυθμό ξήρανσης και μειώνοντας τη θερμοκρασία του προϊόντος μέσω εξάτμισης. Επίσης, το προϊόν μπορεί να χρειαστεί να αναθεύεται ή να περιστρέφεται κατά τη διαδικασία ξήρανσης για να διασφαλιστεί ότι η θερμότητα κατανέμεται ομοιόμορφα. Ο χρόνος που απαιτείται για την αφυδάτωση με μικροκύματα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η περιεκτικότητα σε υγρασία του υλικού, το μέγεθος, το σχήμα του υλικού και η ισχύς του φούρνου μικροκυμάτων (Haghi & Amanifard, 2008).

Ένα πλεονέκτημα της ξήρανσης σε φούρνο μικροκυμάτων είναι ότι είναι μια σχετικά γρήγορη διεργασία. Είναι ταυτόχρονα μια ενεργειακά αποδοτική διαδικασία, καθώς η ενέργεια των μικροκυμάτων επικεντρώνεται στο υλικό που αφυδατώνεται, αντί να θερμαίνει τον περιβάλλοντα αέρα. Ωστόσο, η ξήρανση σε μικροκύματα δεν είναι κατάλληλη για όλα τα προϊόντα, καθώς ορισμένα μπορεί να καταστραφούν από την έκθεση σε υψηλά επίπεδα ενέργειας μικροκυμάτων ή να μην μπορούν να απορροφήσουν αποτελεσματικά την ενέργεια μικροκυμάτων (Sutar & Prasad, 2008).

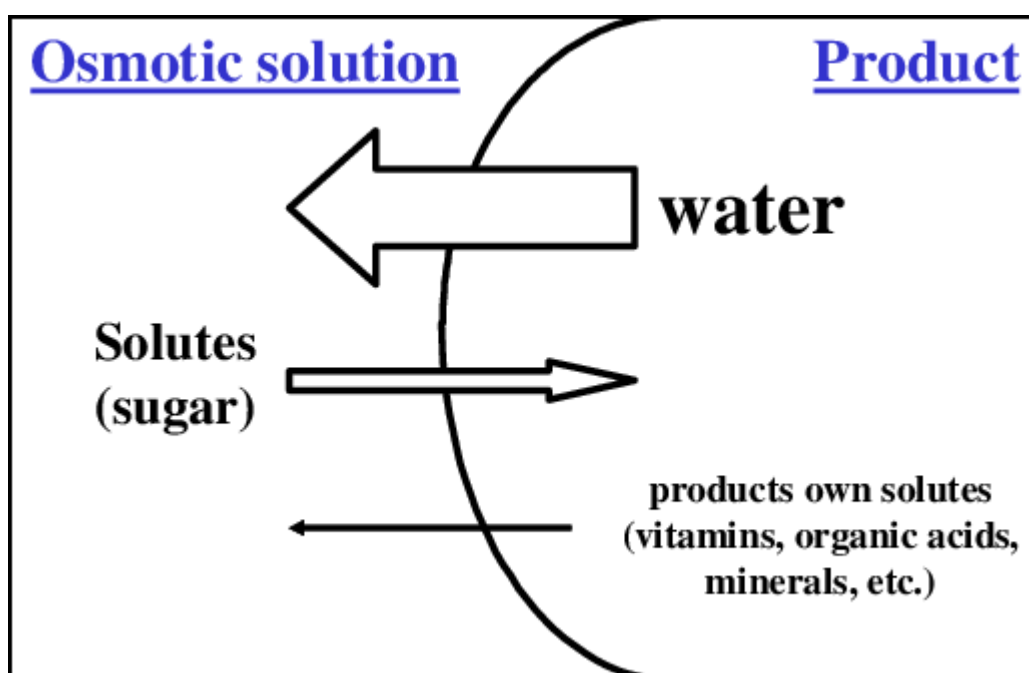
### 3.8 Ωσμωτική Αφυδάτωση

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μερική απομάκρυνση του νερού είναι η ωσμωτική αφυδάτωση. Η συγκεκριμένη μέθοδος περιλαμβάνει την εμβάπτιση του προϊόντος σε υπερτονικό διάλυμα, με υψηλή ωσμωτική πίεση, όπως ένα υψηλής συγκέντρωσης διάλυμα σακχάρου ή άλατος, με σκοπό την μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία (Mohammad Shafiur Rahman, 2007). Στα τρόφιμα συνηθίζεται να χρησιμοποιείται και ως προκατεργασία πριν την κύρια μέθοδο ξήρανσης, αλλά μπορεί να πραγματοποιηθεί και κατά τη διάρκεια ή και μετά, για ενίσχυση του ρυθμού μεταφοράς μάζας ή και μείωση του χρόνου ξήρανσης. Ακόμα, η συρρίκνωση του προϊόντος κατά την μετέπειτα ξήρανση, είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σύγκριση με τα προϊόντα που προκύπτουν από συμβατικές διαδικασίες ξήρανσης (Akbarian & Ghasemkhani, 2014).

#### 3.8.1 Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μία ήπια διαδικασία που περιλαμβάνει τη μεταφορά μάζας με αντίθετο ρεύμα, δηλαδή την ταυτόχρονη απομάκρυνση του νερού και τον εμποτισμό διαλυμένων στερεών στο τρόφιμο, μέσω εμποτισμού του σε συμπυκνωμένο διάλυμα ζάχαρης ή και αλατιού (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται τρία είδη φαινομένων μεταφοράς μάζας. Ένα είναι η εκροή νερού από τον ιστό των προϊόντων στο ωσμωτικό διάλυμα. Το δεύτερο είναι η μεταφορά διαλυμένης ουσίας από το ωσμωτικό διάλυμα στο εσωτερικό του προϊόντος. Και το τρίτο είναι η έκπλυση των διαλυμένων ουσιών του ιστού, όπως σάκχαρα, οργανικά οξέα, άλατα και βιταμίνες, στο ωσμωτικό διάλυμα. Το τρίτο φαινόμενο είναι ποσοτικά αμελητέο, συγκριτικά με τα δύο πρώτα, αλλά έχει ουσιαστικό ρόλο όσον αφορά τη σύνθεση του

προϊόντος. Η κινητήρια δύναμη των φαινομένων είναι η διαφορά στην ωσμωτική πίεση εκατέρωθεν της ημιπερατής κυτταρικής μεμβράνης του τροφίμου. Προϋπόθεση για να πραγματοποιηθεί το φαινόμενο, αποτελεί το υπερτονικό διάλυμα να έχει υψηλότερη ωσμωτική πίεση με χαμηλότερη ενεργότητα νερού. Η απομάκρυνση του νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση γίνεται κυρίως με διάχυση και τριχοειδή ροή, ενώ η πρόσληψη ή η έκπλυση διαλυμένης ουσίας γίνεται μόνο με διάχυση (Akbarian & Ghasemkhani, 2014). Στην περίπτωση που η κυτταρική μεμβράνη ήταν απόλυτα ημιπερατή, οι διαλυμένες ουσίες δεν θα μπορούσαν να μεταφερθούν μέσω αυτής στο εσωτερικό των κυττάρων. Όμως, οι ημιπερατές μεμβράνες στα τρόφιμα δεν είναι τέλειες λόγω της πολυπλοκότητας στην εσωτερική τους δομή ή λόγω πιθανών βλαβών κατά τη διάρκεια προηγούμενης επεξεργασίας τους. Ως εκ τούτου, επιτρέπεται η αντίθετη ροή διαλυμένων ουσιών και νερού (Mohammad Shafiur Rahman, 2007).



Εικόνα 1: Φαινόμενα μεταφοράς μάζας στην ωσμωτική αφυδάτωση

Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για την περιγραφή της κινητικής των δύο αντίθετων ροών στην ωσμωτική αφυδάτωση. Τα κύρια μεγέθη που περιγράφουν την ωσμωτική αφυδάτωση είναι η απώλεια της υγρασίας (Water Loss-WL) και η ολική πρόσληψη στερεών (Solid Gain-SG). Τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις (Panagiotou et al., 1998):

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \quad (1)$$

$$SG = \frac{(m - m_0)}{m_0} \quad (2)$$

όπου,  $M_0$ : το αρχικό βάρος του δείγματος πριν την ωσμωτική αφυδάτωση,

$M$ : το βάρος μετά την ώσμωση,



m: το ξηρό βάρος του δείγματος μετά την ώσμωση και

m<sub>0</sub>: το αρχικό ξηρό βάρος χωρίς την ώσμωση.

### 3.8.1.1 Μοντελοποίηση

Για τη συσχέτιση των δύο αυτών μεγεθών, WL και SG, με τις παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εμπειρικά ή ημι-εμπειρικά μοντέλα τα οποία προσεγγίζουν το τρόφιμο είτε μακροσκοπικά είτε και μικροσκοπικά.

#### 3.8.1.1.1 Azuara's Model

Το μοντέλο του Azuara αναπτύχθηκε το 1992 και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των WL και SG στην ωσμωτική αφυδάτωση, με βάση τα ισοζύγια μάζας. Η εξίσωση του μοντέλου απαιτεί δύο ρυθμιζόμενες παραμέτρους,  $s_1$  ή  $s_2$  και  $WL_\infty$  ή  $SG_\infty$ , και είναι σε θέση να προβλέψει τους συντελεστές μεταφοράς μάζας και το τελικό σημείο ισορροπίας. Τα WL και SG δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις (Assis et al., 2016):

$$WL = \frac{s_1 * t * WL_\infty}{1 + s_1 * t} \quad (3)$$

$$SG = \frac{s_2 * t * SG_\infty}{1 + s_2 * t} \quad (4)$$

όπου,  $WL_\infty$  και  $SG_\infty$ : WL και SG ισορροπίας αντίστοιχα (kg dry solids/ kg total weight) και

$s_1, s_2$ : παράμετροι Azuara ( $s^{-1}$ ).

Τα  $WL_\infty$  και  $SG_\infty$  εκτιμώνται από την γραφική παράσταση των γραμμικοποιημένων εξισώσεων (3) και (4) αντίστοιχα.

#### 3.8.1.1.2 Peleg's Model

Ο Peleg πρότεινε μία εξίσωση που περιγράφει την καμπύλη της υγρασίας, η οποία προσεγγίζει την ισορροπία ασυμπτωματικά (Assis et al., 2016; Schmidt et al., 2009).

$$WL = \frac{t}{k_1^w + k_2^w * t} \quad (5)$$

$$SG = \frac{t}{k_1^s + k_2^s * t} \quad (6)$$

Όπου,  $k_1^w, k_1^s$ : παράμετρος Peleg ( $s * kg$  συνολικού βάρους/kg νερού(w) ή στερεών (s)) και

$k_2^w, k_2^s$ : παράμετρος Peleg (kg συνολικού βάρους / kg νερού(w) ή στερεών (s))

Η παράμετρος  $k_1$  σχετίζεται με τον αρχικό ρυθμό μεταφοράς μάζας και η παράμετρος  $k_2$  με την περιεκτικότητα σε υγρασία στην ισορροπία. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να υπολογιστούν από την γραμμικοποίηση των εξισώσεων (5) και (6).

#### 3.8.1.1.3 Page's Model

Σε μελέτη με σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασης της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας του αέρα ξήρανσης και της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας του προϊόντος, στο ρυθμό ξήρανσης, ο Page παρατήρησε ότι η ξήρανση μίας λεπτής φέτας καλαμποκιού ακολουθούσε μία απλή εκθετική εξίσωση:

$$\frac{WL}{WL_\infty} = 1 - e^{-A_w * t^{B_w}} \quad (7)$$

όπου,  $A_w$ : σταθερά αφυδάτωσης και

$B_w$ : παράμετρος Page.

Μελέτες έχουν δείξει ότι το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί και στην ωσμωτική αφυδάτωση και να περιγράψει το SG με την παρακάτω εξίσωση (Assis et al., 2016).

$$\frac{SG}{SG_{\infty}} = 1 - e^{-A_s * t^{B_s}} \quad (8)$$

### 3.8.2 Παράγοντες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση είναι αρκετοί, όπως η φύση του προϊόντος που επεξεργάζεται, δηλαδή το μέγεθος, το σχήμα και ο ιστός του, ο ωσμωτικός παράγοντας, η συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας, η αναλογία διαλύματος και δείγματος, η θερμοκρασία που λαμβάνει χώρα η διεργασία, ο χρόνος διάρκειας και η ανάδευση του διαλύματος (Akbarian & Ghasemkhani, 2014).

#### 3.8.2.1 Γεωμετρία Τροφίμου

Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση είναι το προϊόν που πρόκειται να αφυδατωθεί, και συγκεκριμένα το μέγεθος και το σχήμα του. Ειδικότερα, μέχρι μία ορισμένη αναλογία επιφάνειας προς το ήμισυ του πάχους του τροφίμου ( $A/L$ ), μεγαλύτερες ειδικές επιφάνειες, όπως δαχτυλίδια, δίνουν μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, σε σύγκριση με δείγματα μικρότερης επιφάνειας, όπως φέτες ή λωρίδες. Υπερβαίνοντας όμως μία οριακή τιμή του  $A/L$ , τα δείγματα με πολύ μεγάλη επιφάνεια, όπως κύβοι, αν και έχουν υψηλή πρόσληψη στερεών, υστερούν στην απώλεια νερού, έχοντας ως αποτέλεσμα λιγότερη απώλεια βάρους. Αυτή η συσχέτιση λιγότερης απώλειας νερού με το αυξανόμενο  $A/L$  εξηγείται ως αποτέλεσμα της μειωμένης διάχυσης νερού λόγω υψηλής πρόσληψης σακχάρων (Akbarian & Ghasemkhani, 2014).

#### 3.8.2.2 Ωσμωτικός Παράγοντας

Όπως είναι λογικό, η επιλογή του ωσμωτικού διαλύματος έχει σημαντικό ρόλο στην διεργασία τη ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οι συνήθεις τύποι διαλυμένης ουσίας που χρησιμοποιούνται ως ωσμωτικοί παράγοντες είναι η σακχαρόζη, η γλυκόζη, η σορβιτόλη, η γλυκερίνη, η γλυκόζη και το σιρόπι καλαμποκιού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνες ή και σε συνδυασμούς (Mohammad Shafiur Rahman, 2007). Τα διαλύματα ζάχαρης και αλατιού έχουν αποδειχθεί οι καλύτερες επιλογές με βάση την αποτελεσματικότητα, την ευκολία και τη γεύση (Tortoe, 2010). Συμπεριληπτικά, το κόστος της διαλυμένης ουσίας, η οργανοληπτική συμβατότητα της με το τελικό προϊόν και η πρόσθετη δράση συντήρησης, που μπορεί να έχει, είναι από τους βασικούς παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της (Tortoe, 2010).

#### 3.8.2.3 Ιδιότητες Διαλυμένης Ουσίας

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι φυσικοχημικές ιδιότητες της διαλυμένης ουσίας επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση. Έχει παρατηρηθεί ότι το μοριακό βάρος, η ιοντική κατάσταση και η διαλυτότητα της διαλυμένης ουσίας στο νερό προκαλούν διαφορές στη συμπεριφορά του ωσμωτικού διαλύματος.



Το μοριακό μέγεθος και το σχήμα της διαλυμένης ουσίας μπορεί να επηρεάσει το πόσο εύκολα περνά μέσα από την κυτταρική μεμβράνη του τροφίμου. Οι πιο μεγάλες μοριακά διαλυμένες ουσίες έχουν μεγαλύτερη δυσκολία στη διέλευση, γεγονός που μπορεί να επιβραδύνει τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Akbarian & Ghasemkhani, 2014). Επιπλέον, το σχήμα της διαλυμένης ουσίας μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρά με το τρόφιμο και τελικά να επηρεάσει τη συνολική αποτελεσματικότητα της διεργασίας (Mohammad Shafiur Rahman, 2007).

Επίσης, το pH του διαλύματος μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα των διαλυμένων ουσιών και του τροφίμου. Γενικά, ένα ελαφρώς όξινο pH προτιμάται για την ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης και στη διατήρηση της δομής του τροφίμου (Tortoe, 2010).

#### *3.8.2.4 Συγκέντρωση Διαλυμένης Ουσίας*

Η αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων ουσιών στον ωσμωτικό παράγοντα, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απώλειας νερού, αλλά και της πρόσληψης στερεών. Αυτό έχει αποδοθεί στην ενεργότητα νερού του ωσμωτικού διαλύματος, η οποία μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας στο ωσμωτικό διάλυμα και κατά συνέπεια η διαφορά ωσμωτικής πίεσης αυξάνεται (Akbarian & Ghasemkhani, 2014). Επίσης, μελέτες έχουν δείξει ότι με την αύξηση του ωσμωτικού παράγοντα, δημιουργείται στην επιφάνεια του τροφίμου ένα πυκνό στρώμα, που λειτουργεί ως φράγμα, και ενισχύει το αποτέλεσμα της αφυδάτωσης, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την απώλεια θρεπτικών συστατικών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Ένα παρόμοιο στρώμα δημιουργείται και στην περίπτωση ωσμωτικού διαλύματος με διαλυμένες ουσίες που έχουν μεγαλύτερα μοριακά βάρη, ακόμα και αν έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις (Tortoe, 2010).

#### *3.8.2.5 Αναλογία Ωσμωτικού Διαλύματος και Δείγματος*

Αύξηση του λόγου μάζας ωσμωτικού διαλύματος προς μάζα δείγματος, οδηγεί σε αύξηση τόσο της πρόσληψης στερεών, όσο και της απώλειας νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Για να αποφευχθεί η σημαντική αραιώση του διαλύματος και η επακόλουθη μείωση της κινητήριας δύναμης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, οι αναλογίες που εφαρμόζονται σε βιομηχανικές κλίμακες είναι πολύ μεγάλες, τουλάχιστον 30:1. Αντίθετα, κάποιοι ερευνητές, εφαρμόζουν πολύ χαμηλότερες αναλογίες, όπως 5:1 ή 3:1, προκειμένου να παρατηρούν τη μεταφορά μάζας παρακολουθώντας τις αλλαγές της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος (Akbarian & Ghasemkhani, 2014; Tortoe, 2010).

#### *3.8.2.6 Θερμοκρασία Ωσμωτικού Διαλύματος*

Η πιο σημαντική μεταβλητή που επηρεάζει την κινητική κατά την ωσμωτική αφυδάτωση είναι η θερμοκρασία. Έχει παρατηρηθεί, ότι κατά την ωσμωτική επεξεργασία, όταν η θερμοκρασία του υπερτονικού διαλύματος αυξάνεται, υπάρχει αύξηση της απώλειας νερού, ενώ η πρόσληψη στερεών επηρεάζεται λιγότερο. Η αύξηση απώλειας νερού οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενισχύεται η διάχυση του νερού διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση πρόσληψης στερεών οφείλεται πιθανά στην διόγκωση της μεμβράνης, η οποία βελτιώνει την διαπερατότητα της (Akbarian & Ghasemkhani, 2014).

### 3.8.2.7 Χρόνος Διάρκειας Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Η χρονική διάρκεια της διεργασίας είναι και αυτή μία σημαντική παράμετρος σχεδιασμού. Σε θεωρητικό επίπεδο, η ωσμωτική αφυδάτωση συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της ενεργότητας νερού του διαλύματος και του τροφίμου. Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί, κυρίως σε φρούτα και λαχανικά, και έχουν δείξει ότι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, διαφορετικό για κάθε προϊόν, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας διαφοροποιούνται ελάχιστα. Έχει προκύψει λοιπόν ότι η πρώτη χρονική περίοδος, που κυμαίνεται από 1 έως 5 h, ανάλογα το τρόφιμο, είναι η πιο σημαντική, αφού σε αυτό το στάδιο τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας έχουν υψηλό ρυθμό. Ως εκ τούτου, σε αυτήν την περιοχή είθισται να επιλέγεται η χρονική διάρκεια της διεργασίας (Akbarian & Ghasemkhani, 2014).

### 3.8.2.8 Ανάδευση Ωσμωτικού Διαλύματος

Έρευνες έχουν δείξει ότι η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ενισχύεται από την ανάδευση ή την κυκλοφορία του ωσμωτικού διαλύματος γύρω από το δείγμα, αφού αυτή η αδιάκοπη κίνηση διασφαλίζει μία συνεχή επαφή της επιφάνειας του δείγματος με το ωσμωτικό διάλυμα. Ως εκ τούτου, η ανάδευση έχει σημαντική επίδραση στην απώλεια νερού, όταν αυτή έχει μεγάλη αντίσταση. Αυτό συμβαίνει όταν επικρατεί υψηλό ιξώδες. Έχει παρατηρηθεί μάλιστα ότι η ανάδευση ευνοεί ειδικότερα σε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω των 30 °C, όπου το ιξώδες είναι υψηλό, και κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων της ώσμωσης. Από την άλλη πλευρά έχει παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός πρόσληψης στερεών μειώνεται. Βέβαια, για μικρές χρονικές περιόδους διεργασίας, η ανάδευση δεν έχει κάποια επίδραση στην πρόσληψη στερεών (Tortoe, 2010).

### 3.8.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Αν και η αρχή της ώσμωσης ως μέσο απομάκρυνσης νερού είναι διαθέσιμη εδώ και αρκετά χρόνια, η εφαρμογή της στα τρόφιμα μπορεί να θεωρηθεί μία νέα και βελτιωμένη τεχνική με δυνατότητα ουσιαστικής βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων και με σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας (Tortoe, 2010). Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει την ικανότητα να διατηρεί τις οργανοληπτικές και λειτουργικές ιδιότητες των προϊόντων, όπως των βιταμινών και μετάλλων, του χρώματος, αλλά ταυτόχρονα παρατείνει την ιδιότητα της γεύσης και τη διάρκεια ζωής τους (Yadav & Singh, 2014). Πιο συγκεκριμένα, έχει προκύψει από μελέτες ότι η ωσμωτική αφυδάτωση, ως προκατεργασία της συμβατικής ξήρανσης με συναγωγή, διατηρεί περισσότερο την γεύση και τα αρώματα του προϊόντος, συγκριτικά με τη απλή ξήρανση με θερμό αέρα (Tortoe, 2010). Επίσης η θερμική αλλοίωση ελαχιστοποιείται, καθώς τα προϊόντα δεν υπόκεινται σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Mohammad Shafiur Rahman, 2007).

Ταυτόχρονα, η αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών για μεγάλα χρονικά διαστήματα καθιστά την διεργασία και λιγότερο κοστοβόρα, καθώς καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια (Mohammad Shafiur Rahman, 2007). Οι Lenart & Lewicki (1988) υπολόγισαν ότι η κατανάλωση ενέργειας στην ωσμωτική αφυδάτωση στους 40 °C, με επανασυμπύκνωση του σιροπιού με εξάτμιση, είναι τουλάχιστον δύο φορές λιγότερη από αυτήν της συμβατικής ξήρανσης με συναγωγή στους 70 °C (Tortoe, 2010).

Επιπλέον, με την χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φρούτα και λαχανικά δίνεται η δυνατότητα να διατίθενται όλα τα είδη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αντιμετωπίζοντας

έτσι το πρόβλημα της υπερφαγίας φρούτων και λαχανικών ανά εποχή (Akbarian & Ghasemkhani, 2014). Επιπρόσθετα, ως προς τις οικονομικές ωφέλειες της διεργασίας συνυπολογίζεται και το μειωμένο κόστος συσκευασίας και διανομής του προϊόντος. Η μείωση του περιεχόμενου νερού μειώνει το βάρος και το μέγεθος των τροφίμων, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η αποθήκευση και η συσκευασία τους (Tortoe, 2010).

Ακόμη, με την ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να αποφευχθεί η χημική επεξεργασία για τη μείωση της ενζυμικής αμαύρωσης που πραγματοποιείται στη βιομηχανία των τροφίμων (Mohammad Shafiur Rahman, 2007). Τα σάκχαρα που υπάρχουν στο ωσμωτικό διάλυμα επιδρούν ως αποτελεσματικοί αναστολείς του ενζύμου της πολυφαινολικής οξειδάσης, το οποίο και καταλύει το οξειδωτικό μαύρισμα πολλών φρούτων. Αφετέρου, προσλαμβάνουν τυχών απώλειες πτητικών ουσιών, που ευθύνονται για την γεύση, κατά τη διάρκεια μεταγενέστερης ξήρανσης (Tortoe, 2010).

Ένα ακόμα πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί η σταθερότητα του προϊόντος κατά τη διάρκεια αποθήκευσης του. Το προϊόν που λαμβάνεται με ωσμωτική διαδικασία είναι πιο σταθερό από τα μη επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, λόγω χαμηλότερης ενεργότητας νερού και πρόσληψης στερεών με ταυτόχρονη απώλεια νερού (Tortoe, 2010). Σε χαμηλές ενεργότητες νερού, οι χημικές αντιδράσεις που επιδεινώνουν την κατάσταση του προϊόντος μειώνονται, όπως και η ανάπτυξη και παραγωγή τοξινών από διάφορους μικροοργανισμούς (Akbarian & Ghasemkhani, 2014). Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει χρησιμοποιηθεί λοιπόν σαν προκατεργασία για την αποφυγή αυτών των φαινομένων στην κονσερβοποίηση φρούτων και λαχανικών υψηλής υγρασίας, αλλά και στα φρούτα που προορίζονται για συνοδευτικά γιαουρτιών. Τέλος, το αλάτι, που ανήκει στις διαλυμένες ουσίες του ωσμωτικού διαλύματος, μειώνει τη διαλυτότητα του οξυγόνου, περιορίζοντας έτσι την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών (Mohammad Shafiur Rahman, 2007).

Βέβαια, εκτός από πλεονεκτήματα η μέθοδος της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει και κάποιους περιορισμούς τεχνικής φύσεως που την εμποδίζουν να εφαρμοστεί στη βιομηχανία τροφίμων.

Ένα κύριο μειονέκτημα της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι ότι μπορεί να αυξήσει την αλμυρή ή την γλυκιά γεύση ή και να μειώσει την οξύτητα του προϊόντος, που μπορεί να μην είναι επιθυμητές αλλαγές σε ορισμένες περιπτώσεις. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τον έλεγχο της διάχυσης της διαλυμένης ουσίας και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας για τη καλύτερευση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος. Μία λύση είναι να εφαρμοστεί προστατευτική βρώσιμη επικάλυψη εμπλουτισμένη με ειδικά πρόσθετα, η οποία μειώνει την επιφανειακή μικροβιακή ανάπτυξη και παρέχει ιδιότητες φραγμού που χρειάζονται για την υγρασία και το οξυγόνο κατά την αποθήκευση. Οι βρώσιμες ημιπερατές μεμβράνες επικάλυψης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση πρόσληψης διαλυμένης ουσίας και ταυτόχρονη αύξηση της απώλειας νερού. Ωστόσο, οφείλεται να πραγματοποιηθούν μικροβιολογικοί και οργανοληπτικοί έλεγχοι, ώστε να δοθεί πλήρη επικύρωση της διαδικασίας (Mohammad Shafiur Rahman, 2007).

Ένας επίσης ενδοιασμός που υπάρχει από τις βιομηχανίες σχετικά με την χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης, είναι η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος. Μία πιθανή λύση που έχει προταθεί και αποδειχθεί υλοποιήσιμη είναι η ανακύκλωση του. Βέβαια, με το πέρας των ανακυκλώσεων, η μικροβιακή μόλυνση αυξάνεται. Συμπληρωματικά με τον παράγοντα του

κόστους του σιροπιού, που αποτελεί πρώτη ύλη στο ωσμωτικό διάλυμα, η διαχείριση του διαλύματος έχει γίνει μία βιομηχανική πρόκληση. Επιπλέον, ο έλεγχος της σύστασης κατά τη διάρκεια της ανακύκλωσης είναι ευκολότερος για διαλύματα που περιέχουν μία διαλυμένη ουσία, συγκριτικά από τα μικτά. Οι διεργασίες που ακολουθούνται για να ανακυκλωθεί το αραιωμένο διάλυμα είναι είτε επανασυμπύκνωση με εξάτμιση, είτε αντίστροφη ώσμωση (Akbarian & Ghasemkhani, 2014).

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί η ανάγκη για περαιτέρω μελέτες, ώστε να υπάρξει πραγματική κατανόηση της διακύμανσης των σταθερών ισορροπίας και του ρυθμού με τις μεταβλητές της διαδικασίας και τα χαρακτηριστικά των τροφίμων. Οι περισσότερες από τις μελέτες ώσμωσης έχουν ασχοληθεί με την ποιοτική πρόβλεψη των παραγόντων επεξεργασίας, αλλά απαιτείται περισσότερη ποσοτική πρόβλεψη για βιομηχανική χρήση στο σχεδιασμό και έλεγχο της διεργασίας (Mohammad Shafiur Rahman, 2007).

### 3.8.4 Προηγούμενες Μελέτες Ωσμωτικής Αφυδάτωσης σε Ζωικούς Ιστούς

Η ωσμωτική αφυδάτωση σε φρούτα και λαχανικά έχει μελετηθεί ευρέως. Ωστόσο, μελέτες για προϊόντα κρέατος έχουν αναφερθεί μόνο τα τελευταία χρόνια. Η ωσμωτική αφυδάτωση συναντάται κυρίως σαν προκατεργασία στην ξήρανση των κρεάτων με θερμό αέρα, μικροκύματα ή λυοφιλοποίηση. Σκοπός της είναι η βελτίωση των διατροφικών, αισθητικών και λειτουργικών ιδιοτήτων των κρεάτων, η μείωση ζημίας λόγω θερμικής επεξεργασίας και η ελαχιστοποίηση των αλλαγών στο χρώμα και τη γεύση τους (AZUARA et al., 2007). Η ωσμωτική αφυδάτωση σε προϊόντα κρέατος διεξάγεται συνήθως σε χαμηλές θερμοκρασίες, 10-20°C και ο κύριος ωσμωτικός παράγοντας που χρησιμοποιείται στην ωσμωτική αφυδάτωση του κρέατος είναι το χλωριούχο νάτριο, σε συγκεντρώσεις συνήθως μεγαλύτερες από 15%. Αν και δεν υπάρχουν ακόμα πολλές βιβλιογραφικές πηγές που θέτουν την ωσμωτική αφυδάτωση σε ζωική πρώτη ύλη, τα ικανοποιητικά αποτελέσματα που έχουν προκύψει από τη μελέτη φρούτων και λαχανικών έχουν δώσει το έναυσμα στο να πραγματοποιηθούν όλο και περισσότερες, με σκοπό την παρατήρηση των μεγεθών WL και SG ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες της διεργασίας, σχετικά με το χρόνο, τη θερμοκρασία και την ανάδευση του ωσμωτικού μέσου (Dimakoroulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016).

#### 3.8.4.1 Επίδραση Θερμοκρασίας

Όπως είναι αναμενόμενο, στους ζωικούς ιστούς, όπως και στα φρούτα και λαχανικά, έχει παρατηρηθεί κατά κανόνα, ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες, όπου το ιξώδες του διαλύματος μειώνεται, ο ρυθμός του WL και του SG αυξάνεται. Πιο συγκεκριμένα όμως, από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε βόειο κρέας, παρατηρήθηκε ότι το μέγεθος SG σε ωσμωτικό διάλυμα τριών συστατικών, δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Αναφέρεται βέβαια στην ίδια έρευνα, ότι οι υψηλότερες τιμές του SG εμφανίστηκαν στους 25 °C, τόσο στα διαλύματα δύο, όσο και τριών συστατικών (Dimakoroulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016). Αντίστοιχα, σε μελέτη με πρώτη ύλη το κοτόπουλο, η θερμοκρασία ήταν ο παράγοντας με την μικρότερη στατιστικά σημαντική επίδραση στο WL, ενώ δεν φάνηκε να έχει σημαντική επίδραση στο SG (Filiponí et al., 2017). Φαίνεται λοιπόν, ότι η θερμοκρασία, αν και επηρεάζει, δεν αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα στην εξέλιξη της ωσμωτικής αφυδάτωσης ζωικών ιστών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ωστόσο, ότι σε υψηλές συγκεντρώσεις σακχάρου και χαμηλές

θερμοκρασίες υπάρχει μεγάλη δυσκολία χειρισμού του διαλύματος, λόγω του υψηλού ιξώδους (Dimakoroulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016).

#### 3.8.4.2 Επίδραση Ωσμωτικού Παράγοντα

Όπως προαναφέρθηκε, ένας παράγοντας που επηρεάζει την ωσμωτική αφυδάτωση είναι και η σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος. Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό τη σύγκριση των δύο εναλλακτικών ως προς τα ωσμωτικά διαλύματα, δηλαδή με δύο ή τρία συστατικά. Σε μελέτη βόειου κρέατος, με χρήση διαλυμάτων δύο συστατικών (αλάτι και νερό) και τριών συστατικών (μαλτοδεξτρίνη, αλάτι και νερό), παρατηρήθηκε, ότι ο ρυθμός του WL είναι μεγαλύτερος στα διαλύματα τριών συστατικών, από αυτόν των δύο (Dimakoroulou-Papazoglou & Katsanidis, 2019). Από την άλλη πλευρά, σε αντίστοιχη έρευνα, η πρόσληψη στερεών φάνηκε να είναι μεγαλύτερη στα διαλύματα δύο συστατικών, λόγω του μεγαλύτερου μοριακού βάρους της μαλτοδεξτρίνης, συγκριτικά με το NaCl (Dimakoroulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016). Γενικότερα, τα διαλύματα τριών συστατικών, που περιέχουν σάκχαρα, εμφανίζουν μικρότερο SG. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο σχηματισμό ενός στρώματος υψηλής συγκέντρωσης σακχάρου που δημιουργείται γύρω από το τρόφιμο και μειώνει το συντελεστή διάχυσης του άλατος. Για παράδειγμα, η προσθήκη σουκρόζης σε διάλυμα KCl και νερό μπορεί να μειώσει το συντελεστή διάχυσης άλατος έως και 11 φορές (Collignan et al., 2001).

Ενώ λοιπόν η ύπαρξη σακχάρου στο ωσμωτικό διάλυμα μειώνει την πρόσληψη αλατιού, σε μελέτη που έγινε σε βοδινό κρέας με διάλυμα τριών συστατικών, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση του σακχάρου (μαλτοδεξτρίνη) που χρησιμοποιήθηκε δεν είχε στατιστικά σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα σε αλάτι των δειγμάτων κρέατος στο τέλος της διαδικασίας. Επομένως, το γεγονός ότι η ύπαρξη σακχάρου στο διάλυμα μειώνει την πρόσληψη αλατιού, δεν σημαίνει ότι όσο περισσότερο σάκχαρο προστεθεί στο διάλυμα, τόσο λιγότερο άλας θα προσροφήσει το τρόφιμο. Έτσι, στην περίπτωση διαλύματος τριών συστατικών, το χαμηλό επίπεδο αλατιού (στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε NaCl 5%) είναι ο σημαντικότερος περιοριστικός παράγοντας για την πρόσληψη αλατιού από το κρέας, ενώ το ιξώδες, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση σακχάρου έχουν μικρότερη σημασία για την κινητική πρόσληψης αλατιού. Η χρήση της μαλτοδεξτρίνης σε συνδυασμό με NaCl έχει χρησιμοποιηθεί και στην ωσμωτική αφυδάτωση ψαριών και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι ένας αποτελεσματικός ωσμωτικός παράγοντας που παρήγαγε τα επιθυμητά φαινόμενα μεταφοράς μάζας (Dimakoroulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016).

Ενδιαφέρον παρατήρηση που έγινε επίσης σε άλλη μελέτη είναι το γεγονός ότι, σε υψηλές συγκεντρώσεις ωσμωτικού μέσου, τη μεγαλύτερη επιρροή στον ρυθμό του WL φαίνεται να έχει η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος, και πολύ μικρότερο ρόλο παίζει η θερμοκρασία ή ακόμα και η σύσταση, δηλαδή ο αριθμός των συστατικών. Άρα, σε περιπτώσεις διαλύματος υψηλής συγκέντρωσης, εμφανίζονται υψηλά WL, ανεξαρτήτως συστατικών, ενώ σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις, το WL φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο και από την σύσταση, αλλά και τη θερμοκρασία (Dimakoroulou-Papazoglou & Katsanidis, 2019).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αρχικά, τα διαλύματα τριών συστατικών προέκυψαν ως ανάγκη. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση χλωριούχου νατρίου ως ωσμωτικός παράγοντας προκαλεί την απομάκρυνση του νερού, ενώ βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του προϊόντος,



όπως γεύση και υφή. Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, η υψηλή συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου στα ωσμωτικά διαλύματα προκαλεί επίσης αυξημένη πρόσληψη αλατιού από το κρέας, κάτι που θα μπορούσε να έχει αρνητικό αποτέλεσμα στην υγεία των καταναλωτών. Έτσι, αριθμός ερευνητών ξεκίνησε να εργάζεται για την μερική αντικατάσταση του χλωριούχου νατρίου, χρησιμοποιώντας διαλύματα τριών συστατικών, με συμπληρωματικές διαλυμένες ουσίες όπως η σακχαρόζη ή άλλα σάκχαρα, με κύριο στόχο την μείωση πρόσληψης άλατος από το κρέας (Dimakoroulou-Parazoglou & Katsanidis, 2016).

#### *3.8.4.3 Επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά*

Σχετικά με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, έχουν γίνει πολλές έρευνες. Σε μία μελέτη που έγινε σχετικά με την ωσμωτική αφυδάτωση σε φιλέτα στήθους κοτόπουλου, όσον αφορά το χρώμα του κοτόπουλου, προέκυψε ότι μετά τη διεργασία είχε μειωθεί η φωτεινότητα του, πολύ πιθανά λόγω αντικατάστασης μέρους ή και όλου του αέρα που υπάρχει στους πόρους του τροφίμου, με το ωσμωτικό διάλυμα. Ο εμποτισμός του τροφίμου στο ωσμωτικό διάλυμα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ομοιογένεια του δείκτη διάθλασης στον ιστό, αυξάνοντας έτσι τη διαφάνεια.

Σχετικά με την υφή, η διαδικασία της ώσμωσης μείωσε την σκληρότητα του δείγματος. Επίσης, η οργανοληπτική αξιολόγηση έδειξε ότι τα χαρακτηριστικά του ωσμωμένου προϊόντος είχαν καλύτερη βαθμολογία σχετικά με την γεύση και την οσμή, αλλά επίσης ότι έμειναν αναλλοίωτα με την πάροδο του χρόνου αποθήκευσης. Μάλιστα, η φρεσκάδα του προϊόντος διατηρήθηκε για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα δείγματα (Andreou et al., 2018).

#### *3.8.4.4 Επίδραση Ανάδευσης*

Άλλος ένας παράγοντας, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, που επηρεάζει την διεργασία είναι η ανάδευση. Πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί έδειξαν ότι στα διαλύματα τριών συστατικών, η ανάδευση σε χαμηλές θερμοκρασίες (5 °C-10 °C) ενίσχυσε το WL. Ωστόσο, αυτή η συμπεριφορά δεν εμφανίστηκε στους 25 °C. Στα διαλύματα δύο συστατικών προέκυψε ότι η ανάδευση δεν επηρέασε τα αποτελέσματα σε καμία θερμοκρασία (Dimakoroulou-Parazoglou & Katsanidis, 2019).

#### *3.8.4.5 Επίδραση Γεωμετρίας του Τροφίμου*

Σχετικά με την αλλαγή του όγκου του τροφίμου, σε έρευνα βόειου κρέατος, προέκυψε ότι μεγαλύτερη απώλεια νερού είχε ως αποτέλεσμα αναλογικά μεγαλύτερη μείωση όγκου. Ως εκ τούτου, υψηλότερες συγκεντρώσεις ωσμωτικών παραγόντων είχαν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη μείωση όγκου. Στην ίδια έρευνα, έγινε μελέτη σχετικά με την επίδραση που μπορεί να είχε στον όγκο του τροφίμου, η χρήση διαλύματος δύο ή τριών συστατικών. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι τα διαλύματα δύο και τριών συστατικών παρήγαγαν παρόμοια αποτελέσματα (Dimakoroulou-Parazoglou & Katsanidis, 2016). Μια παρόμοια παρατήρηση έχει γίνει και στην ωσμωτική αφυδάτωση κυλίνδρων και φετών μήλου σε διαλύματα σακχαρόζης, που βρέθηκε μια γραμμική σχέση μεταξύ του όγκου μήλου και της περιεκτικότητας σε υγρασία (Dimakoroulou-Parazoglou & Katsanidis, 2019).

#### 3.8.4.6 Επίδραση Χρόνου

Όπως είναι αναμενόμενο, ο χρόνος που παραμένει το προϊόν στο ωσμωτικό διάλυμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη διεργασία. Όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής, τόσο αυξάνεται το WL και SG αντίστοιχα. Επίσης, όσο περισσότερη χρονική διάρκεια έχει η διεργασία, τόσο μειώνεται και η ενεργότητα νερού του προϊόντος. Η ωσμωτική αφυδάτωση σε ζωική πρώτη ύλη, συνήθως κρατάει μέχρι 5 h, με πιο συνηθισμένη τιμή να είναι οι 2 h ή οι 3 h. Ο χρόνος, έχει φανεί να είναι ο πιο στατιστικά σημαντικός παράγοντας για την αύξηση του WL και SG, από όλους τους παράγοντες της διεργασίας που έχουν μελετηθεί (Filipović et al., 2017).

#### 3.8.4.7 Μαθηματικά Μοντέλα που έχουν Εφαρμοστεί

Τέλος, σχετικά με την μοντελοποίηση της διεργασίας, διάφορα είναι τα μοντέλα που έχουν εφαρμοστεί για να περιγράψουν τη διεργασία. Συχνότερα παρατηρείται να εφαρμόζεται το μοντέλο του Fick, αλλά και η μορφή της απλοποιημένης εξίσωσης του, με το απλοποιημένο μοντέλο να έχει δείξει καλύτερη εφαρμογή (Dimakoroulou-Parazoglou & Katsanidis, 2017). Ένα επίσης μοντέλο που έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά είναι αυτό του Peleg, το οποίο έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για την περιγραφή της απώλειας νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση του κρέατος (Dimakoroulou-Parazoglou et al., 2022; Dimakoroulou-Parazoglou & Katsanidis, 2016).

Συμπεριληπτικά, το γεγονός ότι η ωσμωτική αφυδάτωση εφαρμόζεται ευρέως σε φρούτα και λαχανικά και έχει αποδειχθεί ως αποτελεσματική μέθοδος αφυδάτωσης, αποτέλεσε κίνητρο για έρευνα εφαρμογής της μεθόδου σε ζωικούς ιστούς. Όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, αν και όχι πολλές, ερευνητικές μελέτες έχουν δείξει ότι η ωσμωτική αφυδάτωση σε ζωικούς ιστούς μπορεί να εφαρμοστεί και να αποτελέσει προκατεργασία στην κύρια μέθοδο ξήρανσης, ευνοώντας το προϊόν ποιοτικά. Ταυτόχρονα, οι τεράστιες ποσότητες παραπροϊόντων που προκύπτουν από τα σφαγεία ζώων, και η επιτακτική ανάγκη διαχείρισης τους με εναλλακτικούς και πιο βιώσιμους τρόπους, έχει οδηγήσει στο να βρίσκουν διάφορες εφαρμογές, όπως η χρήση τους για παραγωγή προϊόντων διατροφής κατοικίδιων ζώων. Μελετώντας λοιπόν αυτά τα προϊόντα, και συγκεκριμένα τις μασώμενες λιχουδιές, οι οποίες αποτελούνται κατά κύριο λόγο από παραπροϊόντα σφαγείων, έγινε αντιληπτό ότι για την παραγωγή τους απαιτούνται μεγάλης διάρκειας ξηράνσεις. Η μέθοδος αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες παραγωγής τέτοιων προϊόντων είναι η ξήρανση με θερμό αέρα, η οποία αποτελεί μία ενεργοβόρα και κοστοβόρα διεργασία. Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω δημιούργησε την ιδέα να μελετηθεί η ωσμωτική αφυδάτωση στα ζωικά παραπροϊόντα ως προκατεργασία της συμβατικής ξήρανσης, με στόχο την παραγωγή ενός ενεργειακά ευνοϊκότερου προϊόντος. Πρόκειται για ένα πρωτότυπο εγχείρημα, καθώς ο συνδυασμός αυτών των διεργασιών δεν έχει δοκιμαστεί σε παραπροϊόντα σφαγείων, αλλά ταυτόχρονα ελπιδοφόρο, αφού μελέτες έχουν εξαγάγει θετικά συμπεράσματα σε παραπλήσιες πρώτες ύλες.

Στόχος λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, σε δύο προϊόντα μασώμενων λιχουδιών, ένα με πρώτη ύλη καθαρισμένο, χωρίς τρίχωμα αυτί κουνελιού, και ένα με καθαρισμένο, ξυρισμένο δέρμα κεφαλής μόσχου, με στόχο την παραγωγή τελικού προϊόντος σε λιγότερο χρόνο ξήρανσης και ευνοϊκότερο ενεργειακά.

## Κεφάλαιο 4: Υλικά και Μέθοδοι

### 4.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η παραγωγή προϊόντων διατροφής οικόσιτων ζώων από ζωικά παραπροϊόντα. Την πρώτη ύλη των πειραμάτων αποτέλεσαν καθαρισμένα, χωρίς τρίχωμα, αυτιά κουνελιού και καθαρισμένο, ξυρισμένο, δέρμα κεφαλής μόσχου. Και οι δύο πρώτες ύλες προμηθεύτηκαν από ελληνική βιομηχανία αξιοποίησης παραπροϊόντων σφαγείων. Η πειραματική διαδικασία αποτελείται από μία σειρά πειραμάτων, τα οποία μπορούν να χωριστούν σε τέσσερα βασικά μέρη.

Το πρώτο στάδιο του πειραματικού μέρους αποτέλεσε ο χαρακτηρισμός της πρώτης ύλης. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της περιεκτικότητας πρωτεΐνης, λιπαρών και τέφρας, των πρώτων υλών. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκε μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης των ζωικών ιστών, με στόχο την εύρεση των βέλτιστων συνθηκών της διεργασίας. Οι συνθήκες που εξετάστηκαν είναι η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου και ο χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τα τελικά προϊόντα αξιολογήθηκαν βάση των μεγεθών ενεργότητας νερού, περιεχόμενης υγρασίας σε υγρή βάση (%), WL και SG. Στο τρίτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε μελέτη της κινητικής ξήρανσης με θερμό αέρα των ήδη προκατεργασμένων δειγμάτων, με σκοπό την παραγωγή βέλτιστου τελικού προϊόντος, ενώ για το δέρμα κεφαλής μόσχου υπολογίστηκαν και οι καμπύλες περιεχόμενης υγρασίας του προϊόντος για διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης. Στην περίπτωση των αυτιών κουνελιού, πραγματοποιήθηκε επίσης μελέτη της ξήρανσης με προσθήκη ενζύμου στο ωσμωτικό διάλυμα. Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της ενέργειας ξήρανσης για κάθε τελικό προϊόν που προέκυψε.

Όλες οι πειραματικές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

### 4.2 Προσδιορισμός Πρωτεϊνών

Οι πρωτεΐνες είναι σύνθετα μακρομόρια με μεγάλο μοριακό βάρος, που έχουν ως δομικούς λίθους τα αμινοξέα, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς. Για τον προσδιορισμό πρωτεΐνης στα αυτιά κουνελιού και στο δέρμα κεφαλής μόσχου ακολουθήθηκε το παρακάτω πρωτόκολλο.

Αρχικά ζυγίστηκαν 20 mg δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα με καπάκι, προστέθηκαν 2 ml HCl 6 N και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο 98 °C για 24 h. Έπειτα, οι δοκιμαστικοί σωλήνες μεταφέρθηκαν σε κρύο νερό ώστε να έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου και προστέθηκε σε αυτούς 2 ml 6 N NaOH. Στη συνέχεια ακολούθησε ανάδευση, εκ νέου ψύξη και προσθήκη 2 ml FAN buffer. Το FAN buffer αποτελείται από 4 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> και 6 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> διαλυμένα σε 100 ml. Το περιεχόμενο του δοκιμαστικού σωλήνα μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 200 ml που συμπληρώθηκε με νερό. Μετά, πραγματοποιήθηκε η παρασκευή των παρακάτω αντιδραστηρίων.

#### Ninhydrin color reagent

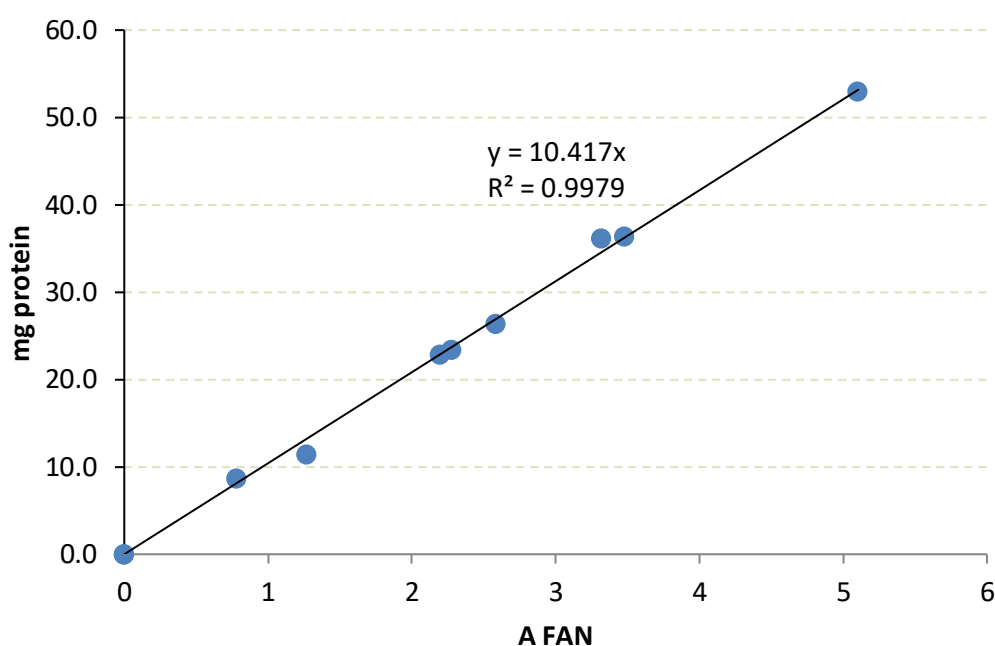
Ανάμειξη 4 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 6 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.5 g Ninhydrin και 0.3 g Fructose με νερό σε τελικό όγκο 100 ml.



### Dilution solution

Ανάμειξη 0.5 g KIO<sub>3</sub>, 100 ml αιθανόλη 96% και 150 ml νερό.

Μετάπειτα, το δείγμα από την ογκομετρική φιάλη αραιώθηκε σε 1:2. 0.5 ml από το αραιωμένο δείγμα και 250 ml ninhydrin color reagent προστέθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα. Παρασκευάστηκε επίσης τυφλό δείγμα χρησιμοποιώντας 0.5 ml νερό αντί για δείγμα. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες σφραγίστηκαν με καπάκι, ώστε να αποφευχθεί η εξάτμιση και παρέμειναν σε υδατόλουτρο στους 95 °C για 20 min. Κατόπιν, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κρύο νερό, μέχρι να φτάσουν στην θερμοκρασία δωματίου, προστέθηκε στο καθένα 1.25 ml dilution solution και ακολούθησε ανάδευση σε vortex. Έπειτα, τα δείγματα φωτομετρήθηκαν στα 575 nm στο φασματοφωτόμετρο UV-Vis HitachiU 2900. Η σχέση μεταξύ απορρόφησης και συγκέντρωσης πρωτεϊνών δίνεται από την παρακάτω καμπύλη αναφοράς, η οποία κατασκευάστηκε με αλβουμίνη βόειου ορού (BSA) ως πρότυπο.



Διάγραμμα 1: Καμπύλη αναφοράς πρωτοκόλλου μέτρησης πρωτεϊνών

### 4.3 Προσδιορισμός Λιπαρών

Τα λιπαρά είναι ένα από τα πρωτεύοντα συστατικά των τροφίμων, διότι αποτελούν κύρια πηγή ενέργειας. Σε πολλά τρόφιμα το περιεχόμενο σε λιπαρά παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών, όπως το άρωμα, η υφή και η εμφάνιση.

Για τον προσδιορισμό των λιπαρών στην πρώτη ύλη, τα δείγματα υπέστησαν λυοφιλοποίηση και άλεσμα. Η διεργασία της αφυδάτωσης, πραγματοποιήθηκε για την καλύτερη απόδοση της εκχύλισης, αφού πολλοί οργανικοί διαλύτες δεν μπορούν να διεισδύσουν στα τρόφιμα που περιέχουν νερό. Τα ξηρά δείγματα στη συνέχεια αλέστηκαν, για την καλύτερη ομοιογένεια του δείγματος και την αύξηση της επιφάνειας των λιπαρών που εκτίθενται στο διαλύτη. Ο διαλύτης που επιλέχθηκε για τα αυτιά κουνελιού είναι πετρελαϊκός αιθέρας, ενώ για το δέρμα κεφαλής μόσχου, εξάνιο.

Η μέθοδος εκχύλισης που εφαρμόστηκε είναι η μέθοδος Soxhlet, η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος ημισυνεχούς εκχύλισης. Περίπου 8 g από το ξηρό, αλεσμένο δείγμα μεταφέρθηκαν σε προζυγισμένο πορώδες φυσίγγιο, το οποίο με τη σειρά του εισήλθε στο θάλαμο εκχύλισης. Στη συνέχεια, ο θάλαμος εκχύλισης τοποθετήθηκε πάνω από τη φιάλη που υπάρχει ο διαλύτης και κάτω από τον ψυκτήρα. Έπειτα, ακολούθησε θέρμανση της φιάλης, και κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, ο διαλύτης εξατμιζόταν, υγροποιούταν στο ψυκτήρα και το υγρό έσταζε στο θάλαμο εκχύλισης. Τελικά, ο διαλύτης γέμιζε το θάλαμο εκχύλισης που περιείχε το δείγμα και κάλυπτε το δείγμα. Ο θάλαμος εκχύλισης είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε όταν ο διαλύτης φτάσει σε ένα επίπεδο, υπερχειλίζει και επιστρέφει στη φιάλη. Καθώς περνούσε από το δείγμα ο διαλύτης, εκχύλιζε τα λιπαρά και τα μετέφερε στη φιάλη. Τα λιπαρά παρέμειναν στη φιάλη λόγω της χαμηλής πτητικότητάς τους. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε σε διάρκεια δύο ημερών.

Έπειτα, μετά το πέρας της εκχύλισης, το περιεχόμενο της φιάλης μεταφέρθηκε σε στεγνή και προζυγισμένη φιάλη απόσταξης. Η απόσταξη πραγματοποιήθηκε υπό κενό, σε περιστρεφόμενο αποστακτήρα Hei-VAP Value Digital Rotary Evaporator και η φιάλη απόσταξης περιστρεφόταν μέσα σε υδατόλουτρο 40 °C. Μετά το πέρας της διαδικασίας, η φιάλη ζυγίστηκε εκ νέου.



Εικόνα 2: Συσκευή περιστρεφόμενου αποστακτήρα Hei-VAP

#### 4.4 Προσδιορισμός Τέφρας

Σαν τέφρα ορίζεται το υπόλειμμα από ανόργανα συστατικά, που παραμένει στο τρόφιμο μετά την καύση του δείγματος στους 500 °C και την απομάκρυνση των οργανικών συστατικών.

Για τον προσδιορισμό της τέφρας ζυγίστηκαν περίπου 5 g νωπού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένη κάψα πορσελάνης, η οποία είχε προηγουμένως καθαριστεί. Η κάψα με το δείγμα θερμάνθηκε αρχικά στους 110 °C για 16 h και έπειτα

στους 500 °C για ακόμα 16 h. Τέλος, το δείγμα ζυγίστηκε εκ νέου, αφότου ήρθε σε θερμοκρασία δωματίου. Το ποσοστό τέφρας των πρώτων υλών υπολογίστηκε από την παρακάτω εξίσωση.

$$Τέφρα (\%) = \left[ \frac{F-G}{W} \right] * 100 \quad (9)$$

όπου F: τελικό βάρος κάψας και τέφρας (g),

G: βάρος κάψας (g) και

W: αρχικό βάρος νωπού δείγματος (g)

## 4.5 Μελέτη Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

### 4.5.1 Συνθήκες και Διεργασία Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση, όπως προαναφέρθηκε, έχει χρησιμοποιηθεί ξανά σε ζωικούς ιστούς ως προκατεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, με στόχο την βελτιστοποίηση του προϊόντος οργανοληπτικά, αλλά ταυτόχρονα και την εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση της θερμικής επεξεργασίας. Με βάση προηγούμενες μελέτες, επιλέχθηκε ως κατάλληλο ωσμωτικό μέσο, ένα διάλυμα τριών συστατικών, νερού, γλυκερόλης και μεταδιθειώδους νατρίου ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ). Η γλυκερόλη έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες ζωικών ιστών (Azuaara et al., 2007) και έτσι επιλέχθηκε ως ο ωσμωτικός παράγοντας για την μείωση της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ). Το μεταδιθειώδες νάτριο προστέθηκε λόγω της αντιοξειδωτικής και αντιμικροβιακής δράσης του και της ιδιότητας του να βελτιώνει το χρόνο ζωής του προϊόντος (Waliszewski et al., 2007). Αποφεύχθηκε να χρησιμοποιηθεί κάποιου είδους αλάτι, διότι είναι απαγορευτικό για τη διατροφή των σκύλων.

Η αναλογία δείγματος προς διαλύματος επιλέχθηκε 1:5 και το η διεργασία πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 25 °C (θερμοκρασία δωματίου). Ως προς την περιεκτικότητα του διαλύματος σε γλυκερόλη πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε 40% και 60%, ενώ η περιεκτικότητα του μεταδιθειώδους νατρίου έμεινε σταθερή στο 0.1%. Σχετικά με την παράμετρο του χρόνου, στα δείγματα αυτιών πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε χρόνους 0, 30, 60, 90, 120, 150 και 180 min, ενώ στο δέρμα κεφαλής μόσχου σε χρόνους 0, 20, 40, 60, 90, 120, 150 και 180 min.

Για την πειραματική διαδικασία των αυτιών κουνελιού τα δείγματα προζυγίστηκαν και έπειτα βυθίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα για τον απαιτούμενο χρόνο. Διαφορετικού χρώματος συνδετήρες τοποθετήθηκαν στην άκρη του κάθε αυτιού, ώστε να μπορούν να διαχωριστούν στην συνέχεια. Έπειτα, απομακρύνθηκαν από το διάλυμα στους προεπιλεγμένους χρόνους, σκουπίστηκαν ελαφρώς, ώστε να απομακρυνθεί τυχόν ωσμωτικό διάλυμα από την επιφάνεια και ζυγίστηκαν εκ νέου. Μετά από κάθε απομάκρυνση δείγματος, απομακρύνθηκε και η ποσότητα του ωσμωτικού που αντιστοιχούσε σε αυτό για να παραμείνει η αναλογία 1:5.



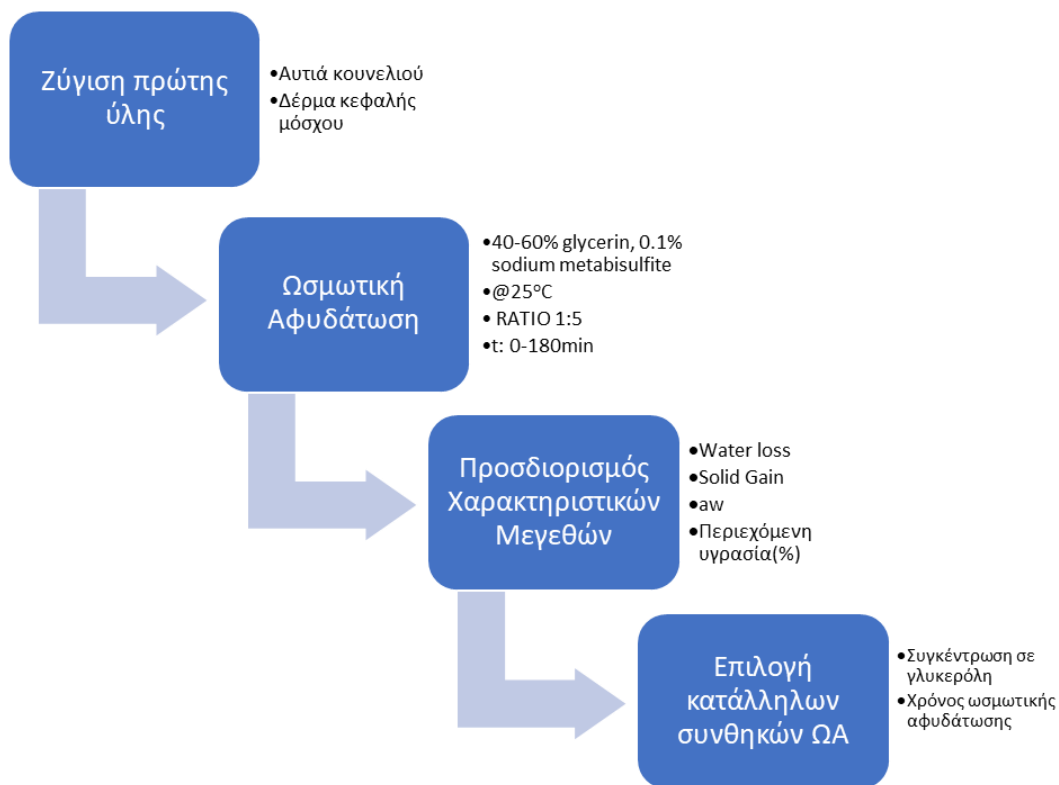
*Εικόνα 3: Ωσσωμένα αυτιά κουνελιού*

Στην περίπτωση του δέρματος κεφαλής μόσχου, τα δείγματα τεμαχίστηκαν με νυστέρι σε διαστάσεις 3.5×3.0×1.5cm, ζυγίστηκαν σε ζυγό με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και τοποθετήθηκαν σε διάτρητα μικρά δίχτυα με διαφορετική σήμανση το καθένα. Έπειτα βυθίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα και ακολούθησε η ίδια διαδικασία με τα αυτιά.



*Εικόνα 4: Ωσσωμένα κομμάτια δέρματος κεφαλής μόσχου*





Εικόνα 5: Διάγραμμα ροής Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

#### 4.5.2 Προσδιορισμός Χαρακτηριστικών Μεγεθών της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που προσδιορίστηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι η περιεχόμενη υγρασία, η ενεργότητα νερού, και τα WL και SG. Τα WL και SG υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις εξισώσεις (1) και (2).

##### 4.5.2.1 Προσδιορισμός στερεού υπολείμματος και περιεχόμενης υγρασίας

Για τη μέτρηση του περιεχόμενου νερού και των ολικών στερεών, τα δείγματα ζυγίστηκαν πριν και μετά την επεξεργασία τους. Στη συνέχεια, ξηράθηκαν σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 110 °C (WTB BINDER 7200, Type C53, Tuttlingen, Germany) για 24 h και ζυγίστηκαν εκ νέου.

##### 4.5.2.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού

Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας νερού στα δείγματα χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Lab Touch-Water Activity Meter (Novasina, Lachen, Switzerland). Για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση, μικρή ποσότητα δείγματος τοποθετήθηκε σε ειδικό πλαστικό κύπελλο και εισάχθηκε στον κατάλληλο χώρο εντός της συσκευής. Αφού η σχετική υγρασία στον θάλαμο της μέτρησης ήρθε σε ισορροπία, το όργανο έδωσε την τιμή της ενεργότητας νερού με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων. Ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού πραγματοποιήθηκε σε σταθερή θερμοκρασία 25 °C. Η συσκευή βαθμονομήθηκε πριν από κάθε σειρά μετρήσεων με τη χρήση προτύπων διαλυμάτων κορεσμένων αλάτων σταθερής ενεργότητας νερού.



Εικόνα 6: Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού Lab Touch-Water Activity Meter

#### 4.6 Μελέτη Ξήρανσης με Θερμό Αέρα

Έπειτα από την κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης, πραγματοποιήθηκε κινητική μελέτη της ξήρανσης με θερμό αέρα στην πρώτη ύλη, με στόχο την παραγωγή προϊόντος με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η ξήρανση της πρώτης ύλης πραγματοποιήθηκε σε προθερμασμένο φούρνο HotmixPRO Dry, με σταθερή ταχύτητα αέρα 0.1 m/s, και αυξανόμενη θερμοκρασία από 40 °C μέχρι και 90 °C. Μελετήθηκαν διάφορα προγράμματα ξηράνσεων, με τη θερμοκρασία να κλιμακώνεται στους 90 °C, με στόχο να βρεθεί η ελάχιστη χρονική διάρκεια που απαιτείται ώστε το τελικό προϊόν να είναι αποδεκτό ως προς την περιεχόμενη υγρασία και την ενεργότητα νερού. Και για τις δύο πρώτες ύλες το πείραμα της ξήρανσης ξεκίνησε από τη χρονική διάρκεια των 24 h. Για τα αυτά κουνελιού, οι χρονικές διάρκειες που εξετάστηκαν ήταν 24, 16 και 10 h, ενώ για το δέρμα κεφαλής μόσχου, 24 h.



Εικόνα 7: Ξηραντήρας HotmixPRO Dry

Αρχικά, η πρώτη ύλη ζυγίστηκε και έπειτα τοποθετήθηκε στο ξηραντήρα. Τα αυτιά κουνελιού κρεμάστηκαν με τη βοήθεια συνδετήρων διαφορετικού χρώματος, ενώ το δέρμα κεφαλής μόσχου τοποθετήθηκε σε δίσκους. Στη συνέχεια ανά χρονικά διαστήματα που είχαν οριστεί από το εκάστοτε πρόγραμμα ξήρανσης που έτρεχε, το δείγμα απομακρύνθηκε

από τον ξηραντήρα, ζυγίστηκε και μετρήθηκε ως προς την ενεργότητα νερού και περιεχόμενη υγρασία του με τη διαδικασία που αναλύθηκε στις παραγράφους 4.5.2.1 και 4.5.2.2.



*Εικόνα 8: Νωπά αυτιά κουνελιού κρεμασμένα από συνδετήρες πριν την ξήρανση με θερμό αέρα*



*Εικόνα 9: Τελικό ωσμωμένο προϊόν αυτιού κουνελιού μετά από 10 h ξήρανση*





Εικόνα 10: Δέρμα κεφαλής μόσχου πριν και μετά από ξήρανση 24 h

#### 4.7 Μελέτη Ξήρανσης Αυτιών με την Προσθήκη Ενζύμου στο Ωσμωτικό Μέσο

Για την ενίσχυση της απώλειας νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση στα αυτιά κουνελιού, δοκιμάστηκε η προσθήκη κοινού φυτικού ενζύμου παπαΐνης. Η παπαΐνη βρίσκεται φυσικά στο φρούτο της παπάγιας και ως ένζυμο είναι σε θέση να διασπά οργανικά μόρια που αποτελούνται από αμινοξέα, γνωστά ως πολυπεπτίδια. Το ένζυμο παπαΐνης επιλέχθηκε για αυτές ακριβώς τις πρωτεολυτικές του ιδιότητες, με στόχο την ενίσχυση του φαινομένου απομάκρυνσης νερού στο τρόφιμο. Η ποσότητα ενζύμου που προστέθηκε υπολογίστηκε να αντιστοιχεί για 10% πρωτεόλυση, με βάση την ενεργότητα του σκευάσματος που χρησιμοποιήθηκε και με βάση την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες του δείγματος.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις. Η πρώτη αποτελούσε το δείγμα ελέγχου (CNT), όπου τα δείγματα αυτιών εμβάπτιζόντουσαν σε νερό. Η δεύτερη περιλάμβανε την εμβάπτιση των αυτιών σε ωσμωτικό μέσο για περιπτώσεις 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη, όπως περιεγράφηκε στην παράγραφο 5.5.1 (OSMO). Η τρίτη, αποτελούσε την εμβάπτιση των δειγμάτων σε διάλυμα νερού με παπαΐνη για 10% πρωτεόλυση (ENZ), και η τέταρτη περίπτωση την εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα με 40% και 60% γλυκερόλη και ποσότητα ενζύμου παπαΐνης για 10% πρωτεόλυση. Για όλες τις περιπτώσεις η αναλογία δείγματος προς διάλυμα ήταν 1:5, η θερμοκρασία 40°C και ο χρόνος διεργασίας 1 h.

Στη συνέχεια, όλα τα δείγματα και των τεσσάρων περιπτώσεων οδηγήθηκαν σε ξήρανση με θερμό αέρα στους 60°C για 24 h σε προθερμασμένο φούρνο. Κατά τη διάρκεια των 24 h ξήρανσης υπολογίστηκαν τα μεγέθη της περιεχόμενης υγρασίας (%) σε υγρή βάση και της ενεργότητας νερού όπως περιεγράφηκε στην παράγραφο 5.5.2.

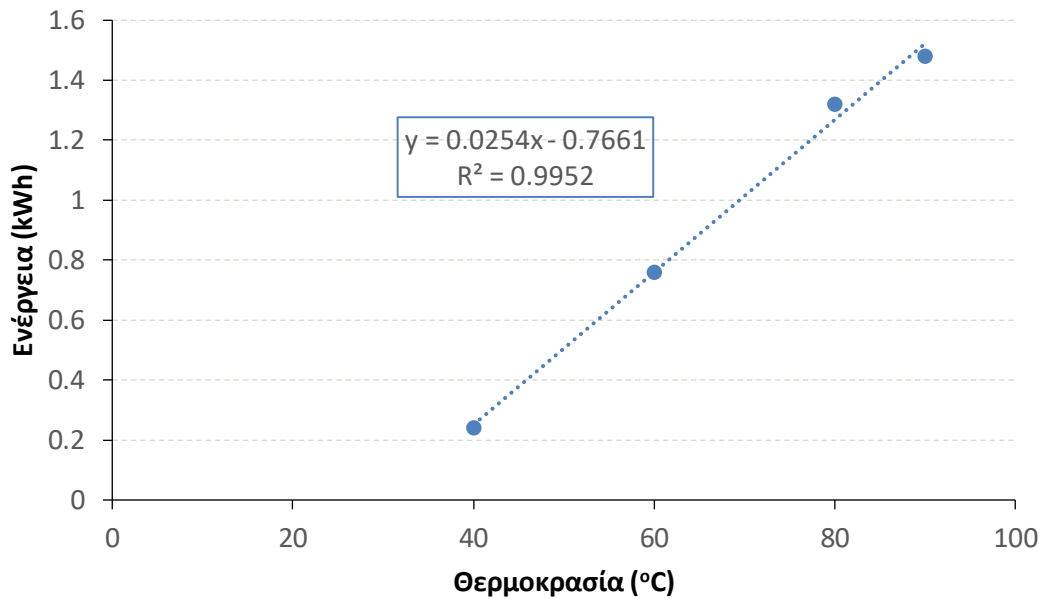
#### 4.8 Κινητικές Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου για Διάφορες Θερμοκρασίες

Στην περίπτωση των δειγμάτων δέρματος κεφαλής μόσχου, πραγματοποιήθηκε πείραμα με στόχο την κατασκευή των καμπυλών περιεχόμενης υγρασίας και ενεργότητας νερού με τον χρόνο ξήρανσης. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν δέρμα χωρίς καμία προκατεργασία (CNT), με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για 2 h με ωσμωτικό μέσο περιεκτικότητας 40% γλυκερόλη w/w (40%) και με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h με ωσμωτικό μέσο περιεκτικότητας 60% γλυκερόλη w/w (60%). Οι χρόνοι ωσμωτικής αφυδάτωσης για κάθε περίπτωση προέκυψαν από την μελέτη της διεργασίας που είχε προηγηθεί για την συγκεκριμένη πρώτη ύλη. Η χρονική διάρκεια ξήρανσης που μελετήθηκε για όλα τα δείγματα ήταν 24 h και οι θερμοκρασίες που εξετάστηκαν για τα (CNT) ήταν 40 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C και 90 °C, ενώ για τα (40%) και (60%) 40 °C, 60 °C και 90 °C. Στα δείγματα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις περιεχόμενης υγρασίας σε υγρή βάση (% w/w) και ενεργότητας νερού σε διάφορα χρονικά σημεία της ξήρανσης.

Η ωσμωτική αφυδάτωση στα δείγματα (40%) και (60%) πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις συνθήκες που περιεγράφηκαν στην παράγραφο 5.5.1 και ο υπολογισμός της περιεχόμενης υγρασίας και της ενεργότητας νερού στα δείγματα έγινε όπως περιγράφεται στην ενότητα 5.5.2.

#### 4.9 Υπολογισμός της Κατανάλωσης Ενέργειας κατά την Ξήρανση

Στο τελευταίο στάδιο του πειράματος, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της απαιτούμενης ενέργειας για τη ξήρανση κάθε τελικού προϊόντος που είχε προκύψει. Αρχικά μετρήθηκαν οι kWh που καταναλώθηκαν σε 1 h για τις θερμοκρασίες 40 °C, 60 °C, 80 °C και 90 °C, και βάση αυτών δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα.



*Διάγραμμα 2: Κατανάλωση ενέργειας Ξηραντήρα ανάλογα τη θερμοκρασία*

Στη συνέχεια, για κάθε πρόγραμμα ξήρανσης, έγινε μετατροπή των kWh σε MJ πολλαπλασιάζοντας με τον αντίστοιχο χρόνο ξήρανσης σε κάθε θερμοκρασία, και έπειτα πραγματοποιήθηκε αναγωγή της ενέργειας ανά kg τελικού ξηρού προϊόντος.

Για να υπολογιστεί η κατανάλωση ενέργειας ανά kg τελικού αφυδατωμένου προϊόντος, αρχικά υπολογίστηκε η μέγιστη χωρητικότητα του ξηραντήρα σε νωπή μάζα προϊόντος, και έπειτα, με βάση την απώλεια νερού που μετρήθηκε στο τελικό προϊόν στις συνθήκες ξήρανσης που επιλέχθηκαν, υπολογίστηκε η τελική μάζα του ξηρού προϊόντος στο τέλος της ξήρανσης.

## Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας που περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 4. Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν και για τις δύο πρώτες ύλες. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται όλη η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για το αυτί κουνελιού και έπειτα η μελέτη που έγινε στο δέρμα κεφαλής μόσχου. Τέλος, γίνεται η ενεργειακή μελέτη της διεργασίας ξήρανσης.

### 5.1 Χαρακτηρισμός Πρώτης Ύλης

Τόσο το αυτί κουνελιού, όσο και το δέρμα κεφαλής μόσχου χαρακτηρίστηκαν ως προς την περιεχόμενη υγρασία σε νωπή βάση, την ενεργότητα νερού, την περιεκτικότητα τους σε λιπαρά, πρωτεΐνες και τέφρα. Στα μεγέθη που πραγματοποιήθηκαν επαναληπτικές μετρήσεις, παρουσιάζεται και η τυπική απόκλιση τους. Οι τιμές που παρουσιάζονται παρακάτω, αφορούν το νωπό δείγμα.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά μεγέθη νωπού αυτιού κουνελιού και νωπού δέρματος κεφαλής μόσχου

	Αυτί Κουνελιού	Δέρμα Κεφαλής Μόσχου
Περιεχόμενη Υγρασία σε νωπή βάση (%)	74.0 ± 2.2	73.6 ± 0.4
Λιπαρά σε νωπή βάση (%)	5.8	6.4
Πρωτεΐνες σε νωπή βάση (%)	18.4 ± 0.1	15.8 ± 0.1
Τέφρα σε νωπή βάση (%)	1.30 ± 0.07	0.42 ± 0.01
Ενεργότητα Νερού	0.984 ± 0.002	0.970 ± 0.002

### 5.2 Διάκριση Αυτιού Κουνελιού

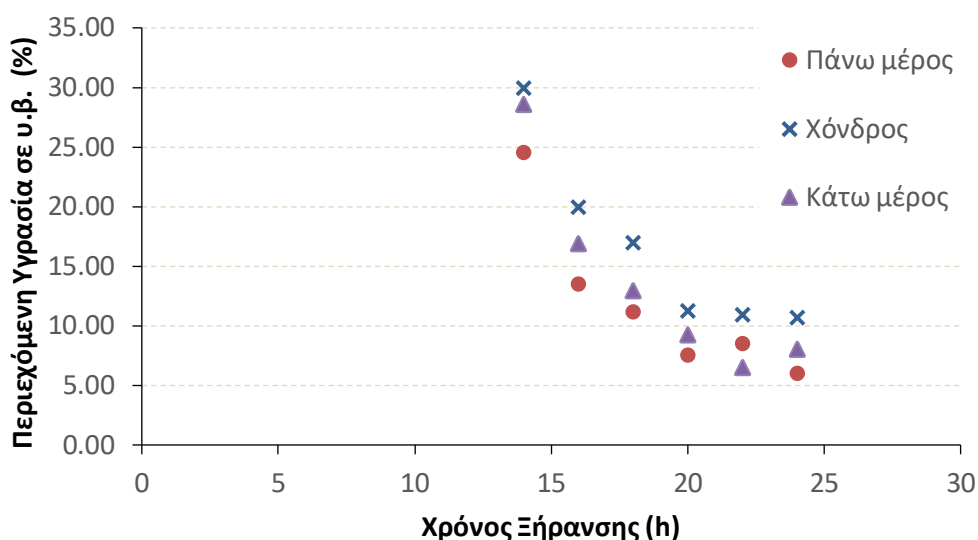
Αρχικά το αυτί κουνελιού διακρίθηκε σε τρία διαφορετικά μέρη ως προς μελέτη, το πάνω μέρος, το κάτω και το χόνδρο, τα οποία φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα.



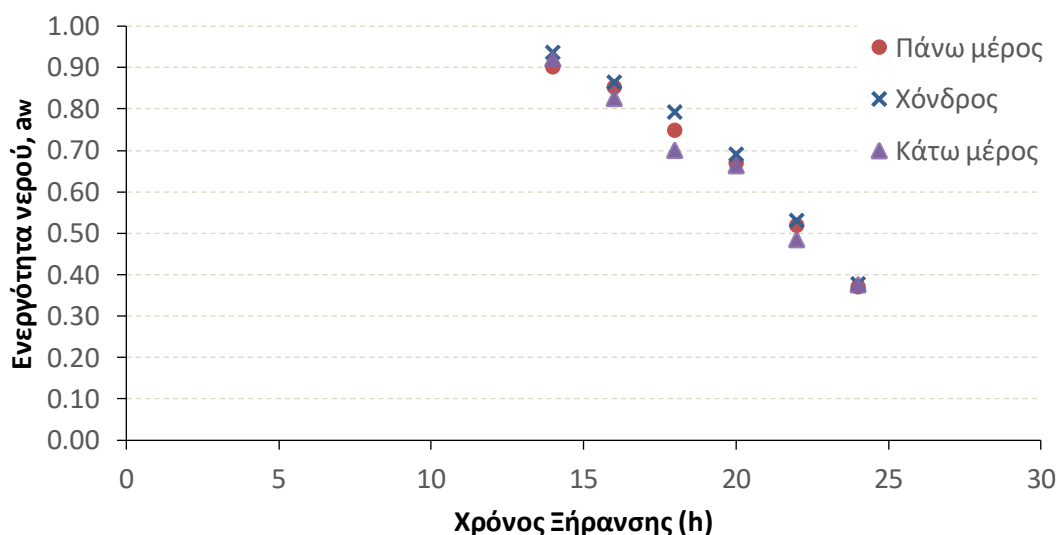
Εικόνα 11: Μέρη αυτιού κουνελιού

Ο παραγωγός, εκτός από νωπή πρώτη ύλη, προμήθευσε το εργαστήριο με δείγματα αυτιών από διάφορα χρονικά σημεία της ξήρανσης που ακολουθούσε ο ίδιος, όπως και το τελικό προϊόν, που ήταν αποτέλεσμα 24ώρης ξήρανσης σε θερμοκρασιακά μεταβαλλόμενο προφίλ ψησίματος.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ενεργότητας νερού και περιεχόμενης υγρασίας και στα τρία μέρη του αυτιού, για χρόνους ψησίματος από 14 h μέχρι και 24 h, δηλαδή του τελικού προϊόντος.



Διάγραμμα 3: Περειχόμενη υγρασία (%) σε υγρή βάση κατά τη διάρκεια της ξήρανσης αυτιών κουνελιού σύμφωνα με το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού σε τρία σημεία του αυτιού



Διάγραμμα 4: Ενεργότητα νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης αυτιών κουνελιού σύμφωνα με το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού σε τρία σημεία του αυτιού

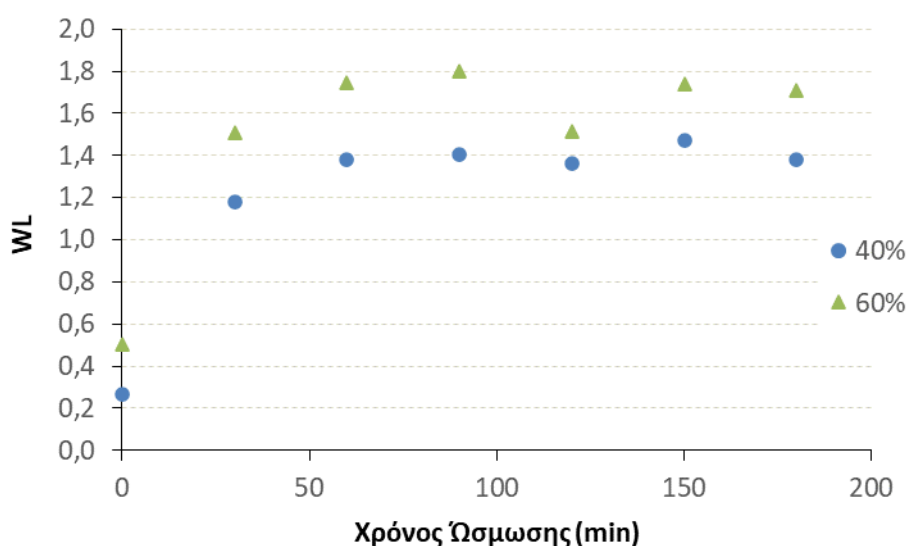
Όπως φαίνεται και στα παραπάνω διαγράμματα, τόσο η περιεχόμενη υγρασία, όσο και η ενεργότητα νερού των αυτιών μειώνονται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Εκτός από το χρόνο, αυτή η μείωση εξαρτάται και από την αύξηση της θερμοκρασίας που

πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Η μείωση που παρατηρείται και στα δύο μεγέθη μπορεί να χαρακτηριστεί ως αναμενόμενη, αφού κατά τη ξήρανση ενισχύεται το φαινόμενο μεταφοράς μάζας, δηλαδή η απώλεια νερού του τροφίμου.

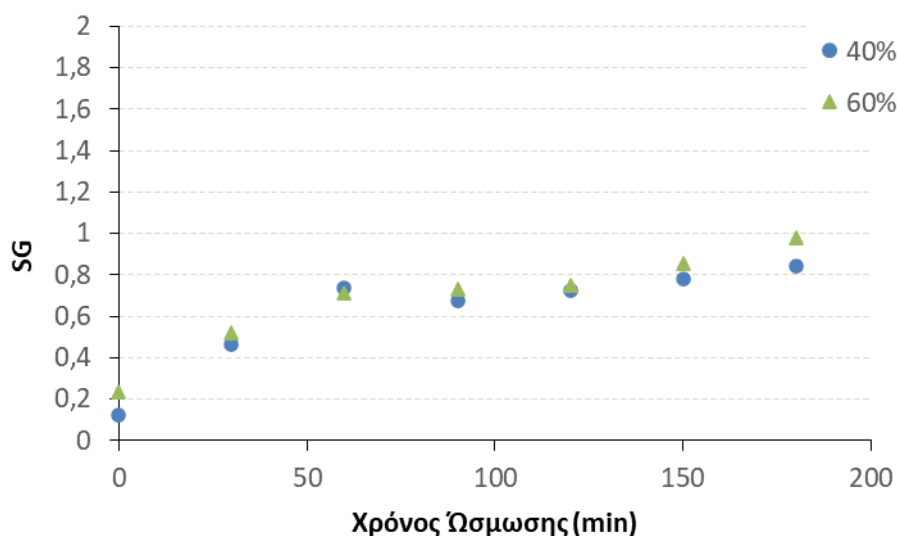
Επίσης παρατηρήθηκε και στα δύο διαγράμματα ότι το σημείο του χόνδρου του αυτιού εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές, συγκριτικά με τα άλλα δύο μέρη προϊόντος. Με βάση αυτήν την πληροφορία, αποφασίστηκε στο πείραμα να εξετάζεται το συγκεκριμένο σημείο για την διασφάλιση των επιθυμητών τιμών ενεργότητας νερού και περιεχόμενης υγρασίας.

### 5.3 Κινητική Ωσμωτικής Αφυδάτωσης Αυτιών Κουνελιού

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης στο αυτί κουνελιού. Η διεργασία εξετάστηκε μέσω των μεγεθών WL και SG. Παρακάτω φαίνεται η μεταβολή τους με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης.



Διάγραμμα 5: Μεταβολή WL αυτιού κουνελιού με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης



Διάγραμμα 6: Μεταβολή SG αυτιού κουνελιού με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης



Όπως παρατηρείται στα διαγράμματα 5 και 6, τα μεγέθη WL και SG αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Επίσης και στα δύο μεγέθη παρατηρείται, μέσω της κλίσης τους, ότι στην αρχή της διεργασίας ο ρυθμός αύξησης είναι μεγαλύτερος, ενώ στη συνέχεια οι τιμές των μεγεθών τείνουν να σταθεροποιηθούν. Ακόμα, η διαφορά της περιεκτικότητας γλυκερόλης που έχει το ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να επηρεάζει την τιμή του WL. Συγκεκριμένα, όπως παρατηρήθηκε και από τους (Dimakouroulou-Parazoglou & Katsanidis, 2016) τα δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλυκερόλη, παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές WL. Αντίθετα, οι τιμές του SG φαίνεται να μην επηρεάζονται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε γλυκερόλη του ωσμωτικού διαλύματος.

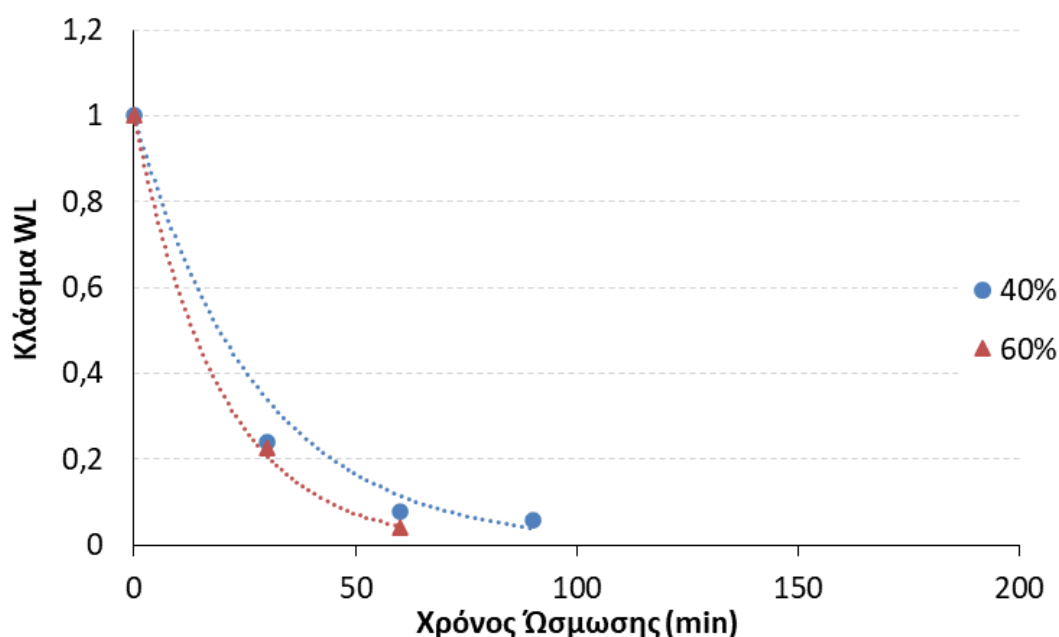
Για την μελέτη μεταβολής των μεγεθών WL και SG χρησιμοποιήθηκε εκθετικό μοντέλο που περιέγραφε την μεταβολή του κλάσματος  $\frac{X-X_e}{X_0-X_e}$ , με την μεταβολή του χρόνου ώσμωσης. Πιο συγκεκριμένα, η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$\frac{X-X_e}{X_0-X_e} = e^{-kt} \quad (10)$$

όπου X: το χαρακτηριστικό μέγεθος στο χρόνο t,

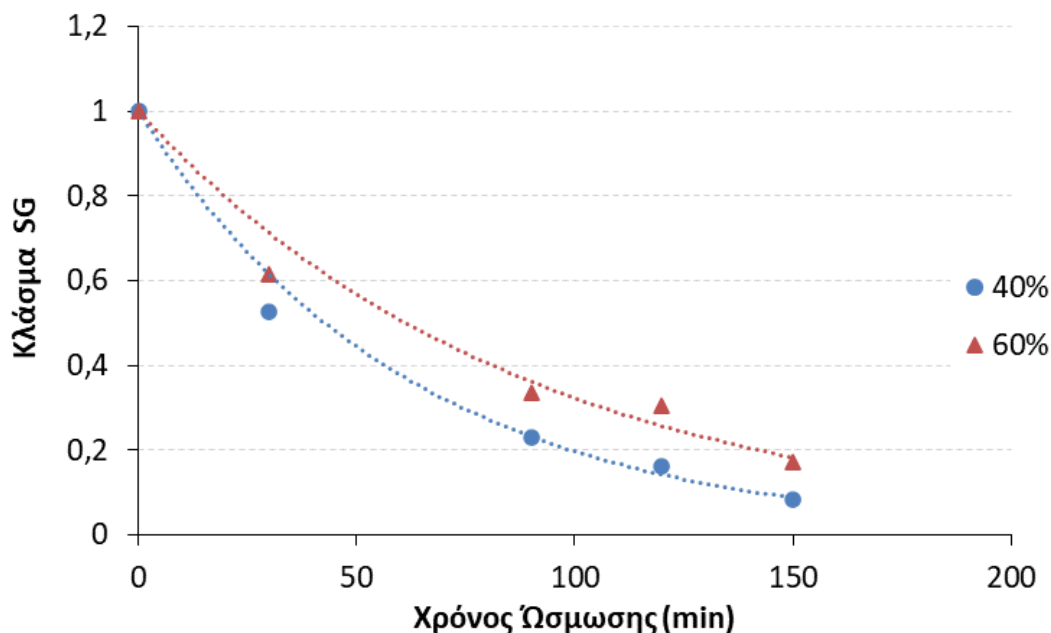
$X_0$ : το χαρακτηριστικό μέγεθος σε χρόνο t=0 και

$X_e$ : το χαρακτηριστικό μέγεθος σε άπειρο χρόνο.



Διάγραμμα 7: Μεταβολή κλάσματος WL αυτιών με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη





Διάγραμμα 8: Μεταβολή κλάσματος SG αυτιών με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη

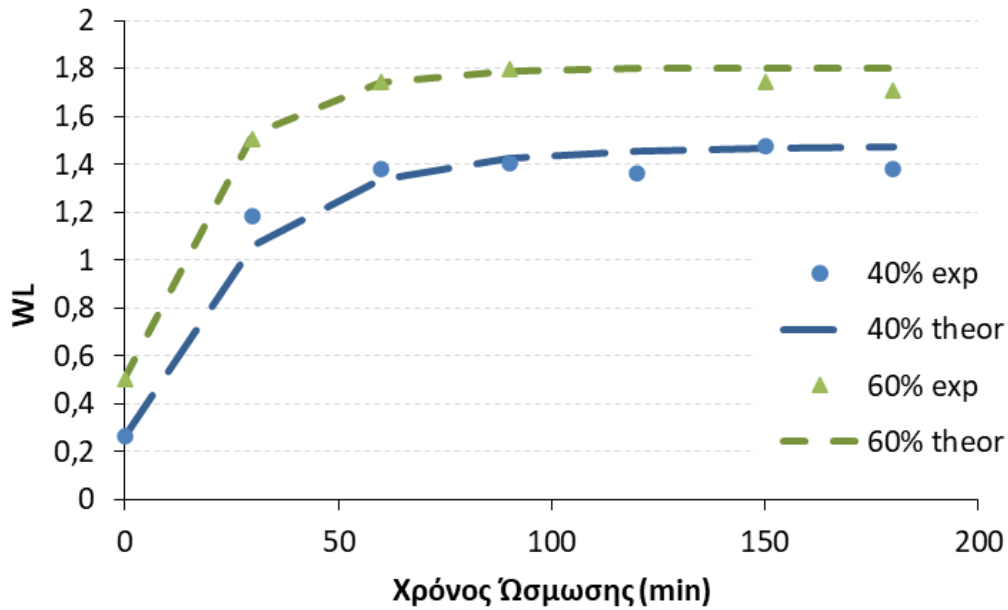
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές  $k$  που προέκυψαν από τα διαγράμματα WL και SG και για τις δύο περιπτώσεις περιεκτικότητας σε γλυκερόλη.

Πίνακας 3: Συντελεστές εκθετικού μοντέλου για μεταβολή WL και SG αυτιών με χρόνο ώσμωσης σε 40% και 60% περιεκτικότητα γλυκερόλης ωσμωτικού διαλύματος

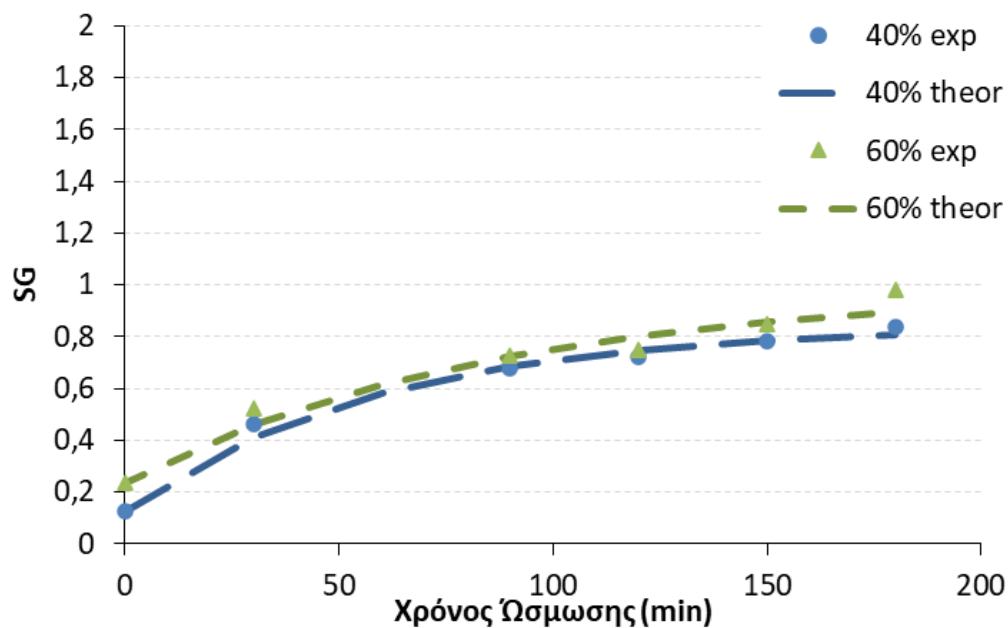
	WL		SG	
	40%	60%	40%	60%
<b>k</b>	0.036	0.052	0.016	0.011
<b>R<sup>2</sup></b>	0.99	0.99	0.98	0.99

Από τις σταθερές του ρυθμού που φαίνονται στον παραπάνω πίνακα επιβεβαιώνεται ότι ρυθμός μεταβολής του WL αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της περιεκτικότητας γλυκερόλης στο ωσμωτικό διάλυμα. Ενώ στην περίπτωση του SG, δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σταθερά του ρυθμού μεταβολής του μεγέθους, με την αλλαγή της περιεκτικότητας γλυκερόλης.

Στην συνέχεια, μέσω των σταθερών που προέκυψαν από τα διαγράμματα, υπολογίστηκαν τα WL και SG του μοντέλου, και παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα, μαζί με τα πειραματικά.



Διάγραμμα 9: Θεωρητικά και πειραματικά WL αυτιών για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης



Διάγραμμα 10: Θεωρητικά και πειραματικά SG αυτιών για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 9 και 10, το εκθετικό μοντέλο, που επιλέχθηκε να περιγράψει τη μεταβολή των WL και SG κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, προσαρμόζει ιδιαίτερα ικανοποιητικά στα πειραματικά δεδομένα (συντελεστής προσδιορισμού  $R^2 > 0.9$ ).

Επιπλέον, παρατηρώντας τη μεταβολή των δύο μεγεθών φαίνεται ότι οι τιμές τείνουν να σταθεροποιηθούν μετά τα 60 min. Βάση της συγκεκριμένης παρατήρησης, επιλέχθηκε ως κατάλληλος χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης για τα αυτιά κουνελιού, τα 60 min και στις δύο περιπτώσεις (40% και 60%) περιεκτικότητας γλυκερόλης. Οι τιμές που αντιστοιχούν στα 60 min ωσμωτικής αφυδάτωσης για κάθε περίπτωση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

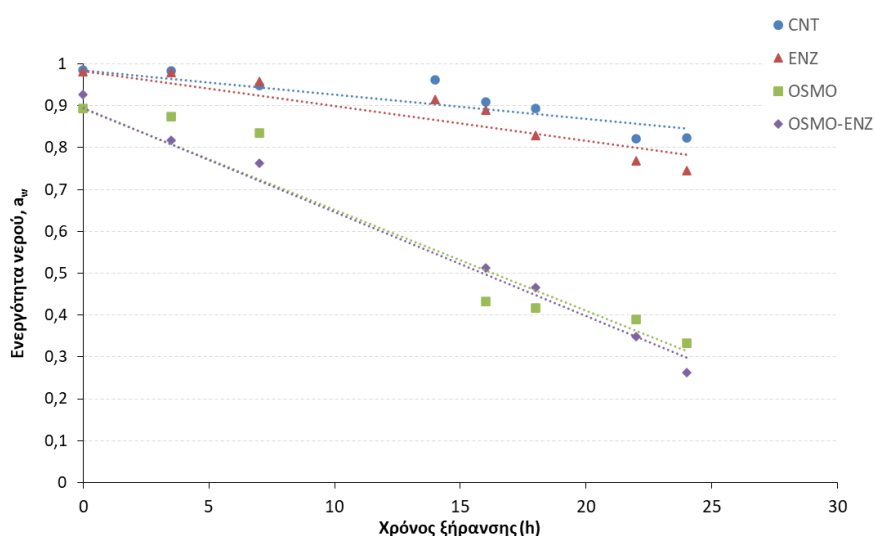
Πίνακας 4: Τιμές WL και SG αυτιών κουνελιού για 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% και 60% w/w γλυκερόλη

	WL	SG
40%	1.38	0.74
60%	1.75	0.71

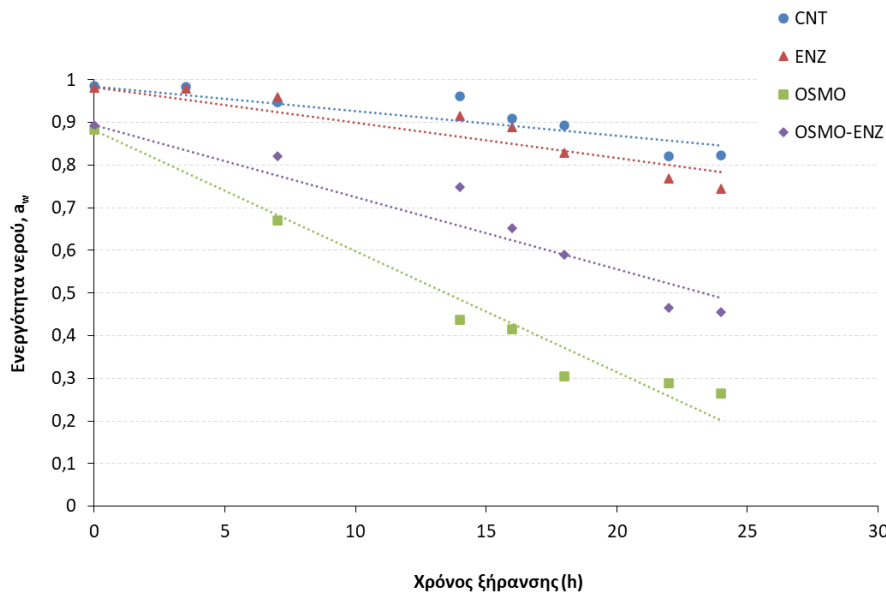
## 5.4 Μελέτη Επίδρασης Ενζύμου στην Ξήρανση Αυτιών Κουνελιού

### 5.4.1 Ενεργότητα Νερού

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή της ενεργότητας νερού με το χρόνο ξήρανσης στους 60 °C, για τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις προκατεργασίας που περιεγράφηκαν στην παράγραφο 4.7. Το πρώτο διάγραμμα αφορά τα δείγματα τα οποία αφυδατώθηκαν σε ωσμωτικό μέσο με 40% w/w περιεκτικότητα σε γλυκερόλη, ενώ το δεύτερο διάγραμμα, με 60% w/w περιεκτικότητα. Τα δείγματα (CNT) και (ENZ) είναι κοινά και για τα δύο διαγράμματα. Η μεταβολή της ενεργότητας νερού με το χρόνο ψησίματος και στις δύο περιπτώσεις προσεγγίστηκε με γραμμικό μοντέλο της μορφής:  $y = -a * x + b$ .



Διάγραμμα 11: Μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψησίματος στους 60 °C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 40% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη



Διάγραμμα 12: Μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψήσιματος στους 60 °C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 60% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη

Όπως είναι αναμενόμενο και επιβεβαιώνεται από τα διαγράμματα 11 και 12, η ενεργότητα νερού του δείγματος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης σε όλες τις περιπτώσεις προκατεργασίας. Η μείωση αυτή είναι λογική, αφού όσο περισσότερο χρόνο ξηραίνεται το προϊόν, τόσο περισσότερο περιεχόμενο νερό απομακρύνεται από αυτό.

Επίσης, συγκρίνοντας τα δείγματα (CNT) και (ENZ), παρατηρείται ότι τα (ENZ) παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές. Έτσι, μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι η προσθήκη ενζύμου επιταχύνει τη μείωση ενεργότητας νερού, συγκριτικά με το (CNT), όπως και ήταν επιθυμητό. Από την άλλη πλευρά, όταν το ένζυμο συνδυαστεί με τη μέθοδο της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα. Συγκρίνοντας τα δείγματα (OSMO) και (OSMO-ENZ) στο διάγραμμα 11 φαίνεται να μην υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τιμές, ενώ στο διάγραμμα 12, η προσθήκη ενζύμου φαίνεται να καθυστερεί την μείωση της ενεργότητας νερού. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να συνδέεται με την πρωτεολυτική δράση του ενζύμου και τον μετέπειτα σχηματισμό πρωτεϊνικών διασυνδέσεων, οδηγώντας σε σταθερά πρωτεϊνικά πλέγματα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συσσώρευση περισσότερων μορίων νερού εντός του πρωτεϊνικού πλέγματος και η καθυστέρηση της διαφυγής του νερού σε περιπτώσεις των διεργασιών ξήρανσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές των εξισώσεων για τα διαγράμματα 11 και 12.

Πίνακας 5: Συντελεστές γραμμικού μοντέλου για την μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών με το χρόνο ξήρανσης στους 60 °C για διαφορετικές προκατεργασίες

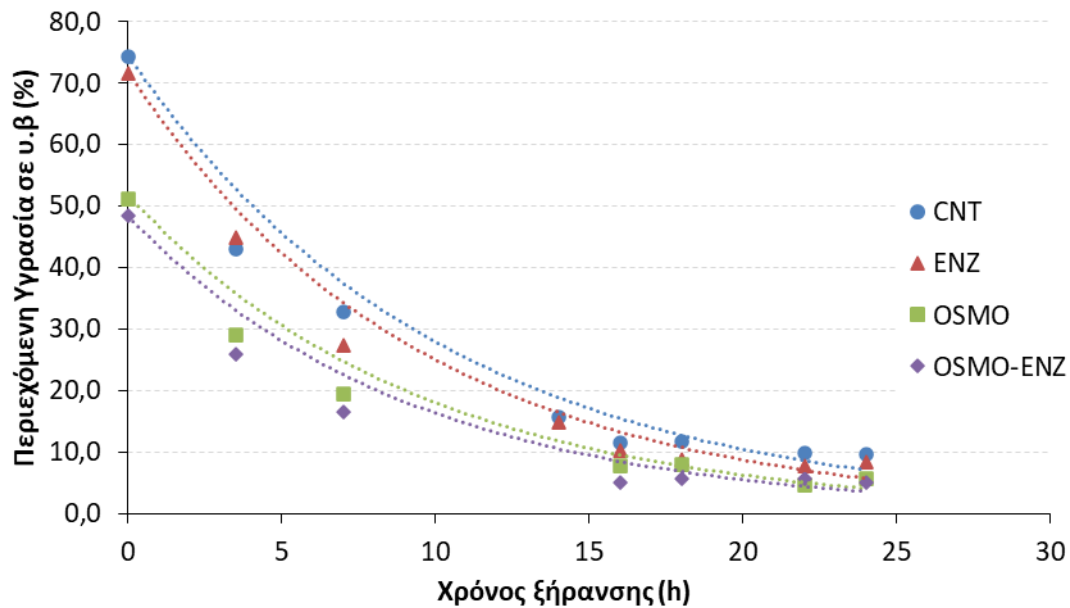
	CNT	ENZ	40%		60%	
			OSMO	OSMO-ENZ	OSMO	OSMO-ENZ
<b>a</b>	0.0058	0.0083	0.0241	0.0248	0.0284	0.0169
<b>R<sup>2</sup></b>	0.84	0.91	0.95	0.99	0.97	0.93

Το γραμμικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τη μεταβολή του μεγέθους, φαίνεται να έχει αρκετά ικανοποιητική προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα ( $R^2 > 0.9$ ), με εξαίρεση τα (CNT) δείγματα, που έχουν χαμηλότερο συντελεστή προσδιορισμού.

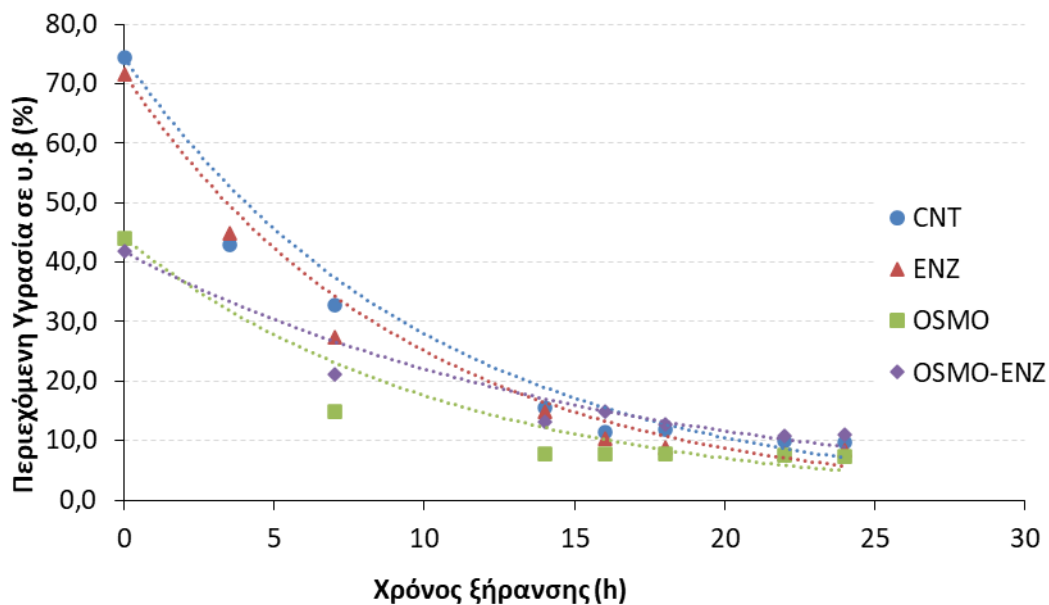
Επιπλέον σύμφωνα με τον παραγωγό, η απαιτούμενη τιμή ενεργότητας νερού του τελικού προϊόντος ορίστηκε μικρότερη ή ίση της 0.600. Βάση αυτού του δεδομένου, ενδιαφέρον έδειξε η παρατήρηση, ότι στην περίπτωση των ωσμωνένων δειγμάτων, επιθυμητές τιμές ενεργότητας προέκυψαν από τις 16 h ξήρασης.

#### 5.4.2 Περιεχόμενη Υγρασία

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται για τα ίδια δείγματα η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας (%) σε υγρή βάση, που προσεγγίστηκε με εκθετικό μοντέλο της μορφής:  $y = a * e^{b*x}$ .



Διάγραμμα 13: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψήσιματος στους 60°C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 40% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη



Διάγραμμα 14: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας αυτιών κουνελιού με το χρόνο ψήσιματος στους 60°C με χρήση ωσμωτικού διαλύματος 60% w/w περιεκτικότητας σε γλυκερόλη

Όπως ήταν αναμενόμενο, η περιεχόμενη υγρασία όλων των δειγμάτων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης. Επίσης, συγκρίνοντας τα (ENZ) δείγματα με τα (CNT), παρατηρείται ότι η προσθήκη ενζύμου δεν επιφέρει στατιστικά σημαντική βελτίωση στην μείωση τη περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και από τη σύγκριση των δειγμάτων (OSMO) και (OSMO-ENZ) του διαγράμματος 13. Στο διάγραμμα 14, από την άλλη πλευρά, παρατηρείται ότι τα δείγματα (OSMO) έχουν χαμηλότερες τιμές από αυτές των (OSMO-ENZ), παρατήρηση που αντιστοιχεί και στην μεταβολή της ενεργότητας νερού τους.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές των εξισώσεων για τα διαγράμματα 13 και 14.

*Πίνακας 6: Συντελεστές εκθετικού μοντέλου για την μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας αυτιών με το χρόνο ξήρανσης στους 60 °C για διαφορετικές προκατεργασίες*

			40%		60%	
	CNT	ENZ	OSMO	OSMO-ENZ	OSMO	OSMO-ENZ
<b>b</b>	0.098	0.105	0.105	0.108	0.092	0.064
<b>R<sup>2</sup></b>	0.97	0.98	0.98	0.96	0.93	0.95

Όπως φαίνεται και από τους συντελεστές προσδιορισμού, το εκθετικό μοντέλο που επιλέχθηκε, προσαρμόζει ικανοποιητικά στα πειραματικά δεδομένα ( $R^2 > 0.9$ ). Μία ενδιαφέρουσα παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι σχετικά με τους συντελεστές b. Από τον πίνακα 6 φαίνεται ότι οι συντελεστές b δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ από τα διαγράμματα 13 και 14 φαίνεται ότι οι τιμές των (OSMO) και (OSMO-ENZ) είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές των (CNT) και (ENZ). Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευθεί βάση των αρχικών περιεχόμενων υγρασιών των δειγμάτων. Ο συντελεστής b εκφράζει τη σταθερά του ρυθμού μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας, αλλά δεν λαμβάνει υπόψιν του τις αρχικές περιεχόμενες υγρασίες των δειγμάτων. Είναι εμφανές λοιπόν και από τα διαγράμματα 13 και 14, ότι τα δείγματα (OSMO) και (OSMO-ENZ) έχουν ως αρχική περιεχόμενη υγρασία, πολύ χαμηλότερη τιμή από αυτή των (CNT) και (ENZ), με αποτέλεσμα το αρχικό στάδιο της απότομης μείωσης περιεχόμενης υγρασίας που έχουν τα (CNT) και (ENZ), να παραλείπεται στα (OSMO) και (OSMO-ENZ). Αυτό το φαινόμενο οδηγεί στο να λαμβάνονται συντελεστές με μη στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ενώ οι τιμές διαφέρουν σημαντικά.

Επιπλέον, συγκρίνοντας τους συντελεστές b των (CNT) και (ENZ), παρατηρείται ότι η προσθήκη ενζύμου δεν αυξάνει σημαντικά το ρυθμό μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας. Η ίδια παρατήρηση έγινε επίσης συγκρίνοντας τα δείγματα (OSMO) και (OSMO-ENZ) με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη. Αντίθετα, στην περίπτωση ωσμωτικού διαλύματος περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη, η προσθήκη ενζύμου φαίνεται να καθυστερεί την μείωση της περιεχόμενης υγρασίας σημαντικά. Το φαινόμενο αυτό, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 5.4.1, πιθανόν να συνδέεται με την πρωτεολυτική δράση του ενζύμου και τον μετέπειτα σχηματισμό πρωτεϊνικών διασυνδέσεων. Τέλος, σχετικά με την περιεχόμενη υγρασία (%) σε υγρή βάση, ορίστηκε ως απαιτούμενη τιμή από τον παραγωγό, ώστε το τελικό προϊόν να είναι σταθερό, μικρότερη ή ίση της 15.0. Βάση αυτού του δεδομένου για τα ωσμωμένα δείγματα, επιθυμητές τιμές προέκυψαν από τις 14 h ψησίματος, γεγονός που καθιστά την ενεργότητα νερού περιοριστικό μέγεθος της διεργασίας.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, στην ωσμωτική αφυδάτωση σαν προκατεργασία ξήρανσης με θερμό αέρα, η προσθήκη ενζύμου παπαΐνης στο ωσμωτικό διάλυμα φάνηκε να μην επιταχύνει την απομάκρυνση νερού του προϊόντος, και για αυτόν το λόγο κρίθηκε μη αποτελεσματική. Πιθανή αιτία αυτού του αποτελέσματος είναι το μέγεθος των μορίων του ενζύμου, και πιθανή λύση που μπορεί να δοθεί είναι η προσθήκη του ενζύμου έπειτα της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

## 5.5 Κινητική Ξήρανσης Αυτιών Κουνελιού

Σύμφωνα με τον παραγωγό, τα αυτιά κουνελιού ξηραίνονται με θερμό αέρα για 24 h σε θερμοκρασιακά μεταβαλλόμενο πρόγραμμα ψησίματος από 40 °C μέχρι και 100 °C. Η σταδιακή μεταβολή της θερμοκρασίας χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί το στάδιο της αγωγής, δηλαδή της μεταφοράς του περιεχόμενου νερού από το εσωτερικό, στο εξωτερικό του τροφίμου, το οποίο είναι πολύ πιο αργό από το στάδιο της συναγωγής, δηλαδή της απομάκρυνσης του νερού από το τρόφιμο μέσω του αέρα.

Βάση της παρατήρησης που έγινε στο προηγούμενο πείραμα για την μελέτη επίδρασης ενζύμου στη ξήρανση, δηλαδή ότι στις 16 h ξήρανσης εξασφαλίζονται επιθυμητές τιμές ενεργότητας νερού και περιεχόμενης υγρασίας (%) σε υγρή βάση στο προϊόν, δημιουργήθηκε καινούριο πρόγραμμα ψησίματος 16 h βασισμένο στο πρόγραμμα ψησίματος του παραγωγού των 24 h.

### 5.5.1 Προσομοίωση Προγράμματος Ξήρανσης για 16 ώρες

Πίνακας 7: Πρόγραμμα ξήρανσης αυτιών κουνελιού παραγωγού για 24 h ξήρανση

Θερμοκρασία	Χρόνος	Χρόνος Αθροιστικά
40 °C	2 h 30 min	2 h 30 min
45 °C	1 h 40 min	4 h 10 min
50 °C	2 h 10 min	6 h 20 min
55 °C	2 h 40 min	9 h
60 °C	3 h 10 min	12 h 10 min
65 °C	3 h 10 min	15 h 20 min
70 °C	3 h 10 min	18 h 30 min
80 °C	3 h 10 min	21h 40 min
100 °C	2 h 20 min	24 h



Πίνακας 8: Πρόγραμμα ξήρανσης αυτιών κουνελιού για 16 h ξήρανση με βάση το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού

Θερμοκρασία	Χρόνος	Χρόνος Αθροιστικά
40 °C	2 h 47 min	2 h 47 min
50 °C	3 h 13 min	6 h
60 °C	4 h 13 min	10 h 13 min
75 °C	4 h 13 min	14 h 26 min
90 °C	1 h 34 min	16 h

Το πρόγραμμα της 16 h ξήρανσης προέκυψε με λιγότερα σημεία αλλαγής θερμοκρασίας από το πρότυπο, διότι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε δεν είχε την δυνατότητα για περισσότερα. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα control (CNT) δείγματα που δεν υπέστησαν καμία προκατεργασία, και τα δείγματα που υπέστησαν προκατεργασία 1 h ώσμωσης σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη (60%). Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 9 σημεία, στα 5 όπου γινόταν αλλαγή θερμοκρασίας, και σε άλλα 4 ενδιάμεσα, επίσης υπολογισμένα βάση του πρότυπου προγράμματος ψησίματος του Πίνακα 7. Για κάθε σημείο πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις και η τιμή που παρουσιάζεται αποτελεί τη μέση τιμή των δύο επαναλήψεων.

#### 5.5.1.1 Μεταβολή της Ενεργότητας Νερού κατά το Ψήσιμο

Όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες, το πρόγραμμα ψησίματος που εξετάστηκε είναι μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας. Οπότε, αναμένεται για κάθε θερμοκρασία ο ρυθμός μείωσης της  $a_w$  να αλλάζει. Για αυτόν ακριβώς το λόγο η μεταβολή του συγκεκριμένου μεγέθους προσεγγίστηκε πολυωνμικά με βάση το παρακάτω μοντέλο:

$$a_{w_0} - a_w = c * t^2 \quad (11)$$

Όπου,  $a_{w_0}$ : η ενεργότητα νερού σε χρόνο ξήρανσης  $t=0$  και

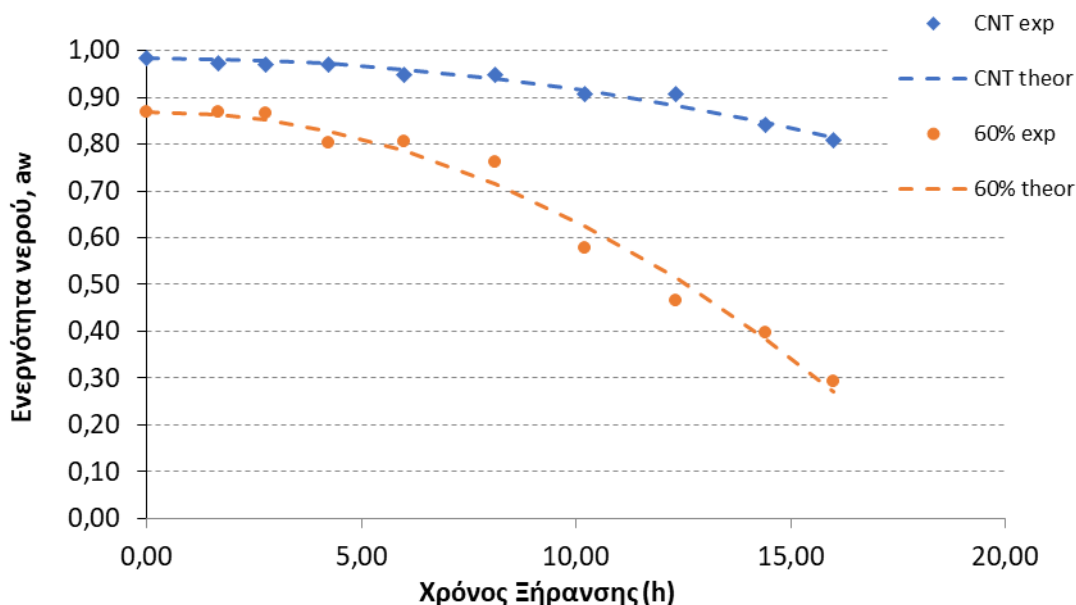
$a_w$ : η ενεργότητα νερού σε χρόνο ξήρανσης  $t$ .

Προσαρμόζοντας τα πειραματικά δεδομένα στην παραπάνω εξίσωση προέκυψαν οι συντελεστές  $c$ , όπου και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τους συντελεστές προσαρμογής.

Πίνακας 9: Συντελεστές  $c$  και συντελεστές προσαρμογής του πολυωνμικού μοντέλου για την μεταβολή  $a_w$  στην 16 h ξήρανση για δείγματα (CNT) και (60%)

	CNT	60%
$c (s^{-2})$	0.66	2.34
$R^2$	0.99	0.99

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 9, ο συντελεστής  $c$  των (CNT) είναι σημαντικά μικρότερος από τον συντελεστή  $c$  των ωσμωμένων δειγμάτων (60%). Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει την σημαντική επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σαν προκατεργασία, στον ρυθμό μεταβολής του μεγέθους, αφού όπως φαίνεται ο ρυθμός μείωσης της ενεργότητας νερού των (60%) είναι σχεδόν τέσσερις φορές μεγαλύτερος από αυτόν των (CNT). Επιπλέον, βάση των συντελεστών προσδιορισμού, φαίνεται ότι το μοντέλο προσαρμόζει πολύ καλά στα πειραματικά δεδομένα. Η τελευταία παρατήρηση μπορεί να επιβεβαιωθεί και από το παρακάτω διάγραμμα, όπου παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα, μαζί με τις υπολογισμένες τιμές ενεργότητας νερού βάση του πολυωνυμικού μοντέλου.



Διάγραμμα 15: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλης για 1 h

Από το διάγραμμα 15 επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα που προέκυψε και από τους συντελεστές του πίνακα 9, δηλαδή ότι η ωσμωτική αφυδάτωση σαν προκατεργασία αυξάνει το ρυθμό μείωσης της ενεργότητας νερού στην ξήρανση σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι στην περίπτωση των (CNT), τα δείγματα δεν καταφέρνουν να φτάσουν την επιθυμητή τιμή, ενώ τα (60%) την φτάνουν νωρίτερα και από τις 16 h ξήρανσης. Έχοντας ως δεδομένο από τον παραγωγό ότι το προϊόν (CNT) φτάνει στις επιθυμητές τιμές ενεργότητας νερού στις 24 h ψήσιματος, προκύπτει ότι μέσω ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας σε γλυκερόλη 60% w/w, η ξήρανση μπορεί να επιταχυνθεί κατά 8 h.

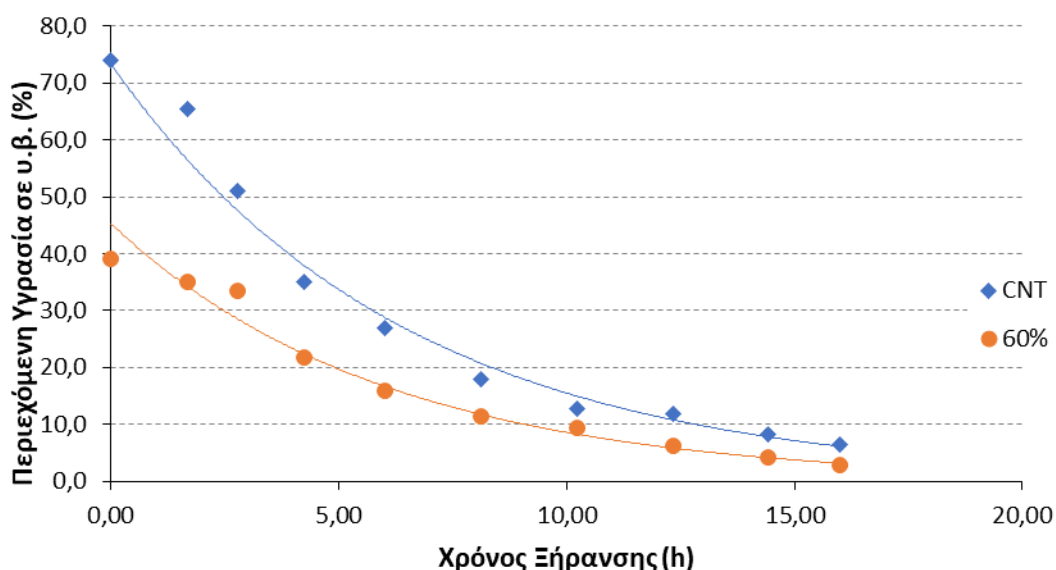
Μία επίσης πολύ σημαντική παρατήρηση που έγινε από το διάγραμμα 15 είναι ότι για τα δείγματα (60%) επιθυμητές τιμές ενεργότητας νερού παρατηρούνται από τις 10 h ξήρανσης.

#### 5.5.1.2 Μεταβολή της Περιεχόμενης Υγρασίας κατά το Ψήσιμο

Η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας (%) σε υγρή βάση των δειγμάτων προσεγγίστηκε με ένα απλό εκθετικό μοντέλο της μορφής:

$$M = a * e^{-k*t} \quad (12)$$

Όπου M: η περιεχόμενη υγρασία (% w/w) του δείγματος σε χρόνο t.



Διάγραμμα 16: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) με χρόνο ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλης για 1 h

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 16, η περιεχόμενη υγρασία του προϊόντος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ψησίματος και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων. Επίσης παρατηρείται ότι τα δείγματα (60%) ξεκινούν από σημαντικά χαμηλότερη αρχική περιεχόμενη υγρασία, γεγονός που οφείλεται στην προκατεργασία τους με ωσμωτική αφυδάτωση, και συνεχίζουν να παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές από αυτές των (CNT) σε όλη τη διάρκεια της ξήρανσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές του εκθετικού μοντέλου για το διάγραμμα 16.

Πίνακας 10: Συντελεστές k του εκθετικού μοντέλου για την μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) στην 16 h ξήρανση με μεταβαλλόμενη θερμοκρασία για δείγματα χωρίς προκατεργασία (CNT) και με προκατεργασία 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με 60% w/w περιεκτικότητας γλυκερόλης (60%)

	CNT	60%
<b>k</b>	0.16	0.17
<b>R<sup>2</sup></b>	0.98	0.96

Από τους συντελεστές προσδιορισμού του πίνακα 10 φαίνεται ότι το μοντέλο που επιλέχθηκε προσεγγίζει ικανοποιητικά τα πειραματικά δεδομένα και στις δύο περιπτώσεις δειγμάτων.

Επιπλέον παρατηρώντας τους συντελεστές k, δηλαδή τις σταθερές ρυθμού μείωσης του μεγέθους, φαίνεται να μην έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους, γεγονός που δεν συμβαδίζει με τις τιμές περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα προκατεργασμένα δείγματα,

δηλαδή τα ωσσωμένα, ξεκινούν τη διεργασία της ξήρανσης από αρκετά χαμηλότερες τιμές περιεχόμενης υγρασίας, σε σύγκριση με τα (CNT).

Είναι σημαντικό να τονιστεί, ότι οι συγκεκριμένοι ρυθμοί που παρουσιάζονται δεν έχουν φυσική σημασία, εφόσον πρόκειται για ένα πρόγραμμα ξήρανσης μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας και μπορούν να χαρακτηριστούν ως φαινόμενοι ρυθμοί του συγκεκριμένου προγράμματος ξήρανσης 16 h.

Επίσης, μία ακόμα παρατήρηση που προέκυψε από το διάγραμμα όσο αφορά τα ωσσωμένα δείγματα, ήταν η εξασφάλιση επιθυμητών τιμών περιεχόμενης υγρασίας μετά τις 8 h ξήρανσης. Συμπεριλαμβάνοντας την παρατήρηση που έγινε για επιθυμητές τιμές ενεργότητας νερού στις 10 h ξήρανσης, συμπεραίνεται ότι η ενεργότητα νερού αποτελεί το περιοριστικό μέγεθος της διεργασίας.

### 5.5.2 Προσομοίωση Προγράμματος Ξήρανσης για 10 ώρες

Από τα αποτελέσματα της 16 h ξήρανσης φάνηκε να μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη μείωση του χρόνου ψησίματος, αφού όπως φάνηκε τα ωσσωμένα δείγματα έφτασαν τις επιθυμητές και ασφαλείς τιμές νωρίτερα από το πέρας της ξήρανσης. Έτσι, αποφασίστηκε να δοκιμαστεί η προσομοίωση του προγράμματος ψησίματος για 10 h, σε δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση για 1 h με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% w/w και 60% w/w περιεκτικότητας γλυκερόλης, (40%) και (60%) αντίστοιχα, και σε δείγματα που δεν έχουν υποστεί προκατεργασία, ως δείγματα control (CNT). Το πρόγραμμα ψησίματος που προέκυψε είναι το παρακάτω.

*Πίνακας 11: Πρόγραμμα ξήρανσης αυτιών κουνελιού για 10 h ξήρανση με βάση το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού*

Θερμοκρασία	Χρόνος	Χρόνος Αθροιστικά
40 °C	1 h 45 min	1 h 45 min
50 °C	2 h	3 h 45 min
60 °C	2 h 30 min	6 h 15 min
75 °C	2 h 30 min	8 h 45 min
90 °C	1 h 15 min	10 h

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 9 σημεία, στα 5 όπου γινόταν αλλαγή θερμοκρασίας, και σε άλλα 4 ενδιάμεσα, επίσης υπολογισμένα βάση του πρότυπου προγράμματος ψησίματος του Πίνακα 7. Στις περιπτώσεις που πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση έγιναν 4 επαναλήψεις σε κάθε σημείο, ενώ στα control από δύο επαναλήψεις. Η τιμή που παρουσιάζεται αποτελεί τη μέση τιμή των επαναλήψεων.

#### 6.5.2.1 Μεταβολή της Ενεργότητας Νερού κατά το Ψήσιμο

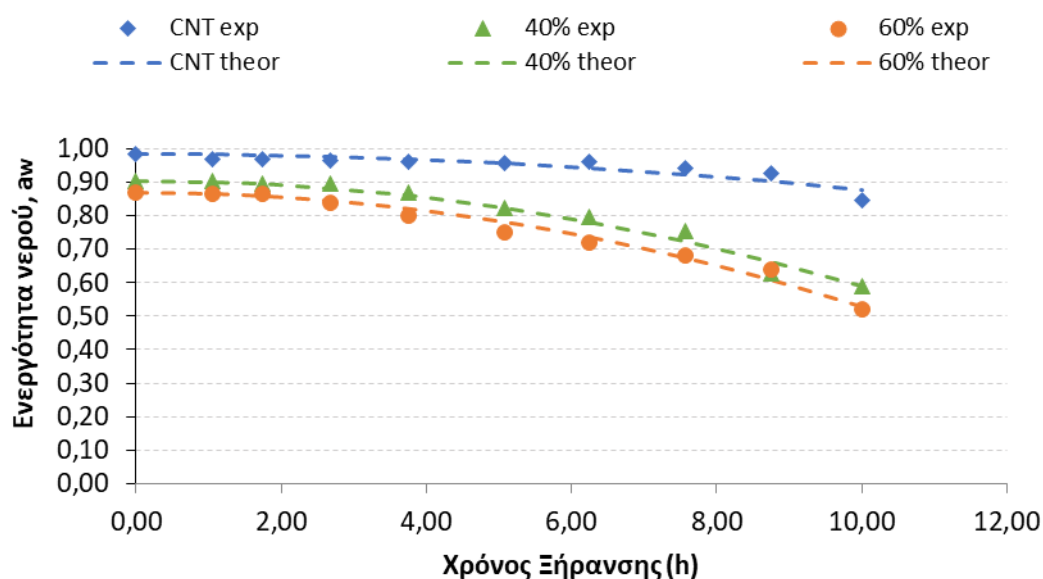
Η μελέτη μεταβολής της ενεργότητας νερού πραγματοποιήθηκε ακριβώς όπως και για την 16 h ξήρανση στην παράγραφο 6.5.1.1 με το ίδιο πολυωνυμικό μοντέλο. Προσαρμόζοντας

λοιπόν τα πειραματικά δεδομένα στην εξίσωση (11) προέκυψαν οι συντελεστές  $c$ , όπου και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τους συντελεστές προσαρμογής.

Πίνακας 12: Συντελεστές  $c$  και συντελεστές προσαρμογής του πολυωνυμικού μοντέλου για την μεταβολή  $a_w$  στην 10 h ξήρανση για δείγματα (CNT), (40%) και (60%)

	CNT	40%	60%
$c$ ( $s^{-2}$ )	1.05	3.15	3.41
$R^2$	0.90	0.99	0.99

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 12, ο συντελεστής  $c$  των (CNT) είναι σημαντικά μικρότερος από τον συντελεστή  $c$  των ωσμωμένων δειγμάτων. Συγκεκριμένα, η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία φαίνεται να αυξάνει τη σταθερά ρυθμού μείωσης της ενεργότητας κατά 300%. Επίσης, συγκριτικά μεταξύ των ωσμωμένων, τα δείγματα (60%) φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη σταθερά ρυθμού μεταβολής ενεργότητας, σε σχέση με τα δείγματα (40%), γεγονός που αιτιολογείται βάση της διαφοράς σε περιεκτικότητα γλυκερόλης. Ταυτόχρονα, σχετικά με την προσαρμογή του μοντέλου, βάση των συντελεστών προσδιορισμού, φαίνεται ότι το μοντέλο προσαρμόζει πολύ ικανοποιητικά στα πειραματικά δεδομένα, ιδιαίτερα στα (40%) και (60%). Η τελευταία παρατήρηση μπορεί να επιβεβαιωθεί και από το παρακάτω διάγραμμα, όπου παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα, μαζί με τις υπολογισμένες τιμές ενεργότητας νερού βάση του πολυωνυμικού μοντέλου.



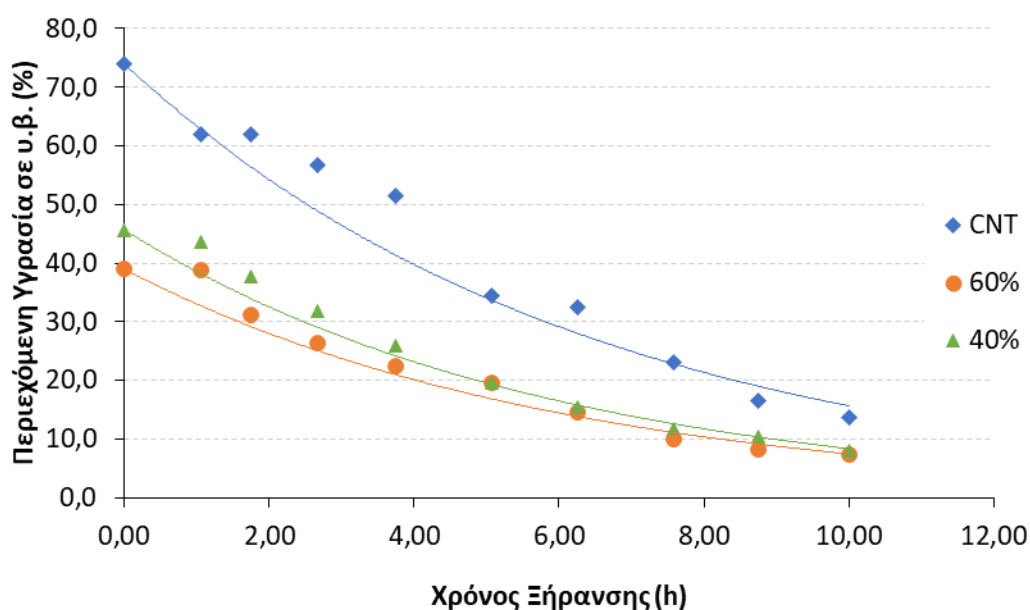
Διάγραμμα 17: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% και 60% w/w γλυκερόλης για 1 h.

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 17, η ενεργότητα νερού των δειγμάτων που έχουν δεχτεί προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης έχουν σημαντικά ταχύτερη μείωση ενεργότητας νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Πιο αναλυτικά, τα δείγματα (CNT), όπως αναμενόταν και από την παρατήρηση που έγινε στο διάγραμμα 15, που αφορούσε το πρόγραμμα

ξήρανσης 16 h, δεν κατάφεραν να φτάσουν την επιθυμητή τιμή της ενεργότητας νερού στις 10 h ξήρανσης. Αντίθετα, τα δείγματα (40%) φτάνουν την επιθυμητή τιμή ακριβώς στο πέρας της ξήρανσης, δηλαδή στις 10 h. Τα δείγματα (60%) από την άλλη, φαίνεται να φτάνουν σε επιθυμητές τιμές νωρίτερα των 10 h. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε βάση της εξίσωσης 11 και του αντίστοιχου συντελεστή από τον πίνακα 12, ότι τα δείγματα (60%) φτάνουν την επιθυμητή τιμή από τις 9 h ξήρανσης.

#### 6.5.2.2 Μεταβολή της Περιεχόμενης Υγρασίας κατά το Ψήσιμο

Η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) των δειγμάτων για την 10 h ξήρανση προσεγγίστηκε, όπως και για την 16 h ξήρανση, με το απλό εκθετικό μοντέλο της εξίσωσης (12).



Διάγραμμα 18: Μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) με χρόνο ξήρανσης για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με εμβάπτιση σε ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% και 60% w/w γλυκερόλης για 1 h

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 18, η περιεχόμενη υγρασία του προϊόντος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ψήσιματος και στις τρεις περιπτώσεις δειγμάτων. Επίσης, παρατηρείται ότι τα δείγματα (40%) και (60%) ξεκινούν από σημαντικά χαμηλότερες αρχικές τιμές περιεχόμενης υγρασίας, γεγονός που οφείλεται στην προκατεργασία τους με ωσμωτική αφυδάτωση, και συνεχίζουν να παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές από αυτές των (CNT) σε όλη τη διάρκεια της ξήρανσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές του εκθετικού μοντέλου για το διάγραμμα 18.

Πίνακας 13: Συντελεστές  $k$  του εκθετικού μοντέλου για την μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας (% w/w) στην 10 h ξήρανση με μεταβαλλόμενη θερμοκρασία για δείγματα χωρίς προκατεργασία (CNT) και με προκατεργασία 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με 40% και 60% w/w περιεκτικότητας γλυκερόλης (40%) και (60%)

	CNT	40%	60%
<b>k</b>	0.16	0.17	0.17
<b>R<sup>2</sup></b>	0.96	0.99	0.98



Από τους συντελεστές προσδιορισμού του πίνακα 13 φαίνεται ότι το μοντέλο που επιλέχθηκε, όπως και στο πρόγραμμα 16 h, προσεγγίζει ικανοποιητικά τα πειραματικά δεδομένα και στις τρεις περιπτώσεις δειγμάτων.

Όπως παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση, οι συντελεστές  $k$  δεν έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 5.5.1.2, στο γεγονός ότι τα ωσμομένα δείγματα ξεκινούν τη διεργασία της ξήρανσης από αρκετά χαμηλότερες τιμές περιεχόμενης υγρασίας, σε σύγκριση με τα (CNT).

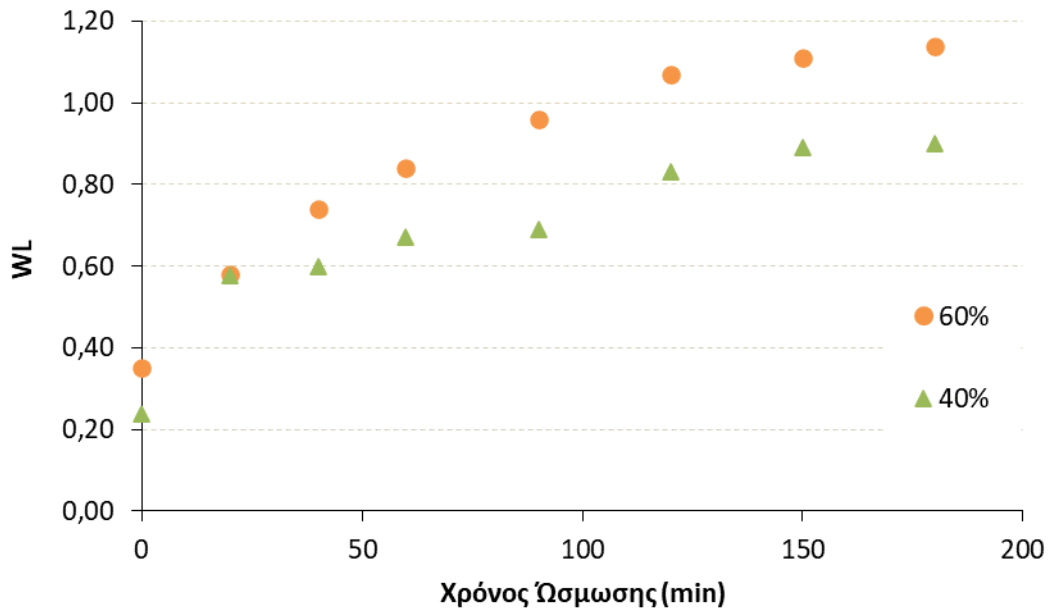
Επίσης, οι παραπάνω σταθερές ρυθμών μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας, δεν έχουν κάποια φυσική σημασία, αλλά μπορούν να χαρακτηριστούν ως φαινόμενοι ρυθμοί του συγκεκριμένου προγράμματος ξήρανσης 10 h.

Ακόμα μία παρατήρηση αποτελεί ότι τα ωσμομένα δείγματα (40%) και (60%) λαμβάνουν επιθυμητές τιμές περιεχόμενης υγρασίας (%) σε υγρή βάση, από τις 7 h ξήρανσης στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, ενώ τα δείγματα (CNT) φτάνουν στην επιθυμητή τιμή στη λήξη του προγράμματος, δηλαδή τις 10 h. Συγκρίνοντας λοιπόν τους απαιτούμενους χρόνους για την εξασφάλιση των επιθυμητών τιμών περιεχόμενης υγρασίας και ενεργότητας νερού των δειγμάτων, προκύπτει και σε αυτή την περίπτωση ότι το περιοριστικό μέγεθος της διεργασίας είναι η ενεργότητα νερού.

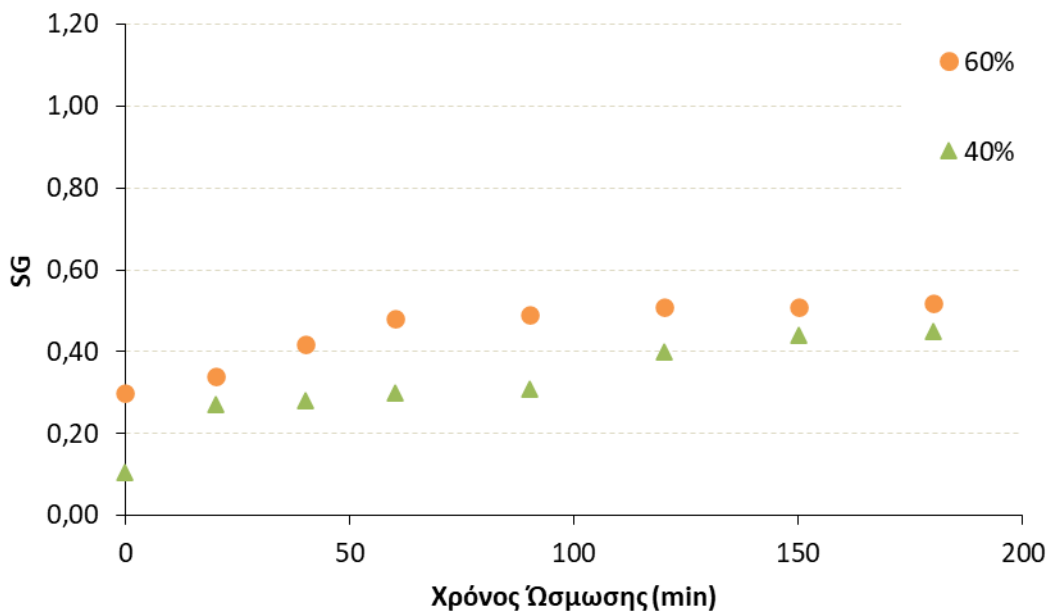
Συμπερασματικά, βάση όλης της μελέτης που έγινε στο αυτί κουνελιού, προέκυψε ότι είναι δυνατή η παραγωγή προϊόντος με τις επιθυμητές τιμές ενεργότητας νερού και περιεχόμενης υγρασίας, μέσω προκατεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h είτε με ωσμωτικό μέσο 40% w/w γλυκερόλη και 10 h ξήρανση με θερμό αέρα βάση του προγράμματος ξήρανσης του πίνακα 11, είτε με ωσμωτικό μέσο 60% w/w γλυκερόλη και 9 h ξήρανση με θερμό αέρα. Βάση των παραπάνω προκύπτει ότι μέσω ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας σε γλυκερόλη 40% w/w, η ξήρανση των αυτιών μπορεί να επιταχυνθεί κατά 14 h από αυτήν που απαιτείται για δείγματα χωρίς κάποια προκατεργασία. Ενώ με χρήση διαλύματος περιεκτικότητας σε γλυκερόλη 60% w/w, μπορεί να επιταχυνθεί κατά 15 h. Όπως γίνεται αντιληπτό, αυτή η εξοικονόμηση χρόνου που επιτυγχάνεται είναι μεγάλης σημασίας αφού εκτός από εξοικονόμηση χρόνου πραγματοποιείται ταυτόχρονα και εξοικονόμηση ενέργειας που καταναλώνεται κατά την ξήρανση. Είναι προφανές ότι ο συνδυασμός αυτών των δύο αποτελεσμάτων σε βιομηχανική κλίμακα μεταφράζεται και σε αύξηση του κέρδους, το οποίο είναι επίσης ζητούμενο σε μία επιχείρηση.

## 5.6 Κινητική Ωσμωτικής Αφυδάτωσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου

Έπειτα από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε με πρώτη ύλη το αυτί κουνελιού, έγινε έρευνα με πρώτη ύλη το δέρμα κεφαλής μόσχου. Αυτή ξεκίνησε αρχικά, με τη μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης του δέρματος. Η διεργασία εξετάστηκε μέσω των μεγεθών WL και SG. Παρακάτω φαίνεται η μεταβολή τους με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης.



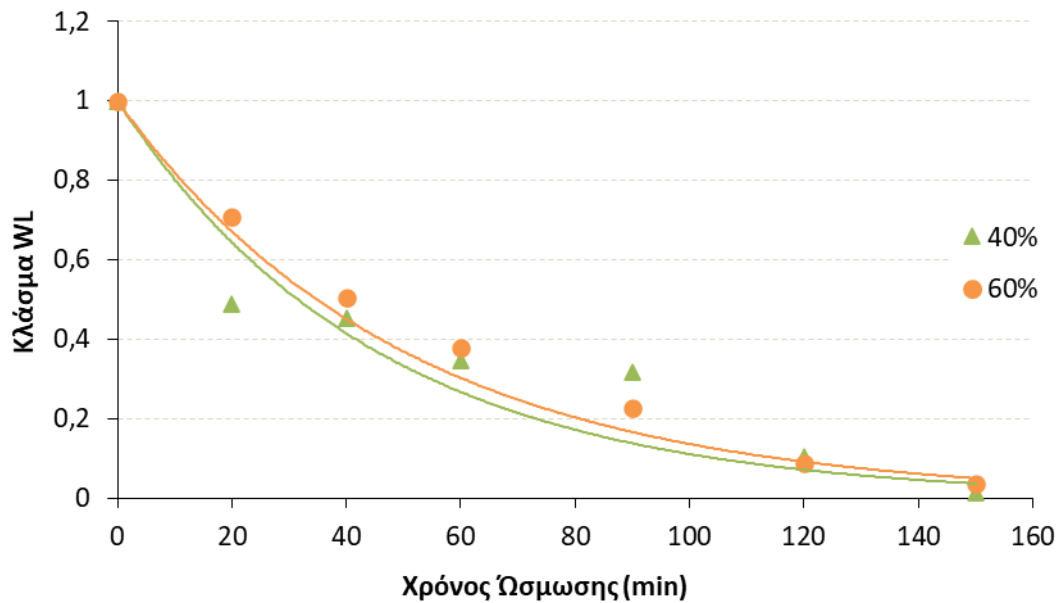
Διάγραμμα 19: Μεταβολή WL δέρματος κεφαλής μύσχου με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης



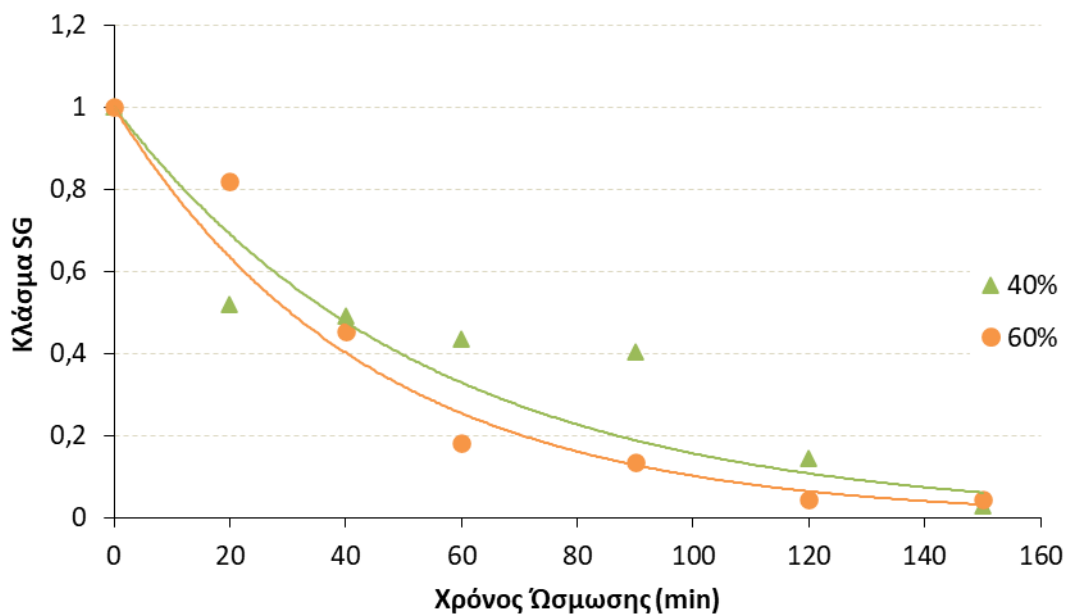
Διάγραμμα 20: Μεταβολή SG δέρματος κεφαλής μύσχου με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης

Όπως παρατηρείται στα διαγράμματα 19 και 20, τα μεγέθη WL και SG αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Επίσης και στα δύο μεγέθη παρατηρείται ότι στην αρχή της διεργασίας ο ρυθμός αύξησης είναι μεγαλύτερος, ενώ στη συνέχεια οι τιμές των μεγεθών τείνουν να σταθεροποιηθούν. Ακόμα, η διαφορά της περιεκτικότητας γλυκερόλης που έχει το ωσμωτικό διάλυμα φαίνεται να επηρεάζει τόσο την τιμή του WL, όσο και του SG.

Για την μελέτη μεταβολής των μεγεθών WL και SG χρησιμοποιήθηκε το ίδιο εκθετικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε και για την μεταβολή των WL και SG του αυτιού κουνελιού, δηλαδή αυτό της εξίσωσης (10).



Διάγραμμα 21: Μεταβολή κλάσματος WL του δέρματος με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη



Διάγραμμα 22: Μεταβολή κλάσματος SG δέρματος με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμωτικά διαλύματα 40% και 60% περιεκτικότητας σε γλυκερόλη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές  $k$  που προέκυψαν από τα διαγράμματα WL και SG και για τις δύο περιπτώσεις περιεκτικότητας γλυκερόλης.

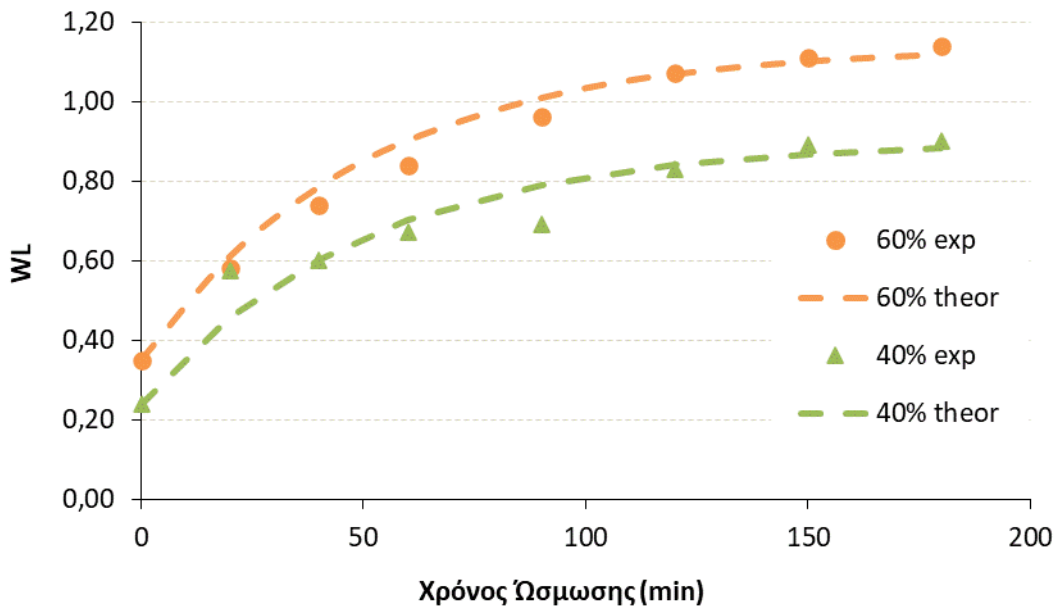
Πίνακας 14: Συντελεστές  $k$  εκθετικού μοντέλου για μεταβολή WL και SG δέρματος με χρόνο ώσμωσης σε 40% και 60% περιεκτικότητα γλυκερόλης ωσμωτικού διαλύματος

	WL		SG	
	40%	60%	40%	60%
$k$	0.022	0.020	0.018	0.023
$R^2$	0.92	0.99	0.88	0.96

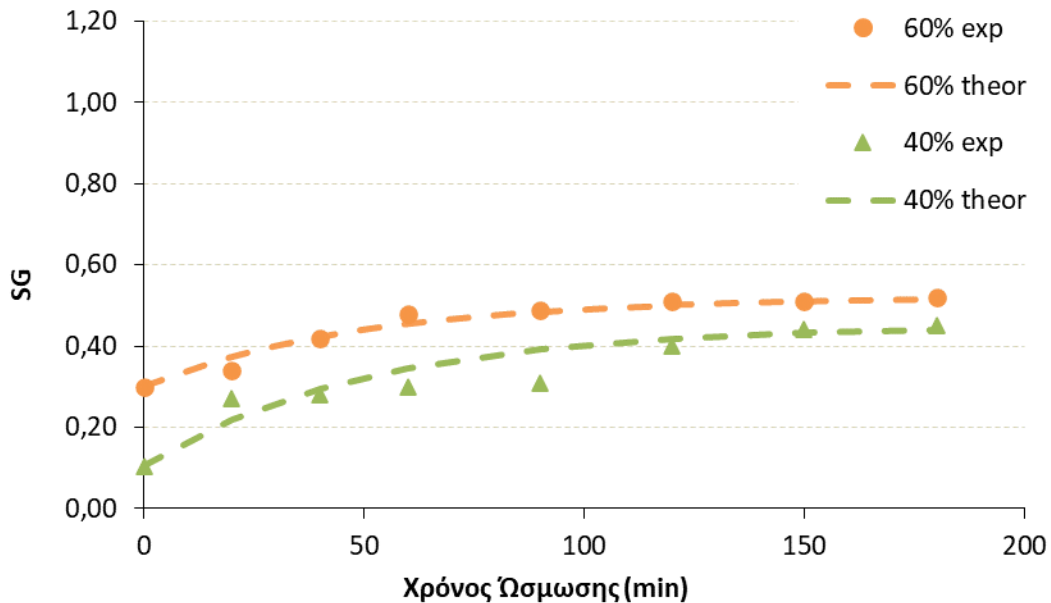
Από συντελεστές  $k$  που φαίνονται στον πίνακα 14, αρχικά παρατηρείται ότι η σταθερά ρυθμού μεταβολής του WL δέρματος δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την αλλαγή περιεκτικότητας σε γλυκερόλη του ωσμωτικού διαλύματος. Από την άλλη πλευρά, σχετικά με το SG του δέρματος, η αύξηση της περιεκτικότητας σε γλυκερόλη του ωσμωτικού διαλύματος φαίνεται να αυξάνει τη σταθερά ρυθμού μεταβολής του μεγέθους.

Επίσης, παρατηρώντας τους συντελεστές προσδιορισμού, φαίνεται το εκθετικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε να έχει ικανοποιητική προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα, με εμφανώς καλύτερη προσαρμογή στα δείγματα (60%), και λιγότερο ικανοποιητική στα (40%), ειδικότερα σε αυτή που αντιστοιχεί στο SG των δειγμάτων (40%).

Στην συνέχεια, μέσω των σταθερών που εμφανίζονται στον πίνακα 14, υπολογίστηκαν τα WL και SG του μοντέλου, και παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα, μαζί με τα πειραματικά.



Διάγραμμα 23: Θεωρητικά και πειραματικά WL δέρματος για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης



Διάγραμμα 24: Θεωρητικά και πειραματικά SG δέρματος για περιεκτικότητες 40% και 60% γλυκερόλης

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 23 και 24, το εκθετικό μοντέλο, που επιλέχθηκε να περιγράψει τη μεταβολή των WL και SG κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, προσαρμόζει ιδιαίτερα ικανοποιητικά στα πειραματικά δεδομένα, με εξαίρεση τη μεταβολή του SG στα δείγματα (40%), που η προσαρμογή μπορεί να χαρακτηριστεί μέτρια.

Επίσης, βάση της παρατήρησης που έγινε για τους ρυθμούς μεταβολής των μεγεθών, δηλαδή ότι δεν διαφέρουν σημαντικά, παρατηρείται το αντίθετο συμπέρασμα συγκρίνοντας τις τιμές των αντίστοιχων μεγεθών. Αναλυτικότερα, ενώ οι ρυθμοί μεταβολής των μεγεθών φαίνονται να μην διαφέρουν σημαντικά, οι τιμές των (40%) είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές των (60%), τόσο στο WL, όσο και στο SG. Βάση αυτής της παρατήρησης προκύπτει το συμπέρασμα ότι, με την αύξηση της περιεκτικότητας του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη, αυξάνονται οι τιμές του WL και SG αντίστοιχα, αλλά ο ρυθμός που αυξάνονται παραμένει ο ίδιος.

Τέλος, βάση των διαγραμμάτων 23 και 24 παρατηρήθηκε ότι οι τιμές WL που αντιστοιχούν σε 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη, είναι αντίστοιχες με αυτές που αντιστοιχούν σε 2 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με διάλυμα περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη. Ενώ, οι τιμές SG για τα δείγματα (60%) τείνουν να σταθεροποιηθούν μετά τη 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης, όπως και για τα δείγματα (40%) μετά τις 2 h. Σύμφωνα με τις παραπάνω παρατηρήσεις, αποφασίστηκε να μελετηθούν σαν προκατεργασία της ξήρανσης αυτά τα δύο σενάρια, τα οποία φέρουν ίδια αποτελέσματα WL, με διαφορετικές συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές WL και SG για την περίπτωση δειγμάτων (40%) και 2 h ωσμωτικής αφυδάτωσης, και των δειγμάτων (60%) και 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Πίνακας 15: Τιμές WL και SG δέρματος κεφαλής μόσχου για 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% και για 2 h με ωσμωτικό διάλυμα 40% w/w γλυκερόλη

	WL	SG
40%	0.83	0.40
60%	0.84	0.48

## 5.7 Κινητική Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου σε Διάφορες Θερμοκρασίες

Έπειτα από την μελέτη κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης για το δέρμα κεφαλής μόσχου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της περιεχόμενης υγρασίας (%) σε υγρή βάση για διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν δέρμα χωρίς καμία προκατεργασία (CNT), με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για 2 h με ωσμωτικό μέσο περιεκτικότητας 40% γλυκερόλη w/w (40%) και με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h με ωσμωτικό μέσο περιεκτικότητας 60% γλυκερόλη w/w (60%).

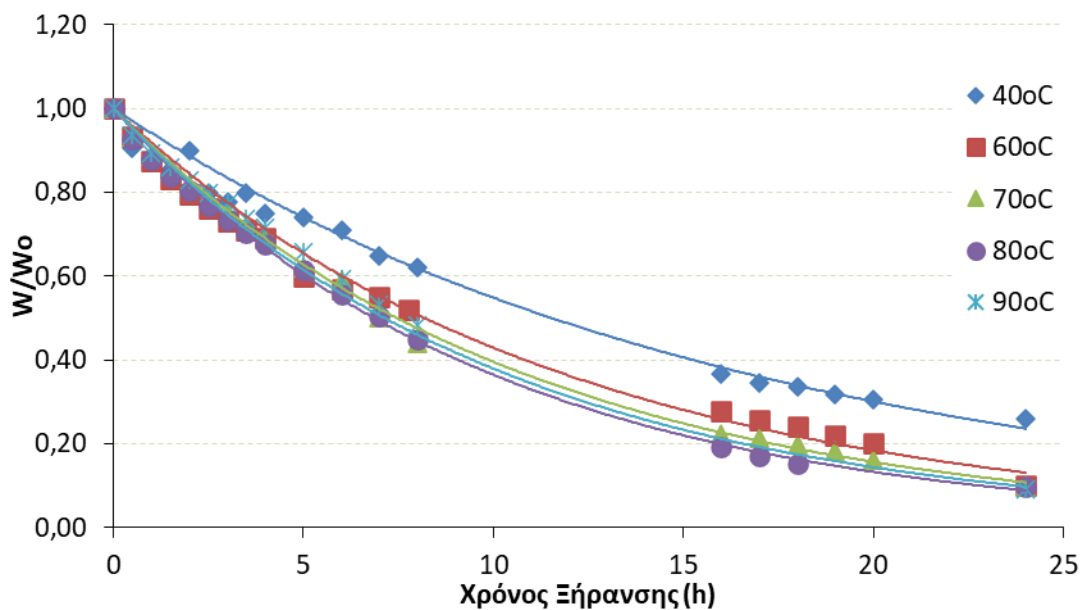
Για τη μελέτη και προσέγγιση της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων σε σχέση με το χρόνο ξήρανσης, χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω εκθετικό μοντέλο:

$$W = W_0 e^{-kt} \quad (13)$$

Όπου W: Περιεχόμενη υγρασία (%) τροφίμου σε υγρή βάση σε χρόνο t

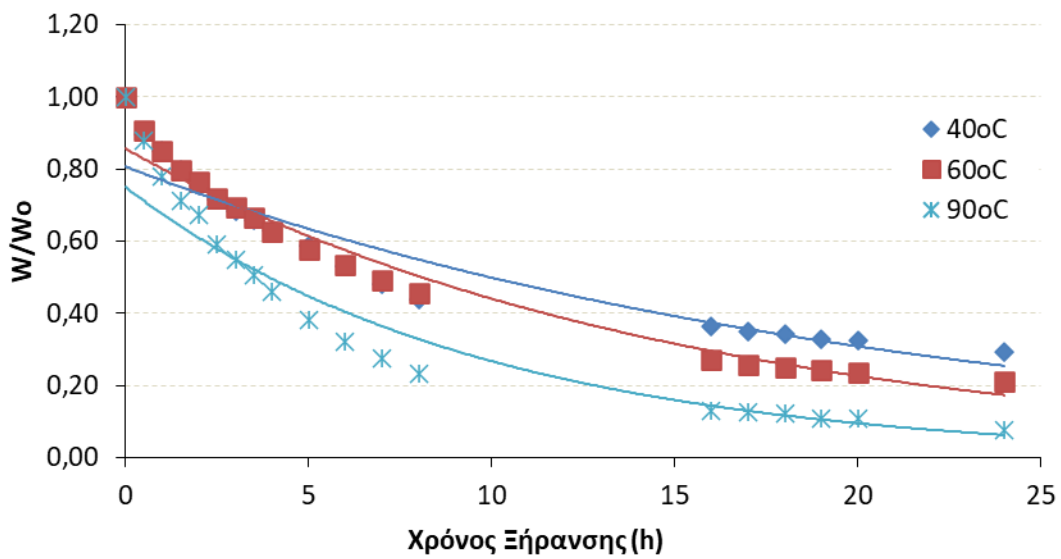
$W_0$ : Περιεχόμενη υγρασία (%) τροφίμου σε υγρή βάση σε χρόνο t=0 και

k: σταθερά ρυθμού μεταβολής περιεχόμενης υγρασίας (%) σε υγρή βάση

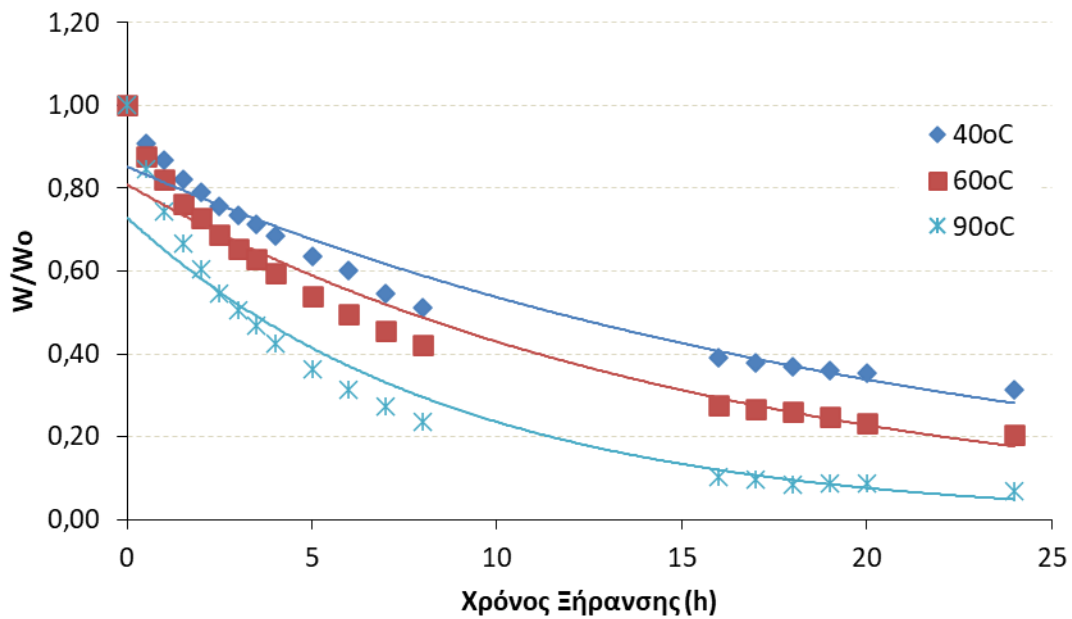


Διάγραμμα 25: Μεταβολή κλάσματος περιεχόμενης υγρασίας δέρματος (CNT) με το χρόνο ξήρανσης για θερμοκρασίες 40 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C και 90 °C





Διάγραμμα 26: Μεταβολή κλάσματος περιεχόμενης υγρασίας δέρματος (40%) με το χρόνο ξήρανσης για θερμοκρασίες 40 °C, 60 °C και 90 °C



Διάγραμμα 27: Μεταβολή κλάσματος περιεχόμενης υγρασίας δέρματος (60%) με το χρόνο ξήρανσης για θερμοκρασίες 40 °C, 60 °C και 90 °C

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές που προέκυψαν από τα διαγράμματα 25, 26 και 27.

Πίνακας 16: Συντελεστές εκθετικού μοντέλου θερμοκρασιών 40 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C και 90 °C για δείγματα (CNT), (40%) και (60%)

		CNT	40%	60%
40 °C	k	0.061	0.048	0.046
	R <sup>2</sup>	0.98	0.87	0.95
60 °C	k	0.086	0.066	0.063
	R <sup>2</sup>	0.97	0.97	0.95
70 °C	k	0.093		
	R <sup>2</sup>	0.99		
80 °C	k	0.101		
	R <sup>2</sup>	0.99		
90 °C	k	0.97	0.105	0.113
	R <sup>2</sup>	0.99	0.91	0.94

Όπως φαίνεται από τους συντελεστές προσδιορισμού του πίνακα 16, το εκθετικό μοντέλο που επιλέχθηκε έχει μία ικανοποιητική προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, σε όλες τις κατηγορίες δειγμάτων και θερμοκρασίες ο συντελεστής προσδιορισμού είναι ικανοποιητικός ( $R^2 > 0.9$ ) εκτός των δειγμάτων (40%) στους 40 °C, όπου η προσαρμογή του μοντέλου θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μέτρια. Παρατηρώντας ταυτόχρονα τα διαγράμματα 25, 26 και 27, και τους συντελεστές προσδιορισμού, μπορεί να παρατηρηθεί ότι συνολικά στα διαγράμματα 26 και 27, δηλαδή στις κατηγορίες των ωσσωμένων δειγμάτων, η προσαρμογή δεν είναι τόσο ικανοποιητική, όσο στα (CNT). Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται πιθανά διότι, όπως αναφέρθηκε η ωσμωτική αφυδάτωση σαν προκατεργασία καθιστά την αρχική περιεχόμενη υγρασία του προϊόντος πριν την ξήρανση, σημαντικά μικρότερη από αυτή του (CNT), με αποτέλεσμα τα ωσσωμένα δείγματα να ξεκινούν την ξήρανση με μικρότερο ρυθμό από τα (CNT), αφού παραλείπεται το πρώτο στάδιο της ξήρανσης, αυτό δηλαδή με τον υψηλότερο ρυθμό απώλειας νερού.

Σχετικά με τους συντελεστές k που παρουσιάζονται, παρατηρείται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας, για κάθε κατηγορία δείγματος, ο συντελεστής αυξάνεται. Ο συντελεστής k εκφράζει τη σταθερά του ρυθμού μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας δέρματος, για την αντίστοιχη θερμοκρασία. Όπως αναμένεται λοιπόν, ο ρυθμός μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Όμως, σχετικά με αυτή την παρατήρηση ιδιαίτερη εντύπωση δημιουργεί ότι στην κατηγορία (CNT), η σταθερά του ρυθμού φαίνεται στους 90 °C να είναι μικρότερη από αυτή στους 80 °C. Το φαινόμενο αυτό, πιθανά οφείλεται στην έκθεση του προϊόντος σε πολύ υψηλή θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να ψηθούν γρήγορα τα εξωτερικά στρώματα του δέρματος, και να λειτουργήσουν ως εμπόδιο για την απομάκρυνση της υγρασίας που είχε παραμείνει στο εσωτερικό του προϊόντος, καθιστώντας την ξήρανση βραδύτερη.

Επίσης ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι οι σταθερές ρυθμού μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας των (CNT) στις χαμηλές θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες από αυτές των ωσσωμένων δειγμάτων. Αντίθετα, στην τελική θερμοκρασία των 90 °C που μελετήθηκε, μεγαλύτερη σταθερά ρυθμού φαίνεται να έχουν τα ωσσωμένα. Συγκεκριμένα, ενώ στους 40 °C και 60 °C μεγαλύτερη k έχουν τα δείγματα (CNT), ακολουθούν τα δείγματα (40%) και έπειτα τα (60%), στους 90 °C συμβαίνει ακριβώς το αντίστροφο. Αυτό το γεγονός μπορεί να ερμηνευτεί λόγω της μειωμένης αρχικής υγρασίας των ωσσωμένων δειγμάτων, όπως προαναφέρθηκε, και επομένως την έλλειψη του πρώτου γρήγορου σταδίου της ξήρανσης. Συμπερασματικά, ο ρυθμός μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας στα ωσσωμένα δείγματα

μπορεί να προκύπτει μικρότερος συγκριτικά με τα (CNT), αλλά τα ωστωμένα δείγματα να φτάνουν στις επιθυμητές τιμές υγρασίας σε λιγότερο χρόνο ξήρανσης από τα (CNT).

Τέλος, να επισημανθεί ότι οι σταθερές των ρυθμών που παρουσιάζονται στον πίνακα 16 έχουν φυσική σημασία, αφού αποτελούν τη σταθερά ρυθμού για μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, και τα διαγράμματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο, με στόχο να προβλέψουν την περιεχόμενη υγρασία κάθε προϊόντος για οποιαδήποτε θερμοκρασία και χρονική διάρκεια.

Στη συνέχεια, βάση των συντελεστών  $k$  του πίνακα 16 και με την χρήση της εξίσωσης Arrhenius:

$$k = k_0 * e^{-\frac{E_A}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)} \quad (14)$$

όπου,  $k_0$ : η σταθερά του ρυθμού απώλειας περιεχόμενης υγρασίας σε θερμοκρασία αναφοράς,

$E_A$ : Ενέργεια ενεργοποίησης αντίδρασης (J/mol),

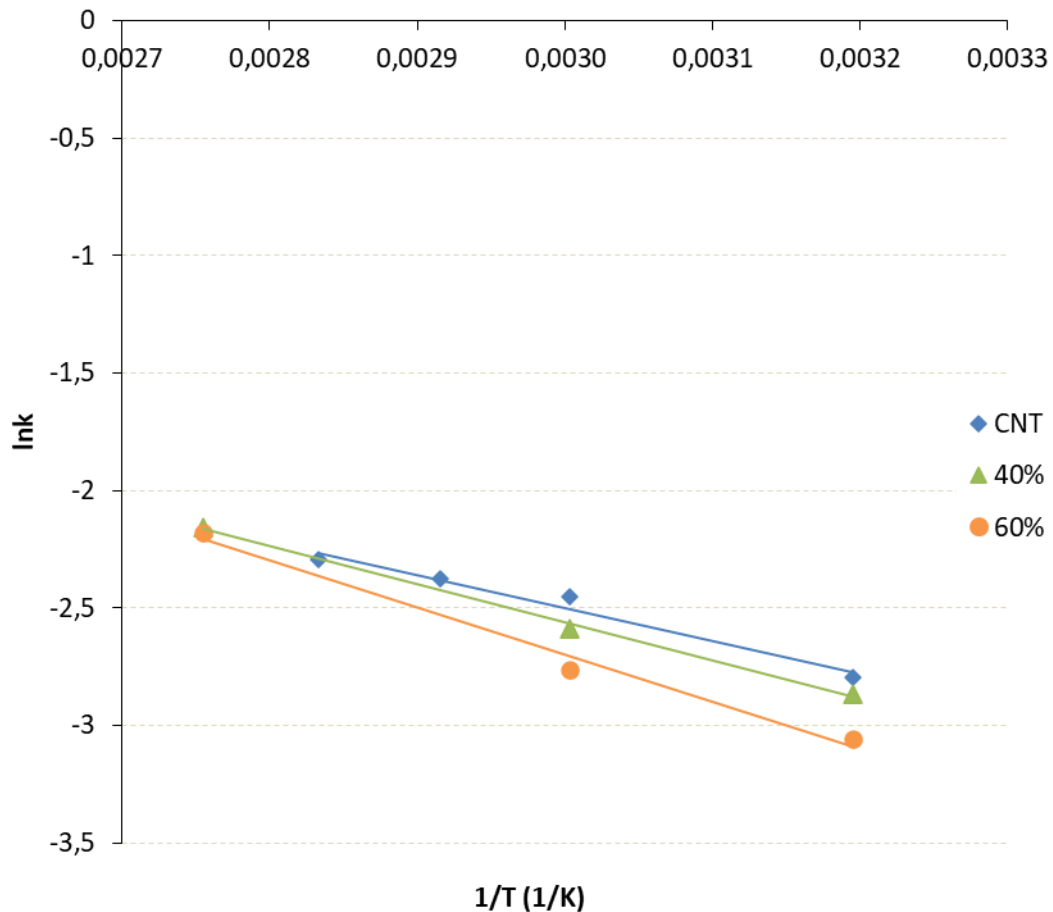
$R$ : η σταθερά αερίων (J/mol\*K),

$T$ : απόλυτη θερμοκρασία (K) και

$T_{ref}$ : θερμοκρασία αναφοράς (K),

σχεδιάστηκε το παρακάτω διάγραμμα, ώστε να βρεθούν οι  $E_A$  και οι προεκθετικοί παράγοντες  $A$  για κάθε περίπτωση δείγματος (CNT), (40%) και (60%). Για το σχεδιασμό του διαγράμματος, χρησιμοποιήθηκε η εξής λογαριθμική μορφή της εξίσωσης (14):

$$\ln k = \left( \frac{-E_A}{R} \right) * \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) + \ln k_0 \quad (15)$$



Διάγραμμα 28: Εξίσωση Arrhenius για δείγματα δέρματος (CNT) (40%) και (60%)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνολικά για κάθε περίπτωση δείγματος, η σταθερά ρυθμού μεταβολής περιεχόμενης υγρασίας για κάθε θερμοκρασία, η  $E_A$ , η σταθερά  $k_0$  και ο συντελεστής προσδιορισμού.

Πίνακας 17: Σταθερές ρυθμού ξήρανσης, Ενέργειες ενεργοποίησης, σταθερές  $k_0$  και συντελεστές προσδιορισμού της εξίσωσης Arrhenius για δείγματα δέρματος (CNT), (40%) και (60%)

		<b>CNT</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
<b>k</b>	40 °C	0.061	0.048	0.046
	60 °C	0.086	0.066	0.063
	70 °C	0.093		
	80 °C	0.101		
	90 °C	0.097	0.105	0.113
<b><math>E_A</math> (kJ/mol)</b>		11.7	14.8	16.7
<b><math>k_0</math></b>		5.61	14.18	28.02
<b><math>R^2</math></b>		0.97	0.99	0.99

Όπως φαίνεται και από τους συντελεστές προσδιορισμού του πίνακα 17, η εξίσωση Arrhenius περιγράφει με ακρίβεια την εξάρτηση της σταθεράς του ρυθμού μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας, από τη θερμοκρασία ξήρανσης, και στις τρεις περιπτώσεις προκατεργασίας.

Κλείνοντας αυτήν την ενότητα λοιπόν, είναι απαραίτητο να επισημανθεί η αξία των δεδομένων που προέκυψαν στον πίνακα 17, αφού έχοντας αυτά ως εργαλεία, μπορεί να προβλεφθεί η περιεχόμενη υγρασία κάθε προϊόντος, για τις τρεις κατηγορίες που εξετάστηκαν, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και χρονική διάρκεια ψήσιματος, ή ακόμη γνωρίζοντας την επιθυμητή τιμή περιεχόμενης υγρασίας, να βρεθεί η κατάλληλη χρονική διάρκεια σε οποιαδήποτε θερμοκρασία ξήρανσης.

## 5.8 Κινητική Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η μελέτη ξήρανσης του δέρματος σε θερμοκρασιακά μεταβαλλόμενο προφίλ. Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας στην ξήρανση χρησιμοποιήθηκε για τον ίδιο λόγο όπως και στο αυτί κουνελιού. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν χωρίς καμία προκατεργασία (CNT), με προκατεργασία 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με διάλυμα 60% w/w περιεκτικότητας γλυκερόλης (60%) και με προκατεργασία 2 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με διάλυμα 40% w/w περιεκτικότητας γλυκερόλης (40%). Το πρόγραμμα ξήρανσης που εξετάστηκε, δημιουργήθηκε βάση αυτού που είχε δοθεί από τον παραγωγό, με διάρκεια 24 h, που παρουσιάστηκε στον πίνακα 7.

*Πίνακας 18: Πρόγραμμα ξήρανσης δέρματος κεφαλής μόσχου για 24 h με βάση το πρόγραμμα ξήρανσης του παραγωγού*

Θερμοκρασία	Χρόνος	Χρόνος Αθροιστικά
40 °C	4 h 10 min	4 h 10 min
50 °C	4 h 50 min	9 h
60 °C	6 h 20 min	15 h 20 min
75 °C	6 h 20 min	21 h 40 min
90 °C	2 h 20 min	24 h

Το πρόγραμμα ξήρανσης του Πίνακα 18 προέκυψε με λιγότερα σημεία αλλαγής θερμοκρασίας από το πρότυπο, διότι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε δεν είχε την δυνατότητα για περισσότερα. Τα μεγέθη που μελετήθηκαν είναι η ενεργότητα νερού και η περιεχόμενη υγρασία σε υγρή βάση (%). Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 9 σημεία, στα 5 όπου γινόταν αλλαγή θερμοκρασίας, και σε άλλα 4 ενδιάμεσα, επίσης υπολογισμένα βάση του πρότυπου προγράμματος ψήσιματος του Πίνακα 7. Για την ενεργότητα νερού σε κάθε σημείο πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις, ενώ για την περιεχόμενη υγρασία τέσσερις. Οι τιμές που παρουσιάζεται αποτελούν τη μέση τιμή των επαναλήψεων.

### 5.8.1 Μεταβολή Ενεργότητας Νερού κατά το Ψήσιμο

Η μελέτη μεταβολής της ενεργότητας νερού πραγματοποιήθηκε ακριβώς όπως και για την ξήρανση αυτιών, στην παράγραφο 5.5.1.1 με το ίδιο πολυωνυμικό μοντέλο.

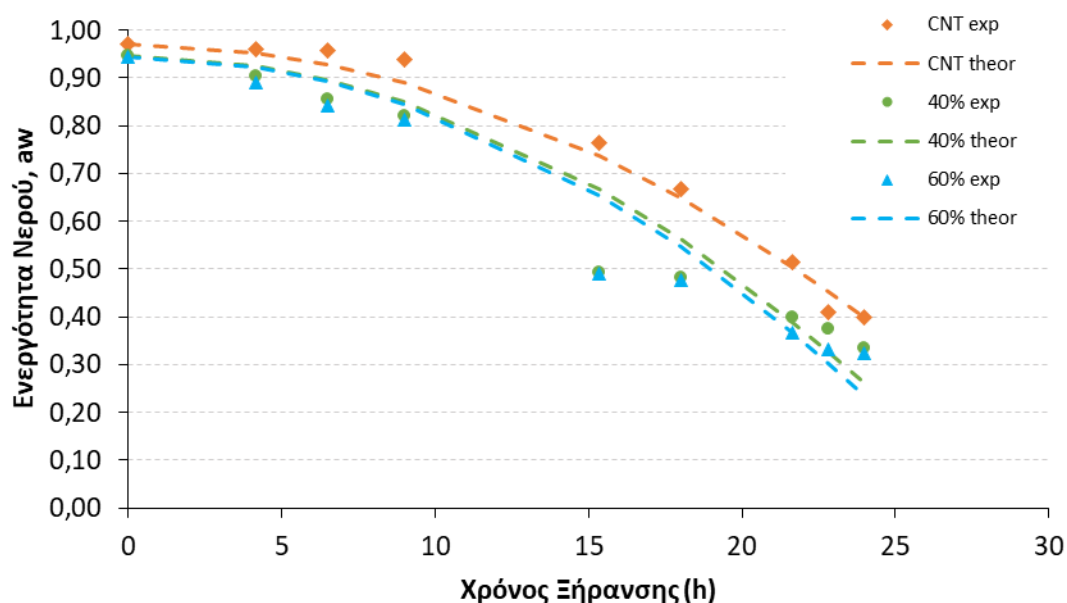
Προσαρμόζοντας λοιπόν τα πειραματικά δεδομένα στο συγκεκριμένο μοντέλο (11) προέκυψαν οι συντελεστές  $c$ , όπου και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τους συντελεστές προσδιορισμού.

Πίνακας 19: Συντελεστές  $c$  και συντελεστές προσαρμογής του πολυωνυμικού μοντέλου για την μεταβολή  $a_w$  δέρματος κεφαλής μόσχου στην 24 h ξήρανση για δείγματα (CNT), (40%) και (60%)

	CNT	40%	60%
$c$ ( $s^{-2}$ )	0.99	1.19	1.23
$R^2$	0.99	0.97	0.97

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 19, ο συντελεστής  $c$  των (CNT) είναι σημαντικά μικρότερος από τον συντελεστή  $c$  των ωσμωμένων δειγμάτων, γεγονός που επιβεβαιώνει την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης, ως προκατεργασία, στο ρυθμό μείωσης της ενεργότητας νερού κατά την ξήρανση. Επίσης, συγκριτικά μεταξύ των ωσμωμένων, τα (60%) φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη σταθερά ρυθμού μεταβολής ενεργότητας, σε σχέση με τα (40%), αν και η διαφορά τους δεν είναι αρκετά σημαντική. Ταυτόχρονα, σχετικά με την προσαρμογή του μοντέλου, βάση των συντελεστών προσδιορισμού, φαίνεται ότι το μοντέλο έχει πολύ ικανοποιητική προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα.

Βάση των συντελεστών που παρουσιάζονται στον πίνακα 19, υπολογίστηκαν οι τιμές ενεργότητας νερού, βάση του μοντέλου (11) και παρουσιάζονται μαζί με τις πειραματικές στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 29: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές ενεργότητας νερού δέρματος κεφαλής μόσχου σε 24 h ξήρανση για δείγματα (CNT), (40%) και (60%)



Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 29, σε όλες τις περιπτώσεις των δειγμάτων η ενεργότητα νερού μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης. Παρατηρείται επίσης, όπως φάνηκε και από τους συντελεστές στον πίνακα 19, ότι στα ωσμομένα δείγματα ο ρυθμός μείωσης της ενεργότητας είναι μεγαλύτερος από αυτόν των (CNT). Επιπλέον επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα που είχε προκύψει για την επιλογή συνθηκών της ωσμωτικής αφυδάτωσης, αφού παρατηρείται ότι τα δείγματα (40%) και (60%) έχουν την ίδια μεταβολή ενεργότητας νερού.

Όσον αφορά τα δείγματα χωρίς προκατεργασία (CNT) παρατηρείται από τα πειραματικά δεδομένα ότι επιθυμητές τιμές προέκυψαν από τις 21 h ξήρανσης. Ενώ με τη χρήση του πολυωνυμικού μοντέλου μπορεί να εκτιμηθεί ότι η ενεργότητα νερού θα φτάσει σε επιθυμητή τιμή από τις 20 h ξήρανσης.

Στα ωσμομένα δείγματα από την άλλη πλευρά παρατηρήθηκε βάση μοντέλου, ότι επιθυμητές τιμές για το μέγεθος της ενεργότητας νερού, εξασφαλίζονται μετά τις 17 h ξήρανσης. Βάση πειραματικών δεδομένων βέβαια, επιθυμητές τιμές προέκυψαν από τις 15 h.

### 5.8.2 Μεταβολή Περιεχόμενης Υγρασίας κατά το Ψήσιμο

Για την μελέτη της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας, χρήσιμη φάνηκε η μελέτη της κινητικής ξήρανση που πραγματοποιήθηκε στην ενότητα 5.7. Έχοντας λοιπόν τους συντελεστές του πίνακα 16, είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα μοντέλο που θα μπορεί να προβλέψει την υγρασία του δείγματος για αντίστοιχη θερμοκρασία και χρόνο ξήρανσης. Αρχικά, γνωρίζοντας ότι η περιεχόμενη υγρασία μεταβάλλεται εκθετικά με το χρόνο, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (12), η οποία μάλιστα είχε χρησιμοποιηθεί και στην μελέτη μεταβολής περιεχόμενης υγρασίας κατά την ξήρανση στο αυτί κουνελιού. Στην εξίσωση (12) λοιπόν αντικαταστάθηκε η εξίσωση Arrhenius (14) και προέκυψε το παρακάτω μοντέλο.

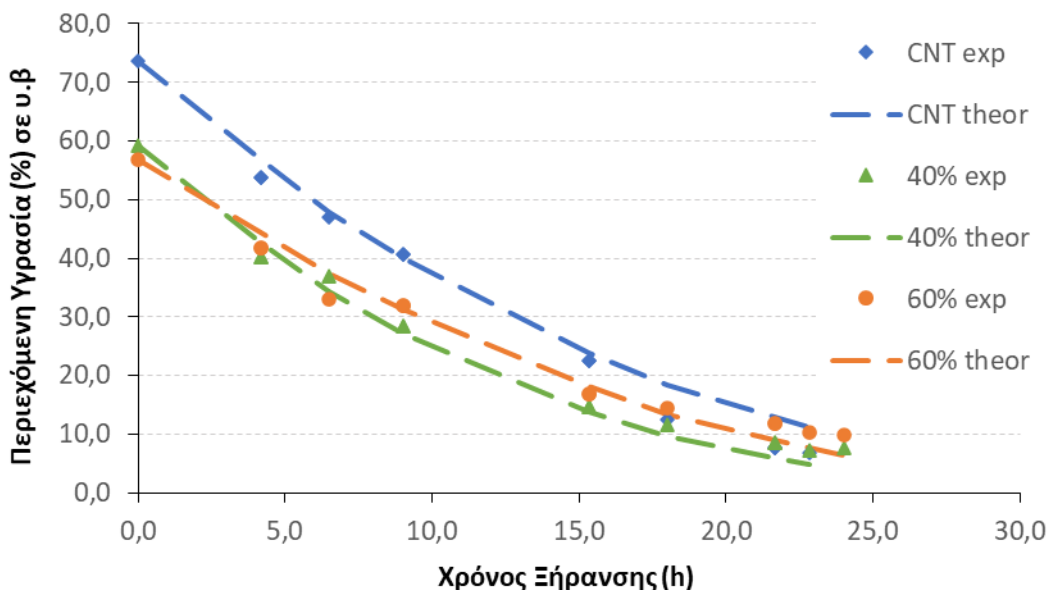
$$W_n = W_{n-1} * e^{-k_0 * e^{-\frac{E_A}{R * T}} * (t_n - t_{n-1})} \quad (16)$$

Όπου  $W_n$ : Η περιεχόμενη υγρασία σε υ.β (%) του δέρματος κεφαλής μόσχου για μέτρηση n

$W_{n-1}$ : Η περιεχόμενη υγρασία σε υ.β (%) του δέρματος κεφαλής μόσχου για μέτρηση n-1 και

T: η θερμοκρασία ξήρανσης τη χρονική στιγμή  $t_n$ .

Μέσω των συντελεστών του πίνακα 16 λοιπόν, υπολογίστηκαν οι περιεχόμενες υγρασίες του μοντέλου, και παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα, μαζί με τα πειραματικές τιμές. Στον υπολογισμό των τιμών, για n=1 χρησιμοποιήθηκε η πειραματική τιμή.



Διάγραμμα 30: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές περιεχόμενης υγρασίας σε υ.β. (%) για δείγματα δέρματος κεφαλής μόσχου (CNT), (40%) και (60%)

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 30 το μοντέλο περιγράφει αρκετά ικανοποιητικά τη μεταβολή της υγρασίας στο μεταβαλλόμενο θερμοκρασιακά πρόγραμμα. Όπως ήταν αναμενόμενο, η περιεχόμενη υγρασία του δέρματος φαίνεται να μειώνεται με το χρόνο ξήρανσης. Μικρές αποκλίσεις παρατηρούνται κυρίως στις τελευταίες τιμές του προγράμματος, που φαίνεται πειραματικά, ότι και οι τρεις κατηγορίες δειγμάτων καταλήγουν στις ίδιες τελικές τιμές.

Επιπρόσθετα, παρατηρώντας το διάγραμμα φαίνεται ότι, τα ωσμωμένα δείγματα (40%) και (60%) ξεκινούν τη διεργασία της ξήρανσης με χαμηλότερες τιμές περιεχόμενης υγρασίας, αλλά στο τέλος της ξήρανσης οι τιμές τους δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτές των (CNT). Βέβαια, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα ωσμωμένα δείγματα (40%) και (60%) φτάνουν την επιθυμητή τιμή περιεχόμενης υγρασίας νωρίτερα από τα (CNT). Συγκεκριμένα, τα (40%) και (60%) φτάνουν την επιθυμητή τιμή από τις 15 h ξήρανσης, ενώ τα (CNT) από τις 18 h. Βάση αυτής της παρατήρησης σε συνδυασμό με την αντίστοιχη παρατήρηση που έγινε για την επιθυμητή τιμή της ενεργότητας νερού στην παράγραφο 5.8.1, συμπεραίνεται ότι για όλα τα δείγματα περιοριστικό μέγεθος της ξήρανσης αποτελεί η ενεργότητα νερού. Επίσης προκύπτει ότι ενώ ο ρυθμός μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας δεν βελτιώνεται με την ωσμωτική αφυδάτωση, η διαφορά των αρχικών υγρασιών που έχουν τα ωσμωμένα δείγματα από τα (CNT) ευνοεί την ξήρανση, εξοικονομώντας χρόνο διεργασίας για την παραγωγή προϊόντος με την επιθυμητή τιμή του μεγέθους.

Επίσης, συγκρίνοντας τα (40%) με τα (60%), τις πρώτες ώρες της ξήρανσης, δηλαδή στις χαμηλές θερμοκρασίες, παρατηρείται ότι ο ρυθμός μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας των (40%) είναι μεγαλύτερος από αυτόν των (60%). Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται και από τις σταθερές ρυθμούς που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στον πίνακα 16 για τις θερμοκρασίες 40 °C και 60 °C. Βέβαια, όπως προκύπτει και από τις σταθερές ρυθμού σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τα (60%) αποκτούν υψηλότερο ρυθμό μείωσης του μεγέθους, γεγονός που αιτιολογεί τις κοινές τιμές στα τελευταία στάδια της ξήρανσης.

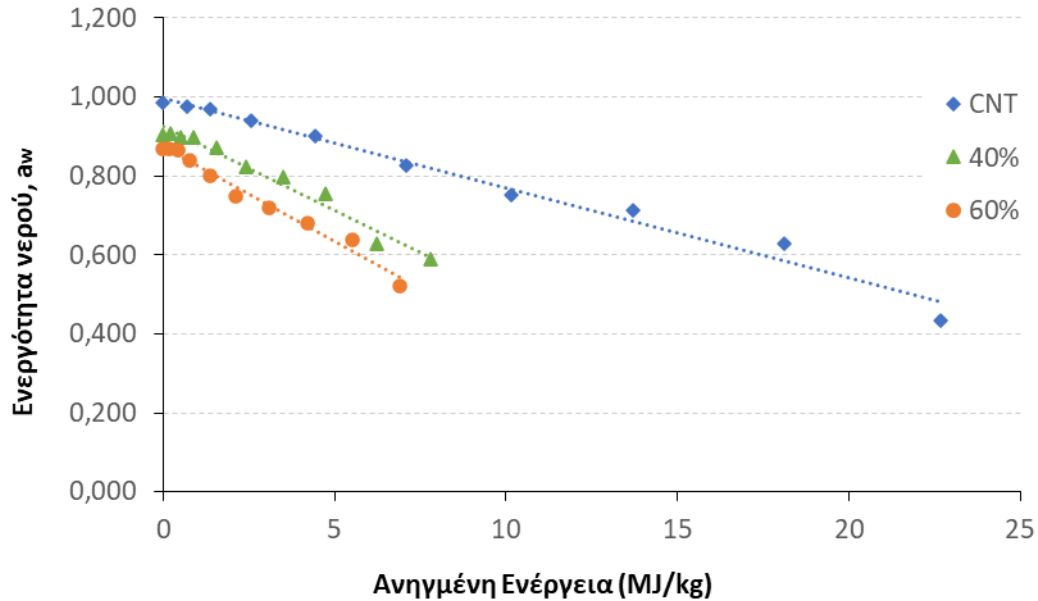
Συμπερασματικά, βάση όλης της μελέτης που έγινε στο δέρμα κεφαλής μόσχου, προέκυψε ότι είναι δυνατή η παραγωγή προϊόντος με τις επιθυμητές τιμές ενεργότητας νερού και περιεχόμενης υγρασίας, μέσω προκατεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης είτε για 1 h με ωσμωτικό μέσο 60% w/w γλυκερόλη, είτε για 2 h με ωσμωτικό μέσο 40% w/w γλυκερόλη και 15 h ξήρανση με θερμό αέρα σε μεταβαλλόμενο θερμοκρασιακά πρόγραμμα. Αυτά τα δύο σενάρια προκατεργασίας φάνηκαν να επιταχύνουν την αρχική ξήρανση που πραγματοποιούνταν σε δείγματα χωρίς προκατεργασία, κατά 6 h τουλάχιστον. Τουλάχιστον, διότι με μία πιθανή προσομοίωση του 24 h προγράμματος ξήρανσης σε 15 h, ή και λιγότερες, αναμένεται το προϊόν να μπορεί να λάβει τις επιθυμητές τιμές με ακόμα λιγότερο χρόνο ξήρανσης. Σε αυτό το εγχείρημα τεράστιας σημασίας εργαλείο είναι και το μοντέλο που προέκυψε μέσω της μελέτης που πραγματοποιήθηκε της εξίσωσης (16), διότι μέσω αυτού μπορεί να εκτιμηθούν οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων για κάθε πρόγραμμα ξήρανσης από 40 °C μέχρι και 90 °C.

## 5.9 Υπολογισμός Ενέργειας Ξήρανσης

Στο τελευταίο στάδιο του πειράματος, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της απαιτούμενης ενέργειας για την ξήρανση κάθε τελικού προϊόντος που είχε προκύψει, με στόχο την ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας που επετεύχθη μέσω της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Το μέγεθος που μελετήθηκε σε σχέση με την ενέργεια, είναι η ενεργότητα νερού του προϊόντος, αφού αυτό φάνηκε να είναι το περιοριστικό μέγεθος στη ξήρανση, τόσο στην περίπτωση των αυτιών κουνελιού, όσο και στο δέρμα κεφαλής μόσχου.

### 5.9.1 Υπολογισμός Ενέργειας Ξήρανσης Αυτιών Κουνελιού

Στην περίπτωση των αυτιών κουνελιού, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα, που απεικονίζει τη μεταβολή της ενεργότητας νερού του προϊόντος, σε σχέση με την ανηγμένη ενέργεια που καταναλώνεται, προς το ξηρό βάρος δείγματος που παράγεται. Η ανηγμένη ενέργεια που καταναλώθηκε υπολογίστηκε όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.9. Το διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω απεικονίζει τη μεταβολή της ενεργότητας νερού του προϊόντος, σε σχέση με την ανηγμένη ενέργεια. Στην περίπτωση των δειγμάτων (CNT) οι ενέργειες υπολογίστηκαν βάση του προγράμματος ξήρανσης 24 h του πίνακα 7, ενώ οι ενέργειες των δειγμάτων (40%) και (60%) από το πρόγραμμα ξήρανσης 10 h του πίνακα 11.



Διάγραμμα 31: Μεταβολή ενεργότητας νερού αυτιών κουνελιού σε σχέση με την ανοιγμένη κατανάλωση ενέργειας ανά kg ξηρού προϊόντος στο τέλος της ξήρανσης

Μέσω του διαγράμματος 31 υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες ανοιγμένες ενέργειες για την παραγωγή τελικού προϊόντος για κάθε περίπτωση δείγματος. Στην περίπτωση των δειγμάτων (CNT), παρατηρήθηκε ότι το προϊόν φτάνει σε επιθυμητές τιμές πριν φτάσει το πρόγραμμα ξήρανσης στους 90 °C. Βάση κανονισμών όμως το προϊόν είναι απαραίτητο να ψηθεί μέχρι και τους 90 °C. Για αυτόν το λόγο, για τα δείγματα (CNT) υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια κατανάλωσης, και έπειτα προστέθηκε σε αυτήν η ενέργεια που καταναλώνεται για 1 h ξήρανσης στους 90 °C. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψε ότι οι παρακάτω απαιτούμενες ενέργειες για τα δείγματα.

Πίνακας 20: Απαιτούμενες ενέργειες ξήρανσης για αυτιά κουνελιού (CNT), (40%) και (60%)

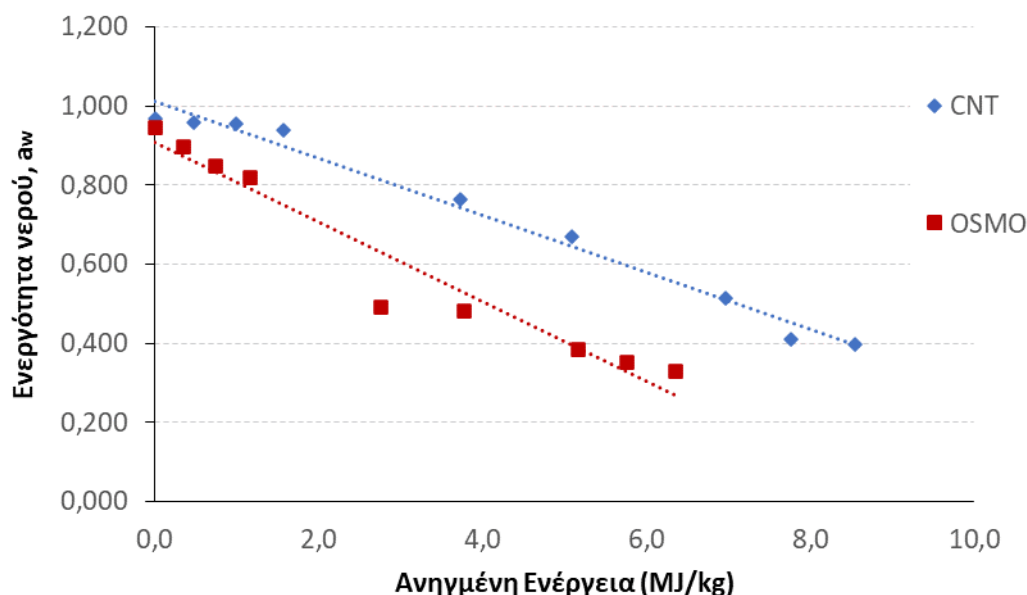
	CNT	40%	60%
<b>Απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης (MJ/kg τελικού προϊόντος)</b>	19.1	7.79	5.69

Από τον πίνακα 20 μπορεί να φανεί η τεράστια σημασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σαν προκατεργασία της ξήρανσης στο αυτί. Πρακτικά οι τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα είναι ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας και χρόνου που παρατηρήθηκε στις προηγούμενες ενότητες. Συγκεκριμένα, με την χρήση ωσμωτικού διαλύματος περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη για 1 h προκατεργασία η κατανάλωση ενέργειας της ξήρανσης ανά kg τελικού προϊόντος μειώνεται κατά 59%, ενώ για την ίδια χρονική διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης και χρήση ωσμωτικού διαλύματος περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη η ενέργεια ξήρανσης ανά kg τελικού προϊόντος που παράγεται, μειώνεται κατά 70% από αυτήν που καταναλώνεται για δείγματα χωρίς καμία προκατεργασία.

### 5.9.2 Υπολογισμός Ενέργειας Ξήρανσης Δέρματος Κεφαλής Μόσχου

Για το δέρμα κεφαλής μόσχου, δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα, που απεικονίζει τη μεταβολή της ενεργότητας νερού του προϊόντος, σε σχέση με την ανηγμένη ενέργεια που καταναλώνεται, προς το ξηρό βάρος δείγματος που παράγεται. Οι τιμές ενεργότητας

νερού, είναι αυτές που προέκυψαν από το πρόγραμμα ξήρανσης δέρματος 24 h που μελετήθηκε στην ενότητα 5.8. Τα δείγματα (40%) και (60%), όπως φάνηκε από τη μελέτη ξήρανσης που πραγματοποιήθηκε στην ενότητα 5.8, δίνουν το ίδιο τελικό προϊόν, και στο παρακάτω διάγραμμα μετονομάστηκαν σε δείγματα (OSMO), αφού πρόκειται για τα δείγματα με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης.



Διάγραμμα 32: Μεταβολή ενεργότητας νερού δέρματος κεφαλής μόσχου σε σχέση με την ανηγμένη κατανάλωση ενέργειας ανά kg ξηρού προϊόντος στο τέλος της ξήρανσης

Μέσω του διαγράμματος 32 υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια ανά kg ξηρού προϊόντος για την παραγωγή τελικού προϊόντος στην περίπτωση των δειγμάτων χωρίς προκατεργασία (CNT), και με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης (OSMO). Επειδή παρατηρήθηκε ότι το προϊόν φτάνει στην επιθυμητή τιμή ενεργότητας νερού, πριν η θερμοκρασία φτάσει τους 90 °C, αλλά ταυτόχρονα για να είναι το προϊόν σταθερό βάση κανονισμών πρέπει να έχει ψηθεί στους 90 °C, υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες ενέργειες και έπειτα προστέθηκαν σε αυτές η ενέργεια ξήρανσης του φούρνου στους 90°C για 1 h. Με αυτή τη μέθοδο προέκυψαν τα παρακάτω.

Πίνακας 21: Απαιτούμενες ενέργειες ξήρανσης για δέρμα κεφαλής μόσχου (CNT), και ωσμομένων

	CNT	OSMO
<b>Απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης (MJ/kg τελικού προϊόντος)</b>	6.4	3.27

Αντίστοιχα αποτελέσματα με το αυτί κουνελιού λαμβάνονται και στο δέρμα κεφαλής μόσχου. Όπως παρατηρείται και στον πίνακα 21, η ωσμωτική αφυδάτωση σαν προκατεργασία της ξήρανσης ευνοεί σε μεγάλη κλίμακα και την εξοικονόμηση ενέργειας της ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα προέκυψε ότι με την εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης πριν την ξήρανση είτε για 1 h με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη, είτε για 2 h με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη, η κατανάλωση ενέργειας της ξήρανσης ανά kg τελικού προϊόντος μειώνεται κατά 49%. Το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να αυξηθεί περισσότερο όπως προαναφέρθηκε, αφού τα

ωσσωμένα δείγματα φαίνεται να μπορούν να δώσουν επιθυμητές τιμές τελικού προϊόντος νωρίτερα των 15 h, βάση των οποίων έγιναν οι παραπάνω υπολογισμοί.

Επίσης, συγκρίνοντας τις απαιτούμενες ενέργειες ξήρανσης των αυτιών και του δέρματος, παρατηρείται σημαντική διαφορά στις τιμές. Αυτό συμβαίνει διότι η μάζα του τελικού προϊόντος που προκύπτει είναι διαφορετική, λόγω χωρητικότητας του εξοπλισμού ξήρανσης. Όπως περιεγράφηκε και στο κεφάλαιο 4, τα αυτιά κουνελιού κατά την ξήρανση κρεμάστηκαν, ενώ για το δέρμα κεφαλής μόσχου χρησιμοποιήθηκαν δίσκοι, δίνοντας τη δυνατότητα ποσοτικά μεγαλύτερης παραγωγής προϊόντος.



## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη των παραπροϊόντων σφαγείων και της εναλλακτικής χρήσης τους για την παραγωγή διατροφικών προϊόντων που απευθύνονται σε ζώα συντροφιάς. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι μασώμενες λιχουδιές, οι οποίες σε βιομηχανική κλίμακα παράγονται μέσω ξήρανσης με θερμό αέρα. Η συγκεκριμένη διεργασία, εκτός από χρονοβόρα, ενεργοβόρα και κοστοβόρα, υποβαθμίζει ποιοτικά το τελικό προϊόν, σχετικά με τη θρεπτική του αξία. Αυτό αποτέλεσε αφορμή, ώστε να μελετηθούν εναλλακτικές μέθοδοι αφυδάτωσης των προϊόντων, με λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Η μέθοδος που εξετάστηκε είναι η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε φρούτα και λαχανικά για την απομάκρυνση νερού, ενώ έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί δείχνουν να είναι αποτελεσματική και στη ζωική πρώτη ύλη.

Στόχος λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, σε δύο προϊόντα μασώμενων λιχουδιών, ένα με πρώτη ύλη καθαρισμένο, χωρίς τρίχωμα αυτί κουνελιού, και ένα με καθαρισμένο, ξυρισμένο δέρμα κεφαλής μόσχου, με στόχο την παραγωγή τελικού προϊόντος σε χαμηλότερο χρόνο ξήρανσης και χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

Πρόκειται και στις δύο περιπτώσεις για ένα φυσικό και θρεπτικό προϊόν, το οποίο περιλαμβάνει την αξιοποίηση ζωικών παραπροϊόντων, μειώνοντας την απορριπτέα ζωική ύλη, ενώ ταυτόχρονα παραμένει πλούσιο σε πρωτεΐνη, και μπορεί να δοθεί ως συμπληρωματικό στην διατροφή του κατοικίδιου. Συγκεκριμένα το προϊόν αυτιού κουνελιού βρέθηκε να αποτελείται από 18.4% και το προϊόν δέρματος κεφαλής μόσχου από 15.8% πρωτεΐνη σε υγρή βάση.

Αρχικά, στη μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης των δύο πρώτων υλών που πραγματοποιήθηκε, προέκυψε ότι η διεργασία είναι αποτελεσματική ως προς τη μερική απώλεια περιεχόμενης υγρασίας του προϊόντος. Από την κινητική μελέτη των μεγεθών WL και SG παρατηρήθηκε ότι τα μεγέθη τείνουν να σταθεροποιηθούν έπειτα από ένα χρονικό σημείο της διεργασίας, και βάση αυτού του σημείου κρίθηκε η κατάλληλη χρονική διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης για κάθε προϊόν. Η μελέτη μεταβολής των WL και SG περιγράφηκε μαθηματικά με χρήση εξίσωσης πρώτης τάξης.

Όσον αφορά τα αυτιά κουνελιού, κατάλληλη χρονική διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης κρίθηκε η 1 h, τόσο στην περίπτωση ωσμωτικού διαλύματος με περιεκτικότητα 40%, όσο και 60% w/w γλυκερόλη. Για 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη προέκυψε τελικό προϊόν, μετά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με WL 1.38 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος και SG 0.74 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος. Ενώ για 1 h ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη προέκυψε προϊόν με WL 1.75 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος και SG 0.71 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος.

Σχετικά με το δέρμα κεφαλής μόσχου, στην περίπτωση ωσμωτικού διαλύματος με περιεκτικότητα 40% w/w γλυκερόλη, κατάλληλη χρονική διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης κρίθηκαν οι 2 h, ενώ στην περίπτωση περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη η 1 h. Για την

περίπτωση ωσμωτικού διαλύματος περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη προέκυψε προϊόν, μετά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με WL 0.83 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος και SG 0.40 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος. Ενώ για ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη προέκυψε προϊόν με WL 0.84 g νερού που απομακρύνθηκε προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος και SG 0.48 g στερεών που προσλήφθηκαν προς ξηρό βάρος αρχικού νωπού δείγματος.

Και για τις δύο πρώτες ύλες λοιπόν προέκυψε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση επιτυγχάνει μερική απώλεια νερού στο προϊόν, η οποία είναι στατιστικά σημαντική, αλλά δεν καθιστά το προϊόν σταθερό. Για αυτόν το λόγο επιλέχθηκε να εφαρμοστεί ως προκατεργασία της κύριας μεθόδου, δηλαδή της ξήρανσης με θερμό αέρα, με στόχο τη μείωσης της χρονικής διάρκειας της.

Στα πλαίσια της μελέτης ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία στην ξήρανση με θερμό αέρα των αυτιών κουνελιού, μελετήθηκε επίσης και η προσθήκη ενζύμου παπαΐνης στο ωσμωτικό μέσο. Σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι η προσθήκη ενζύμου στο ωσμωτικό μέσο δεν επιταχύνει το ρυθμό μείωσης της ενεργότητας νερού και της περιεχόμενης υγρασίας του αυτιού. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να συνδέεται με την πρωτεολυτική δράση του ενζύμου και τον μετέπειτα σχηματισμό πρωτεϊνικών διασυνδέσεων, οδηγώντας σε σταθερά πρωτεϊνικά πλέγματα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συσσώρευση περισσότερων μορίων νερού εντός του πρωτεϊνικού πλέγματος και η καθυστέρηση της διαφυγής του νερού σε περιπτώσεις των διεργασιών ξήρανσης. Για την επιβεβαίωση αυτού του συμπεράσματος, θα μπορούσε να δοκιμαστεί η χρήση κάποιου άλλου ενζύμου, ή η δοκιμή προσθήκης ενζύμου μετά την ωσμωτική αφυδάτωση του προϊόντος. Επίσης μία ακόμα πρόταση θα ήταν η δοκιμή του πειράματος σε υψηλότερη θερμοκρασία με στόχο την καλύτερη πρωτεολυτική απόδοση.

Επιπλέον, για το δέρμα κεφαλής μόσχου μελετήθηκε η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας σε διαφορετικές θερμοκρασίες και προέκυψε η κατασκευή εξίσωσης που περιγράφει την εξάρτηση περιεχόμενης υγρασίας, χρόνου ξήρανσης και θερμοκρασίας. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για δείγματα χωρίς προκατεργασία και με προκατεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% και 60% w/w γλυκερόλη για την χρονική διάρκεια που προέκυψε από τη μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης για κάθε περίπτωση διαλύματος αντίστοιχα. Η μεταβολή της υγρασίας με τον χρόνο ξήρανσης περιγράφηκε μαθηματικά με χρήση εκθετικού μοντέλου πρώτης τάξης και η εξάρτηση της σταθεράς του μοντέλου από τη θερμοκρασία ξήρανσης περιγράφηκε μέσω της εξίσωσης Arrhenius. Με συνδυασμό των παραπάνω εξισώσεων, κατασκευάστηκε η τελική εξίσωση. Με τη χρήση της συγκεκριμένης εξίσωσης μπορεί να εκτιμηθεί η μεταβολή της υγρασίας του προϊόντος σε οποιαδήποτε θερμοκρασία ξήρανσης και για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, δηλαδή σε οποιοδήποτε θερμοκρασιακά μεταβαλλόμενο προφίλ ξήρανσης.

Στη συνέχεια, μέσω επαναλήψεων και αναπροσαρμογών του πρότυπου προγράμματος ψησίματος που δόθηκε από τον παραγωγό, και με την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις συνθήκες που προέκυψαν από την προηγούμενη μελέτη, προέκυψαν τα παρακάτω τελικά προϊόντα.

Σχετικά με το αυτί κουνελιού, το αρχικό προϊόν που μελετήθηκε χρειαζόταν για την παραγωγή του 21 h ξήρανση με θερμό αέρα από 40 °C έως 90 °C και κατανάλωση ενέργειας 19.1 MJ/kg τελικού προϊόντος. Μέσω της έρευνας που πραγματοποιήθηκε, παράχθηκαν δύο εναλλακτικά προϊόντα. Το πρώτο μέσω προκατεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h σε θερμοκρασία δωματίου, με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη και 0.1% μεταδιθειώδες νάτριο και αναλογία δείγματος προς διάλυμα 1:5, και έπειτα ξήρανση με θερμό αέρα για 10 h από 40 °C έως 90 °C και κατανάλωση ενέργειας 7.79 MJ/kg τελικού προϊόντος. Το δεύτερο προϊόν παράχθηκε μέσω προκατεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h σε θερμοκρασία δωματίου, με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη και 0.1% μεταδιθειώδες νάτριο και αναλογία δείγματος προς διάλυμα 1:5, και έπειτα ξήρανση με θερμό αέρα για 9 h από 40 °C έως 90 °C και κατανάλωση ενέργειας 5.69 MJ/kg τελικού προϊόντος. Όπως είναι εμφανές το πρώτο εναλλακτικό προϊόν εξοικονομεί 11 h διεργασίας ξήρανσης και επιτυγχάνει μείωση της ενέργειας ξήρανσης ανά kg τελικού προϊόντος κατά 59%, ενώ το δεύτερο εναλλακτικό προϊόν, 12 h διεργασίας ξήρανσης και εξοικονόμηση ενέργειας ξήρανσης ανά kg τελικού προϊόντος κατά 70%.

Όσον αφορά το δέρμα κεφαλής μόσχου, το αρχικό προϊόν που μελετήθηκε χρειαζόταν για την παραγωγή του 21 h ξήρανση με θερμό αέρα από 40 °C έως 90 °C και κατανάλωση ενέργειας 6.4 MJ/kg τελικού προϊόντος. Μέσω της έρευνας που πραγματοποιήθηκε, παράχθηκαν δύο εναλλακτικά προϊόντα. Το πρώτο μέσω προκατεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης για 2 h σε θερμοκρασία δωματίου, με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 40% w/w γλυκερόλη και 0.1% μεταδιθειώδες νάτριο και αναλογία δείγματος προς διάλυμα 1:5, και έπειτα ξήρανση με θερμό αέρα για 15 h από 40 °C έως 90 °C και κατανάλωση ενέργειας 3.27 MJ/kg τελικού προϊόντος. Το δεύτερο προϊόν παράχθηκε μέσω προκατεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης για 1 h σε θερμοκρασία δωματίου, με ωσμωτικό διάλυμα περιεκτικότητας 60% w/w γλυκερόλη και 0.1% μεταδιθειώδες νάτριο και αναλογία δείγματος προς διάλυμα 1:5, και έπειτα αντίστοιχη ξήρανση με το πρώτο προϊόν. Όπως είναι εμφανές τα δύο εναλλακτικά προϊόντα διαφέρουν στις συνθήκες προκατεργασίας, δηλαδή της ωσμωτικής αφυδάτωσης, και συγκριτικά με το αρχικό προϊόν εξοικονομούν 6 h ξήρανσης και επιτυγχάνουν μείωση της ενέργειας ξήρανσης ανά kg τελικού προϊόντος κατά 49%.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι για να εξαχθεί ως τελικό συμπέρασμα ότι τα εναλλακτικά προϊόντα που παράχθηκαν αποτελούν συμφέρουσα επιλογή, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και άλλες παράμετροι, όπως οικονομικές.

Τέλος, σύμφωνα με όλη τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε και των συμπερασμάτων που προέκυψαν, παρατίθενται κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Αρχικά όπως αναφέρθηκε, μία πρόταση για μελλοντική έρευνα είναι η επανάληψη του πειράματος με χρήση διαφορετικού πρωτεολυτικού ενζύμου, ή η δοκιμή του πειράματος με διαφορετική σειρά διεργασιών. Δηλαδή, να πραγματοποιηθεί πρώτα η ωσμωτική αφυδάτωση και έπειτα η προσθήκη του ενζύμου.

Επίσης, ερευνητικό ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη της διάρκειας ζωής του κάθε προϊόντος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ένα από τα πλεονεκτήματα της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα τρόφιμα είναι, ότι παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους. Μελετώντας λοιπόν τη διάρκεια ζωής των εμπορικών και των εναλλακτικών προϊόντων που προέκυψαν, θα μπορούσε να βρεθεί ακόμα ένα πλεονέκτημα των προτεινόμενων προϊόντων που

παρουσιάστηκαν. Επίσης, ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη και σύγκριση των προϊόντων που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση, ως προς τη διάρκεια ζωής τους και κατά πόσο αυτή επηρεάζεται από την διαφορά του ωσμωτικού διαλύματος σε περιεκτικότητα γλυκερόλης. Επιπρόσθετα, αντίστοιχη ενδιαφέρουσα μελέτη θα ήταν αυτή της σκληρότητας των προϊόντων και κατά πόσο αυτή επηρεάζεται από την ωσμωτική αφυδάτωση.

Επιπλέον, θα μπορούσε να μελετηθεί η προσθήκη διαφόρων ουσιών στο ωσμωτικό μέσο, όπως αντιοξειδωτικών. Αφορμή αυτού ήταν η παρατήρηση που έγινε κατά τη διάρκεια της έρευνας. Συγκεκριμένα, μέσω της οσμής των προϊόντων, παρατηρήθηκε ότι σε κάποια συσκευασμένα δείγματα που παρέμειναν σε αποθηκευτικό χώρο του εργαστηρίου για αρκετό χρονικό διάστημα, είχε λάβει χώρα οξείδωση των λιπαρών. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, μία πιθανή λύση θα ήταν η προσθήκη κάποιου αντιοξειδωτικού στο ωσμωτικό μέσο.

Ακόμη, σχετικά με το προϊόν δέρματος κεφαλής μόσχου, θα μπορούσε να γίνει αναπροσαρμογή του 24 h προγράμματος ψησίματος, όπως και στο προϊόν αυτιού κουνελιού, με στόχο την επίτευξη τελικού προϊόντος σε λιγότερο ακόμα χρόνο και με μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.

Τέλος, σαν πρόταση μελλοντικής έρευνας προς την κατεύθυνση της ολικής αξιοποίησης των ζωικών παραπροϊόντων, θα μπορούσαν να δοκιμαστούν με την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης και άλλα παραπροϊόντα σφαγείων, όπως τραχείες, λάρυγγες ή και μόρια, με στόχο την παραγωγή εναλλακτικών προϊόντων με λιγότερη θερμική επεξεργασία και χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

## Βιβλιογραφία

- Akbarian, M., & Ghasemkhani, N. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 4(1), 42–57. <https://doi.org/10.12692/ijb/4.1.42-57>
- Alao, B., Falowo, A., Chulayo, A., & Muchenje, V. (2017). The Potential of Animal By-Products in Food Systems: Production, Prospects and Challenges. *Sustainability*, 9(7), 1089. <https://doi.org/10.3390/su9071089>
- Almena, A., Goode, K. R., Bakalis, S., Fryer, P. J., & Lopez-Quiroga, E. (2019). Optimising food dehydration processes: energy-efficient drum-dryer operation. *Energy Procedia*, 161, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.078>
- Andreou, V., Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Katsaros, G., & Taoukis, P. (2018). Combinatory effect of osmotic and high pressure processing on shelf life extension of animal origin products – Application to chilled chicken breast fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.11.002>
- Assis, F. R., Morais, R. M. S. C., & Morais, A. M. M. B. (2016). Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Food Products: Comparison Between Mathematical Models. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 116–133. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9123-1>
- AZUARA, E., CORTÉS, R., GARCIA, H. S., & BERISTAIN, C. I. (2007). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(4), 409–418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x>
- Clarke, D., Kelman, M., & Perkins, N. (2011). Effectiveness of a Vegetable Dental Chew on Periodontal Disease Parameters in Toy Breed Dogs. *Journal of Veterinary Dentistry*, 28(4), 230–235. <https://doi.org/10.1177/089875641102800403>
- Cohen, J. S., & Yang, T. C. S. (1995). Progress in food dehydration. *Trends in Food Science & Technology*, 6(1), 20–25. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)88913-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)88913-X)
- Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F., & Poligné, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, 49(2–3), 153–162. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00215-6)
- Dainton, A. N., Dogan, H., & Aldrich, C. G. (2021). The Effects of Select Hydrocolloids on the Processing of Pâté-Style Canned Pet Food. *Foods*, 10(10), 2506. <https://doi.org/10.3390/foods10102506>
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2016). Mass transfer kinetics during osmotic processing of beef meat using ternary solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 560–569. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.001>
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2017). Effect of Maltodextrin, Sodium Chloride, and Liquid Smoke on the Mass Transfer Kinetics and Storage Stability of Osmotically Dehydrated Beef Meat. *Food and Bioprocess Technology*, 10(11), 2034–2045. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1973-5>

- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2019). Diffusion coefficients and volume changes of beef meat during osmotic dehydration in binary and ternary solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 116, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.04.007>
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2020). Osmotic Processing of Meat: Mathematical Modeling and Quality Parameters. *Food Engineering Reviews*, 12(1), 32–47. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09203-1>
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., & Katsanidis, E. (2022). Effect of Process Temperature on the Physical State of Beef Meat Constituents – Implications on Diffusion Kinetics during Osmotic Dehydration. *Food and Bioprocess Technology*, 15(3), 706–716. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02778-4>
- Directorate-General for Health and Food Safety. (n.d.). *Animal by-products*. European Commission. Retrieved August 25, 2023, from [https://food.ec.europa.eu/safety/animal-products\\_en](https://food.ec.europa.eu/safety/animal-products_en)
- Dodd, S., Cave, N., Abood, S., Shoveller, A., Adolphe, J., & Verbrugghe, A. (2020). An observational study of pet feeding practices and how these have changed between 2008 and 2018. *Veterinary Record*, 186(19), 643–643. <https://doi.org/10.1136/vr.105828>
- Consolidated text: Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed, Pub. L. No. 2019/1118, 32 (2019).
- Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation), 1 (2019).
- Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on additives for use in animal nutrition (Text with EEA relevance)Text with EEA relevance, 1 (2021).
- Filipović, I., Čurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Filipović, J., & Knežević, V. (2017). The Effects of Technological Parameters on Chicken Meat Osmotic Dehydration Process Efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), e13116. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13116>
- Finley, R., Reid-Smith, R., Weese, J. S., & Angulo, F. J. (2006). Human Health Implications of Salmonella-Contaminated Natural Pet Treats and Raw Pet Food. *Clinical Infectious Diseases*, 42(5), 686–691. <https://doi.org/10.1086/500211>
- Gorrel, C., & Bierer, T. L. (1999). Long Term Effects of a Dental Hygiene Chew on the Periodontal Health of Dogs. *Journal of Veterinary Dentistry*, 16(3), 109–113. <https://doi.org/10.1177/089875649901600302>
- Guy, R. C. E. (2004). PET FOODS. In *Encyclopedia of Grain Science* (pp. 445–450). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-765490-9/00127-0>
- Haghi, A. K., & Amanifard, N. (2008). Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25(3), 491–501. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322008000300007>
- Harper, J. M., & Clark, J. P. (1979). Food extrusion. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 11(2), 155–215. <https://doi.org/10.1080/10408397909527262>

- Harvey, C. E., Shofer, F. S., & Laster, L. (1996). Correlation of Diet, Other Chewing Activities and Periodontal Disease in North American Client-Owned Dogs. *Journal of Veterinary Dentistry*, 13(3), 101–105. <https://doi.org/10.1177/089875649601300304>
- Hooda, S., Ferreira, L. G., Latour, M. A., Bauer, L. L., Fahey, G. C., & Swanson, K. S. (2012). In vitro digestibility of expanded pork skin and rawhide chews, and digestion and metabolic characteristics of expanded pork skin chews in healthy adult dogs. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4355–4361. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5333>
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 278–293. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>
- Kępińska-Pacelik, J., Biel, W., Mizielińska, M., & Iwański, R. (2023). Chemical Composition and Palatability of Nutraceutical Dog Snacks. *Applied Sciences*, 13(5), 2806. <https://doi.org/10.3390/app13052806>
- Lewicki, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.012>
- Limeneh, D. Y., Tesfaye, T., Ayele, M., Husien, N. M., Ferede, E., Haile, A., Mengie, W., Abuhay, A., Gelebo, G. G., Gibril, M., & Kong, F. (2022). A Comprehensive Review on Utilization of Slaughterhouse By-Product: Current Status and Prospect. *Sustainability*, 14(11), 6469. <https://doi.org/10.3390/su14116469>
- Marx, F., Machado, G., Pezzali, J., Marcolla, C., Kessler, A., Ahlstrøm, Ø., & Trevizan, L. (2016). Raw beef bones as chewing items to reduce dental calculus in Beagle dogs. *Australian Veterinary Journal*, 94(1–2), 18–23. <https://doi.org/10.1111/avj.12394>
- Mohammad Shafiur Rahman. (2007). Osmotic Dehydration of Foods. In *Handbook of Food Preservation* (pp. 433–446).
- Mora, L., Toldrá-Reig, F., Reig, M., & Toldrá, F. (2019). Possible Uses of Processed Slaughter Byproducts. In *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 145–160). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00008-0>
- Mujumdar, A. S. (2020). *Handbook of Industrial Drying* (A. S. Mujumdar, Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429289774>
- Novotny, B. J., Hand, M. S., Thatcher, C. D., Remillard, R. L., & Roudebush, P. (2010). Pet foods. In *Small Animal Clinical Nutrition* (5th ed., pp. 207–223). Mark Morris Institute.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B. (1998). Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science & Technology*, 33(3), 267–284. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1998.00167.x>
- Rahman, U. ur, Sahar, A., & Khan, M. A. (2014). Recovery and utilization of effluents from meat processing industries. *Food Research International*, 65, 322–328. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.026>
- Sanderson, S. L. (2021). Pros and Cons of Commercial Pet Foods (Including Grain/Grain Free) for Dogs and Cats. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 51(3), 529–550. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2021.01.009>



- Santos, D., Maurício, A. C., Sencadas, V., Santos, J. D., Fernandes, M. H., & Gomes, P. S. (2018). Spray Drying: An Overview. In *Biomaterials - Physics and Chemistry - New Edition*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72247>
- Schmidt, F. C., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2009). Application of diffusive and empirical models to hydration, dehydration and salt gain during osmotic treatment of chicken breast cuts. *Journal of Food Engineering*, *91*(4), 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.003>
- Sgorlon, S., Sandri, M., Stefanon, B., & Licastro, D. (2022). Elemental composition in commercial dry extruded and moist canned dog foods. *Animal Feed Science and Technology*, *287*, 115287. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115287>
- Soham Shukla. (2011). FREEZE DRYING PROCESS: A REVIEW. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, *2*(12), 3061–3068.
- Stokey, G. K. (2009). Soft Rawhide Reduces Calculus Formation in Dogs. *Journal of Veterinary Dentistry*, *26*(2), 82–85. <https://doi.org/10.1177/089875640902600202>
- Sturm, B., Hofacker, W. C., & Hensel, O. (2012). Optimizing the Drying Parameters for Hot-Air–Dried Apples. *Drying Technology*, *30*(14), 1570–1582. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.698439>
- Sutar, P., & Prasad, S. (2008). *Microwave drying technology-recent developments and R&D needs in India*.
- Thompson, A. (2008). Ingredients: Where Pet Food Starts. *Topics in Companion Animal Medicine*, *23*(3), 127–132. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2008.04.004>
- Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, *4*(6), 303–324.
- Tran, Q. D., Hendriks, W. H., & van der Poel, A. F. (2008). Effects of extrusion processing on nutrients in dry pet food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(9), 1487–1493. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3247>
- Vega, A., Fito, P., Andrés, A., & Lemus, R. (2007). Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, *79*(4), 1460–1466. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.028>
- Waliszewski, K. N., Pardio, V. T., & Ovando, S. L. (2007). Control of Polyphenol Oxidase Activity in Banana Slices During Osmotic Dehydration. *Drying Technology*, *25*(2), 375–378. <https://doi.org/10.1080/07373930601120613>
- Yadav, A. K., & Singh, S. V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9), 1654–1673. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0659-2>
- Zicker, S. C. (2008). Evaluating Pet Foods: How Confident Are You When You Recommend a Commercial Pet Food? *Topics in Companion Animal Medicine*, *23*(3), 121–126. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2008.04.003>